

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ЮНЧИК ВАЛЕНТИНА ЛЕОНІДІВНА**

УДК 004.9:378.018.43(043.5)

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ОСВІТНЬОГО КОНТЕНТУ**  
**ДЛЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ**

126 – Інформаційні системи та технології

12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ /В.Л.Юнчик/

Науковий керівник: Пасічник Володимир Володимирович,  
доктор технічних наук, професор

Львів – 2023

## АНОТАЦІЯ

*Юнчик В.Л.* Інформаційні технології формування освітнього контенту для систем електронного навчання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» (12 – Інформаційні технології). – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2023.

У дисертаційній роботі розв’язане важливе наукове завдання, сформовано ряд методів, моделей та компонентів інформаційних технологій, які покладено в основу розроблення прототипу рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту.

У вступі розглянуто і обґрунтовано актуальність проведення дисертаційного дослідження, визначено зв’язок роботи з науковими програмами, планами й темами, сформульовано мету та завдання дослідження, розглянуто предмет та об’єкт дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувалися для досягнення поставленої мети роботи. Сформульовано наукову новизну, вказано на практичне значення отриманих результатів та висвітлено особистий внесок здобувача. Подано відомості про апробацію та публікації результатів дисертаційного дослідження.

У першому розділі розглянуто широкий спектр літературних вітчизняних та закордонних джерел. Проведено огляд та аналіз електронних навчальних ресурсів. Проаналізовано ряд інформаційних технологій, які є корисними під час формування освітнього контенту в системах електронного навчання, виокремлено етапи його формування. Розглянуто актуальні інформаційні технології сформовані на основі алгоритмів штучного інтелекту, проведено оцінювання їх потенціалу в процесах формування освітнього наповнення для систем електронного навчання. Проаналізовано роль мультиагентних систем, що використовуються для формування освітнього наповнення для систем електронного навчання. Проведено аналіз рекомендаційних систем у різних сферах застосування. Сформовано структуру рекомендаційної системи вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для систем електронного навчання.

У другому розділі проаналізовано підходи та засоби когнітивного моделювання для опису навчального процесу. Досліджено методи та засоби подання даних та знань у гіпотетичній навчальній системі, яка може використовуватися при підготовці фахівців. Сформовано модель подання даних та знань для математичної підготовки ІТ-фахівців. Розглянуто процес поширення знаннєвого потенціалу в системах електронного навчання з використанням комп'ютерних засобів. Визначено фактори, що впливають на рівень знаннєвого потенціалу. Зафіксовано фактори впливу на вибір тих чи інших електронних навчальних ресурсів. Показано поширення знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання та процес зростання рівня знаннєвого потенціалу, використовуючи нові навчальні ресурси.

У третьому розділі проаналізовано підходи до застосування методу аналізу ієрархій у процесах вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту. Досліджено окремі аспекти використання формального апарату нечіткої логіки в процесах експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту, зокрема генерації відповідних рекомендацій на підставі запропонованих критеріїв. Розроблено методику візуалізації результатів експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів, суть якої полягає в тому, що результат оцінювання подається множиною пелюсткових діаграм, побудованих за оцінками окремих експертів у полярній системі координат із врахуванням важливості кожного з критеріїв оцінювання та авторитетності експертів.

У четвертому розділі сформовано структури моделей, методів та компонентів інформаційних технологій, які використовуються як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи, у якій реалізовані інформаційні технології оцінювання та вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для систем електронного навчання, наведено алгоритм його функціонування. Розглянуто особливості програмної реалізації системи. Подано результати використання запропонованих моделей, методів та алгоритмів, опис яких був наведений у попередніх розділах.

Результати досліджень впроваджені та використовуються в навчальній та науково-методичній роботі факультету інформаційних технологій і математики у Волинському національному університеті імені Лесі Українки; в Ужгородському національному університеті, кафедра інформатики та фізико-математичних

дисциплін; у Золочівському фаховому коледжі Національного університету «Львівська політехніка»; у Науково-дослідній лабораторії «Розумне місто Тернопіль» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, а також у навчальний процес кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка».

**Ключові слова:** агент, аналіз ієрархій, база даних, база знань, візуалізація, експертне оцінювання, електронні навчальні ресурси, знаннєвий потенціал, інноваційна платформа, інтелектуальні агенти, інформаційний пошук, інформаційні системи, інформаційні технології, ІТ-освіта, ІТ-фахівець, компетентність, компонентна архітектура, концепт, комп'ютерні науки, математичні моделі, мультиагентна система, нечітка логіка, новизна знань, онтологія, онтологія знань, освіта, освітній контент, освітня програма, оцінювання знань, пелюсткова діаграма, підготовка фахівців, профіль спеціаліста, рекомендаційна система, система прийняття рішень, системи електронного навчання, студент, цифрова трансформація, штучний інтелект.

### **ABSTRACT**

Yunchyk V.L. Information Technologies for Creating Educational Content for E-Learning Systems. – Qualifying scientific research on manuscript rights.

Thesis for PhD degree in specialty 126 «Information systems and technologies» (12 – Information technologies). – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2023.

The dissertation solved an important scientific task, formed a number of information technologies that are the basis for the development of a recommendation system prototype for evaluating e-learning resources and educational content.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation research, presents and analyzes the connection of the work with scientific programs, plans and topics, defines the purpose and objectives of the research, considers the subject and object of the research, and provides a list of research methods used to achieve the goal of the work. The scientific novelty, practical significance of the obtained results, and personal contribution of the applicant are formulated. Information on the approbation and publication of the results of the dissertation research is provided.

The first chapter reviews and analyzes e-learning resources. A wide range of domestic and foreign literary sources is considered. A number of information technologies that are useful in the formation of educational content in e-learning systems are analyzed, and the stages of its formation are highlighted. The current information technologies formed on the basis of artificial intelligence algorithms are considered, their potential in the processes of forming educational content for e-learning systems is assessed. The role of multi-agent systems for creating educational content for e-learning systems is analyzed. The structure of the recommendation system for selecting e-learning resources and educational content for e-learning systems is formed.

The second chapter analyzes the approaches and tools of cognitive modeling to describe the learning process. The methods and means of representing data and knowledge in a hypothetical educational system that can be used in the training of specialists are investigated. A data and knowledge presentation model for mathematical training of IT specialists has been created. The process of spreading knowledge potential in e-learning systems using computer tools is considered. The factors affecting the level of knowledge potential are determined. The factors influencing the choice of certain e-learning resources have been recorded. The spread of knowledge potential in the process of e-learning and the process of increasing the level of knowledge potential using new learning resources are shown.

The third chapter analyzes approaches to the application of the hierarchy analysis method in the processes of selecting e-learning resources and educational content. Some aspects of the use of the formal fuzzy logic apparatus in the processes of expert evaluation of e-learning resources and educational content, in particular, the generation of appropriate recommendations based on the proposed criteria, are investigated. A methodology for visualizing the results of expert evaluation of e-learning resources has been developed, the essence of which is that the evaluation result is represented by a set of petal diagrams built according to the assessments of individual experts in the polar coordinate system, taking into account the importance of each of the evaluation criteria and the authority of experts.

The fourth chapter forms the structure of the prototype of the recommendation system, which implements information technologies for evaluating and selecting e-

learning resources and educational content for e-learning systems, and provides an algorithm for its functioning. The features of the system's software implementation are considered. The results of using the proposed models, methods and algorithms described in the previous sections are presented.

The research results are implemented and used in the educational and scientific-methodical work of the Faculty of Information Technologies and Mathematics at Lesya Ukrainka Volyn National University; at the Uzhgorod National University, Department of Informatics and Physical and Mathematical Disciplines; in the Zolochiv Vocational College of the Lviv Polytechnic National University; in the Research Laboratory "Smart City of Ternopil" of Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, as well as in the educational process of the Department of Information Systems and Networks of the National University «Lviv Polytechnic».

**Keywords:** agent, hierarchy analysis, database, knowledge base, visualization, expert evaluation, e-learning resources, knowledge potential, innovative platform, intelligent agent, information search, information systems, information technology, IT-education, IT specialist, competence, component architecture, concept, computer science, mathematical models, multi-agent system, fuzzy logic, novelty of knowledge, ontology, knowledge ontology, education, educational content, educational program, skills assessment, petal chart, specialist training, specialist profile, recommendation system, decision-making system, e-learning systems, student, digital transformation, artificial intelligence.

### **Список публікацій здобувача**

*Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Юнчик В., Федонюк А. *Порівняльна характеристика функціональних можливостей систем комп'ютерної математики в процесі розв'язування задач.* Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі, № 6, С. 90-102. 2019. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2019.02.090.

2. Юнчик В., Кунанець Н., Пасічник В., Федонюк А. *Аналіз штучних інтелектуальних агентів для систем електронного навчання.* Вісник національного

університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі, № 10, С. 41–57. 2021. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2021.10.041.

3. Пасічник В. В., Юнчик В. Л., Кунанець Н. Е., Федонюк А. А. *Використання нечіткої логіки у процесі експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів*. Науковий вісник НЛТУ України, № 32(4), С. 66-76. 2022. ISSN 1994-7836, DOI:10.36930/40320411.

4. Пасічник В., Юнчик В., Федонюк А. *Процедури оцінювання якості електронних навчальних ресурсів з використанням пелюсткових діаграм*. Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі, № 11, С. 87–102. 2022. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2022.11.087

5. Пасічник В. В., Юнчик В. Л., Кунанець Н. Е., Федонюк А. А. *Поширення знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання*. Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі, №13. С. 361-374. 2023. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2023.13.361

6. Yunchyk V. Fedoniuk Y. *Results of developing the recommendation system for electronic educational resource selection*. *Manažérska informatika: vedecký časopis o informatike*, Univerzita Komenského v Bratislave, Slovakia. Vol.1. 2023, no 1. ISSN: 2728-8310. URL: <https://manazerskainformatika.sk/results-of-developing-the-recommendation-system-for-electronic-educational-resource-selection/>.

7. Yunchyk V., Fedonuyk A., Mukutuyk I., Duda O., Yatsyuk S. *Application of the hierarchy analysis method for the choice of the computer mathematics system for the IT-sphere specialists preparation*. *Journal of Physics: Conference Series (ICon-MaSTEd 2020)*, Vol. 1840 no 1, 012065. 2021. ISSN: 1742-6596. DOI: 10.1088/17426596/1840/1/012065.

8. Yunchyk V., Fedonuyk A., Khomyak M., Yatsyuk S. *Cognitive Modeling of the Learning Process of Training IT Specialists*. *CEUR Workshop Proceedings 3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT+DS 2021)*, Vol. 2917, pp. 141–150. ISSN 1613-0073.

9. Pasichnyk V., Kunanets N., Yunchyk V., Khomyak M., Yatsyuk S., Muliari V., Fedonuyk A. *Model of the Recommender System for the Selection of Electronic Learning*

*Resources*. CEUR Workshop Proceedings 5th International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT+DS 2023), Vol. 3426, pp. 344-355. ISSN 1613-0073.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

10. Duda O., Kunanets N., Pasichnyk V., Veretennikova N., Fedonuyk A., Yunchyk V. *Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities*. CEUR Workshop Proceedings 2nd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT+DS 2020), Vol. 2631, pp. 68–78. ISSN 1613-0073.

11. Yunchyk V., Fedonuyk A., Cheprasova T., Yatsyuk S. *The Models of Data and Knowledge Representation in Educational System of Mathematical Training of IT-specialists*. IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2020), Vol. 2. pp. 269–272. ISSN: 2766-3639 DOI: 10.1109/CSIT49958.-2020.9321899.

12. Федонюк А. А., Микитюк І. О., Юнчик В.Л. *Використання методу аналізу ієрархій та попарних порівнянь в процесі вибору СКМ*. Математика. Інформаційні технології. Освіта: збірник тез ІХ Міжнародної науково-практичної конференції МІТО-2020. ВНУ імені Лесі Українки. С. 53–59. 2020.

13. Юнчик В. Л., Федонюк А. А., Яцюк С.М., Оксентюк Т.П. *Особливості представлення даних та знань в навчальних системах*. Математика. Інформаційні технології. Освіта: збірник тез Х Міжнародної науково-практичної конференції МІТО-2021. ВНУ імені Лесі Українки, С. 93–95. 2021.

14. Юнчик В. Л., Швейгер Н. Р., Хоменко В. Ю., Ковальчук М. С. *Проектування електронного освітнього ресурсу для навчання математики*. Математика. Інформаційні технології. Освіта: збірник тез ХІ Міжнародної науково-практичної конференції МІТО-2022. ВНУ імені Лесі Українки, С. 175–178. 2022.

15. Юнчик В.Л., Яцюк С.М. *Аналіз функціональних можливостей систем комп'ютерної математики в процесі розв'язування задач*. Together united: науковці проти війни: збірник тез доповідей І Міжнародної благодійної науково-практичної конференції. С. 246–251. 2022.



16. Юнчик В. Л., Пасічник В. В., Федонюк А. А. *Добір електронних навчальних ресурсів з використанням рекомендаційної системи*. Математика. Інформаційні технології. Освіта: збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції МІТО-2023. С. 129–131. 2023.

### **List of publications of the acquirer**

*Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:*

1. Yunchyk V., Fedonuyk A. *Comparative characteristics of functional capabilities of computer mathematics systems in the process of solving problems*. Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik». Seriiya Informatiini systemy ta merezhi, No. 6, pp. 90-102. 2019. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2019.02.090. [Ukrainian]

2. Yunchyk V., Kunanets N., Pasichnyk V., Fedonyuk A. *Analysis of artificial intelligent agents for electronic learning systems*. Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik». Seriiya Informatiini systemy ta merezhi, No. 10, pp. 41–57. 2021. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2021.10.041. [Ukrainian]

3. Pasichnyk V.V., Yunchyk V.L., Kunanets N.E., Fedonyuk A.A. *The use of fuzzy logic in the process of expert evaluation of electronic educational resources*. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy, No. 32(4), pp. 66-76. 2022. ISSN 1994-7836, DOI:10.36930/40320411. [Ukrainian]

4. Pasichnyk V., Yunchyk V., Fedonyuk A. *Procedures for evaluating the quality of electronic educational resources using petal diagrams*. Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik». Seriiya Informatiini systemy ta merezhi, No. 11, pp. 87–102. 2022. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2022.11.087 [Ukrainian]

5. Pasichnyk V.V., Yunchyk V.L., Kunanets N.E., Fedonyuk A.A. *Expansion of knowledge potential in the process of e-learning*. Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik». Seriiya Informatiini systemy ta merezhi, No. 13. pp. 361-374. 2023. ISSN: 2524-065X, DOI:10.23939/sisn2023.13.361 [Ukrainian]

6. Yunchyk V., Fedoniuk Y. *Results of developing the recommendation system for electronic educational resource selection*. Manažérska informatika: vedecký časopis o informatike, Univerzita Komenského v Bratislave, Slovakia. Vol.1. 2023, no 1. ISSN:

2728-8310. URL: <https://manazerskainformatika.sk/results-of-developing-the-recommendation-system-for-electronic-educational-resource-selection/>.

7. Yunchyk V., Fedonuyk A., Mukutuyk I., Duda O., Yatsyuk S. *Application of the hierarchy analysis method for the choice of the computer mathematics system for the IT-sphere specialists preparation*. Journal of Physics: Conference Series (Icon-MaSTEd 2020), Vol. 1840 no 1, 012065. 2021. ISSN: 1742-6596. DOI: 10.1088/17426596/1840/1/012065.

8. Yunchyk V., Fedonuyk A., Khomyak M., Yatsyuk S. *Cognitive Modeling of the Learning Process of Training IT Specialists*. CEUR Workshop Proceedings 3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT+DS 2021), Vol. 2917, pp. 141–150. ISSN 1613-0073.

9. Pasichnyk V., Kunanets N., Yunchyk V., Khomyak M., Yatsyuk S., Muliari V., Fedonuyk A. *Model of the Recommender System for the Selection of Electronic Learning Resources*. CEUR Workshop Proceedings 5th International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT+DS 2023), Vol. 3426, pp. 344-355. ISSN 1613-0073.

*Scientific works certifying the approval of the dissertation materials:*

10. Duda O., Kunanets N., Pasichnyk V., Veretennikova N., Fedonuyk A., Yunchyk V. *Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities*. CEUR Workshop Proceedings 2nd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT+DS 2020), Vol. 2631, pp. 68–78. ISSN 1613-0073.

11. Yunchyk V., Fedonuyk A., Cheprasova T., Yatsyuk S. *The Models of Data and Knowledge Representation in Educational System of Mathematical Training of IT-specialists*. IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2020), Vol. 2. pp. 269–272. ISSN: 2766-3639 DOI: 10.1109/CSIT49958.-2020.9321899.

12. Fedonyuk A. A., Mykytyuk I. O., Yunchyk V. L. *Using the method of analysis of hierarchies and pairwise comparisons in the process of selecting SCM*. *Matematyka*.

Informatsiini tekhnolohii. Osvita: zbirnyk tez IX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MITO-2020. Lesya Ukrainka VNU. pp. 53–59. 2020. [Ukrainian]

13. Yunchyk V. L., Fedonyuk A. A., Yatsyuk S. M., Oksentiuk T. P. *Peculiarities of presenting data and knowledge in educational systems*. Matematyka. Informatsiini tekhnolohii. Osvita: zbirnyk tez X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MITO-2021. Lesya Ukrainka VNU, pp. 93–95. 2021. [Ukrainian]

14. Yunchyk V. L., Shveiger N. R., Khomenko V. Yu., Kovalchuk M. S. *Designing an electronic educational resource for teaching mathematics*. Matematyka. Informatsiini tekhnolohii. Osvita: zbirnyk tez XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MITO-2022. Lesya Ukrainka VNU, pp. 175–178. 2022. [Ukrainian]

15. Yunchyk V.L., Yatsyuk S.M. *Analysis of the functionality of computer mathematics systems in the process of solving problems*. Together united: naukovtsi proty viiny: zbirnyk tez dopovidei I Mizhnarodnoi blahodiinoi naukovo-praktychnoi konferentsii. pp. 246–251. 2022. [Ukrainian]

16. Yunchyk V. L., Pasichnyk V. V., Fedonuyk A. A. *Selection of electronic educational resources using a recommendation system*. Matematyka. Informatsiini tekhnolohii. Osvita: zbirnyk tez XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MITO-2023. pp. 129–131.2023. [Ukrainian]

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....</b>	<b>14</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>15</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ .....</b>	<b>22</b>
1.1. Аналіз концептів предметної області.....	22
1.2. Аналіз засобів та функцій інформаційних технологій в контексті формування якісного освітнього контенту .....	31
1.3. Інформаційні технології формування освітнього контенту на основі методів штучного інтелекту .....	36
1.4. Аналіз використання штучних інтелектуальних агентів та мультиагентних систем в процесах формування освітнього наповнення .....	48
1.5. Модель рекомендаційної системи для вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту .....	58
1.6. Функціональні можливості систем комп'ютерної математики.....	61
Висновки до розділу 1 .....	64
<b>РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ ПІДГОТОВКИ ІТ-ФАХІВЦІВ В ПРОЦЕСАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ.....</b>	<b>67</b>
2.1. Моделювання навчального процесу підготовки ІТ-фахівців .....	67
2.2. Моделі подання даних та знань в навчальній системі підготовки ІТ-фахівців.....	77
2.3. Поширення знаннєвого потенціалу в процесах електронного навчання .....	81
Висновки до розділу 2 .....	87
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ТА ОСВІТЬНОГО ВМІСТУ .....</b>	<b>89</b>
3.1. Експертне оцінювання освітнього вмісту в процесі підготовки ІТ-фахівців ..	89
3.2. Застосування методу аналізу ієрархій під час вибору електронних навчальних ресурсів.....	96
3.3. Використання методу нечіткої логіки в процесі експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту .....	103
3.4. Візуалізація оцінювання освітнього контенту з використанням пелюсткових діаграм .....	108
Висновки до розділу 3 .....	115

<b>РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОТОТИПУ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ .....</b>	<b>117</b>
4.1. Функціональне призначення .....	117
4.2. Структурно-функціональна модель прототипу рекомендаційної системи....	120
4.3. Інформаційні технології функціонування прототипу рекомендаційної системи оцінювання ЕНР та освітнього вмісту .....	123
4.3.1. Відбір електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту .....	125
4.3.2. Введення експертних оцінок за критеріями .....	132
4.3.3. Розрахунок рекомендаційних рейтингів.....	134
4.3.4. Формування списку рекомендованих ресурсів .....	137
4.3.5. Візуалізація даних .....	138
4.3.6. Авторизація та організація надання доступу .....	139
4.3.7. Формування адміністративного інтерфейсу .....	140
4.4. Особливості програмної реалізації.....	142
4.4.1. Опис елементів інтерфейсу .....	146
4.4.2. Практична апробація прототипу рекомендаційної системи .....	152
Висновки до розділу 4 .....	153
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>155</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>159</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>177</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БД – база даних;  
БЗ – база знань;  
ЕНР – електронний навчальний ресурс;  
ОК – освітній контент;  
ОПП – освітньо-професійна програма;  
МАС – мультиагентна система;  
СКМ – система комп’ютерної математики;  
ШІ – штучний інтелект;  
ALEKS - Assessment and Learning in Knowledge Spaces;  
BERT – Bidirectional Encoder Representations from Transformers;  
CMS – eContent Management System;  
CNN – Convolutional Neural Network;  
DQN – Deep Q-Network;  
E-learning – електронне навчання;  
GAN – Generative Adversarial Networks;  
GPT – Generative Pre-trained Transformer;  
LCMS – Learning Content Management System;  
LMS – Learning Management Systems;  
Npm – Node Package Manager;  
ResNet – Residual Networks;  
RNN – Recurrent Neural Networks.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасну цивілізацію неможливо уявити без широкого та активного впровадження інформаційних технологій, що позначається практично на всіх аспектах життя сучасної людини. В нинішній час однією з актуальних сфер застосування інформаційних технологій є галузь освіти. Прагнення вдосконалення процесів навчання і постійно зростаюча їх залежність від найрізноманітніших інформаційних ресурсів генерують потребу розроблення та впровадження новітніх методів та засобів навчання, зокрема систем електронного навчання. Базовою складовою сучасних систем електронного навчання є освітній контент, який вимагає активного оновлення та адаптації до постійно зростаючих потреб.

Нове молоде покоління учасників освітнього процесу виросло та сформувалося в умовах четвертої інформаційної революції. Його освітні потреби та сприйняття інформації суттєво відрізняються від запитів попередніх поколінь. Змінилися підходи до навчання та сприйняття знань: учні та студенти прагнуть більшої інтерактивності, гнучкості та візуалізації в освітніх процесах. Сучасні інформаційні технології наділені необхідними засобами, які дозволяють створювати освітнє наповнення, що відповідає цим вимогам.

Доступність мережевих засобів інтернету та розширення можливостей систем електронного навчання суттєво актуалізують завдання підбору якісних та ефективних навчальних ресурсів. В умовах великої різноманітності та перенасиченості навчальними матеріалами, проблема вибору найбільш ефективних та якісних навчальних ресурсів набуває особливої актуальності.

Широкомасштабне використання в освітніх процесах систем електронного навчання активно стимулює розробників навчальних ресурсів до створення різнопланового, якісного та актуального освітнього контенту. Зростання динаміки та обсягів створення нового освітнього вмісту, призводить у багатьох випадках до зниження якості навчальних матеріалів. Освітні інформаційні ресурси зазвичай формуються без належної верифікації та апробування, що може викликати проблеми з визначенням достовірності та якості ресурсів. Зростання обсягів освітніх

матеріалів генерує потребу фахового оцінювання якості та встановлення відповідності навчальним цілям.

Оцінювання освітнього наповнення є процедурою, яку мають реалізовувати фахівці та експерти в галузі освіти. У закладах вищої освіти такими експертами зазвичай виступають викладачі кафедр, групи забезпечення освітніх програм, педагогічні колективи науково-методичних комісій факультетів, науково-методичних рад інститутів та університетів, науково-технічних рад інститутів та університетів, учених рад факультетів, інститутів та університетів в експертних середовищах, яких колегіально обговорюється та проводиться оцінювання освітнього контенту.

Виникає необхідність створення інформаційно-технологічного інструменту оцінювання освітнього контенту, у якому реалізовується відповідна методика оцінювання, послідовність реалізації кроків, згідно з якими, слід діяти професійно, оперативно та кваліфіковано.

Актуальність роботи полягає у вирішенні важливого наукового завдання розроблення методів, моделей та компонентів інформаційних технологій, які використовуються як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для систем електронного навчання. Ця проблема є актуальною, і в контексті проведення наукових досліджень, так і в контексті практичного застосування в системах електронного навчання.

Питанням якості та ефективного використання електронних навчальних ресурсів багато уваги приділено в роботах: Н. Арістової, В. Бикова, В. Висоцької, Н. Кунанець, В. Литвина, С. Литвинової, О. Малихіна, Т. Підгорної, В. Рогової, І. Твердохліба, О. Федоровича, Д. І. Сенсусе, Р. Р. Сурьоно, Е. Піччано, Б. Хана та інших.

Використання сучасних інформаційних технологій у процесах формування та оцінювання освітнього контенту досліджують такі вчені, як: А. Бомба, Д. Досин, Ю. Носенко, Н. Шаховська, Л. Аграті, Ан. А. Галанг, К. Колвін, Р. Майєр, Х. Кілінч та інших.



Розробленню інформаційних технологій формування освітнього контенту на основі методів штучного інтелекту присвячені роботи: І. Візнюк, К. Мамчура, М. Мар'єнко, М. Шишкіної, С. Попенічі, М. Джаваїда, А. Халіма та ін.

Дослідженням розробленню та вдосконаленню використання рекомендаційних систем присвячені роботи багатьох вітчизняних та закордонних науковців, таких як: Є. Бурова, О. Вереса, Є. Мелешко, Ю. Турбала, К. Ромеро, Р. Переса-Родрігеса, Б. Ойокох, Цз. Лін, Чж. Чжана, Х. Слімані та ін.

В обширному спектрі проаналізованих результатів досліджень подано використання рекомендаційних систем у найрізноманітніших сферах діяльності, однак недостатньо подані результати, які відносяться до проблематики створення і використання інформаційних технологій для побудови рекомендаційних систем експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту. Такого класу системи є потрібними та можуть ефективно використовуватись експертними спільнотами, яким на регулярній основі потрібно ухвалювати рішення щодо відбору та подання рекомендацій для використання нових високоякісних електронних навчальних ресурсів.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Тема дисертації відповідає науковому напрямку «Дослідження, розробка та впровадження інтелектуальних розподілених інформаційних технологій та систем на основі ресурсів баз даних, сховищ даних, просторів даних та знань з метою прискорення процесів формування сучасного інформаційного суспільства» кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка», а також науковому напрямку «Інформаційні технології в освіті» кафедри загальної математики та методики навчання інформатики Волинського національного університету імені Лесі Українки.

**Мета дослідження:** Аналіз, розроблення та апробація моделей, методів та компонентів інформаційних технологій для побудови прототипу рекомендаційних систем оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту.

**Завдання дослідження:**

1. Провести аналіз особливостей, переваг та недоліків наявних систем оцінювання електронних навчальних ресурсів; мультиагентних систем та інформаційних технологій, базованих на основі методів штучного інтелекту, для формування освітнього контенту.

2. Дослідити процеси когнітивного моделювання та побудови моделі подання даних та знань, як інформаційного ресурсу в електронній навчальній системі.

3. Провести узагальнення моделі процесів поширення «знаннєвого потенціалу» в системах електронного навчання.

4. Узагальнити процедури експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту з використанням формалізмів нечіткої логіки, методу аналізу ієрархій та парних порівнянь.

5. Розробити та апробувати моделі, методи та компоненти інформаційних технологій, які використовуватимуться як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту з компонентою візуалізації даних, на основі методу пелюсткових діаграм.

*Об'єктом* дослідження є процеси формування та оцінювання освітнього контенту для систем електронного навчання, а також роль інформаційних технологій у цих процесах.

*Предметом* дослідження є методи та засоби інформаційних технологій формування та оцінювання освітнього контенту та розроблення рекомендаційних систем вибору електронних навчальних ресурсів для систем електронного навчання.

**Методи дослідження.** Для розв'язання поставлених у дисертаційній роботі завдань використано: методи нечіткої логіки – для розрахунку рекомендаційного рейтингу; метод аналізу ієрархій – для вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту; метод парних порівнянь – для визначення важливості критеріїв; метод пелюсткових діаграм – для візуалізації отриманих результатів; методи об'єктноорієнтованого аналізу та проектування – для розроблення моделей, методів та компонентів інформаційних технологій, які використані при поданні

прототипу рекомендаційної системи вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для систем електронного навчання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в тому, що:

*Отримали подальший розвиток* процеси когнітивного моделювання та побудови моделі подання даних та знань, як інформаційного ресурсу в електронних навчальних системах підготовки ІТ-фахівців.

*Отримала подальший розвиток* узагальнена модель процесів поширення «знаннєвого потенціалу» в системах електронного навчання, зокрема доповнено множину типів джерел знань, що позитивно впливає на розширення набору джерел поповнення знаннєвого потенціалу.

*Удосконалено та апробовано* процеси експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів, зокрема генерації рекомендацій на підставі запропонованої системи критеріїв із використанням формалізмів нечіткої логіки, методу аналізу ієрархій та парних порівнянь.

*Удосконалено та апробовано* методику візуалізації результатів експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту, на основі методу пелюсткових діаграм.

**Практичне значення одержаних результатів.** У результаті виконання дисертаційного дослідження розроблено методи, моделі та компоненти інформаційних технологій, які використовуються як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для систем електронного навчання.

Прототип рекомендаційної системи зорієнтований на експертні середовища предметних кафедр ЗЗСО, педагогічних рад, циклових комісій, педагогічних колективів кафедр, груп забезпечення ОП, науково-методичних комісій факультетів, науково-методичних рад інститутів та університетів, науково-технічних рад інститутів та університетів, учених рад факультетів, інститутів та університетів.

Загалом її функціонування зорієнтоване на потреби освітянських експертних спільнот, яким потрібно ухвалювати фахові рішення щодо вибору та

рекомендування для використання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту в системах електронного навчання.

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати дисертаційної роботи отримано автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [1], [2], [3] – розроблення моделі рекомендаційної системи для вибору електронних навчальних ресурсів; [4], [5], [6] – дослідження застосування методу аналізу ієрархій у процесі прийняття рішень; [7] – дослідження процесу когнітивного моделювання та побудова когнітивних карт; [8], [9], [10] – аналіз електронних навчальних ресурсів для вивчення предмета «Математика»; [11] – дослідження штучних інтелектуальних агентів для систем електронного навчання; [12] – дослідження використання нечіткої логіки в процесах експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів; [13] – розроблення методики оцінювання та вибору електронних навчальних ресурсів із використанням пелюсткових діаграм; [14] – розроблення узагальненої моделі процесу поширення «знаннєвого потенціалу»; [15], [16] – дослідження засобів та методів подання даних та знань у навчальному процесі.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях, зокрема: 2nd, 3rd, 5th International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science, MoML&T&DS (Lviv, 2020, 2021, 2023); XII International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2020) (Kryvyi Rih, 2020); 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Lviv, 2020); IX, X, XI, XII Міжнародних науково-практичних конференціях «Математика. Інформаційні технології. Освіта» (Луцьк-Світязь, 2020, 2021, 2022, 2023); I Міжнародна благодійна науково-практична конференція «TOGETHER UNITED: науковці проти війни» (Луцьк, 2022).

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень викладено в 16 наукових працях, серед яких 5 статей у наукових фахових виданнях України; 1 стаття в науковому періодичному виданні іншої держави; 5 публікацій у виданнях,

що включені до наукометричної бази даних Scopus; 5 публікацій у працях міжнародних науково-практичних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, що включають 17 підрозділів, висновків, списку використаних джерел зі 152 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 188 сторінок, з них 158 сторінок основного тексту, який містить 51 рисунок та 29 таблиць.

## **РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ**

В першому розділі проведено аналітичне опрацювання широкого спектру інформаційних джерел з проблемної області формування та використання електронних навчальних ресурсів. Розглянуто розлогий спектр наукових публікацій вітчизняних та закордонних дослідників. Проаналізовано роль та впливи сучасних інформаційних технологій на процеси формування якісного освітнього контенту. Виокремлено етапи формування та відбору освітнього наповнення для систем електронного навчання. Ретроспективно проведено оцінювання актуальних інформаційних технологій сформованих на методологічній основі та засобах штучного інтелекту, їх потенціал у процесах формування освітнього наповнення. Ґрунтовно проаналізовано роль формалізму штучних інтелектуальних агентів у процесах створення систем електронного навчання. Проаналізовано роль мультиагентних систем, що використовуються для формування навчального вмісту. Досліджено генезис концепту «рекомендаційна система», проведено огляд літературних джерел. Наведено структуру гіпотетичної рекомендаційної системи, базовою функцією якої є вибір та оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту.

### **1.1. Аналіз концептів предметної області**

Електронні навчальні ресурси відіграють щораз важливішу роль у сучасних процесах навчання, яке базується на використанні інформаційних технологій для реалізації та забезпечення процесу навчання в електронній формі. Вони допомагають змінити традиційну парадигму набуття нових знань, забезпечуючи учням та студентам підвищену гнучкість, доступність та інтерактивність освітнього процесу.

Електронний навчальний ресурс (ЕНР) – це комп'ютерний, цифровий, інформаційний засіб, або інтернет-ресурс, що містить освітній контент та інструменти для підтримки освітнього процесу. ЕНР може бути поданий у формі

електронних підручників, інтерактивних вправ, відеоуроків, вебсайтів, електронних тестів, комп'ютерних програм та інших форматах, що сприяють засвоєнню інформації, розвитку навичок та підвищенню рівня знань у різних предметних областях [17].

Згідно з Положенням [18] електронні навчальні ресурси трактуються як цифрові інструменти, які використовуються для підтримки навчання, навчального процесу та освіти в цілому. Вони базуються на застосуванні інформаційних технологій для забезпечення доступу до навчального контенту, підтримці процесів інтерактивного навчання та створення нових можливостей для реалізації навчального процесу.

Електронні навчальні ресурси стали популярними завдяки стрімкому інформаційно-технологічному розвитку та повсюдному поширенню інтернету. Вони забезпечують можливість швидкого доступу до навчального матеріалу, активування процесів інтерактивного навчання, підтримки режимів дистанційної та самоосвіти, використовуючи електронні пристрої, такі як комп'ютери. Використання ЕНР забезпечує ефективну реалізацію гнучкого та індивідуалізованого підходу до навчання, сприяє активізації участі учасників освітнього процесу, забезпечує доступ до актуальної інформації [19].

Згідно з визначенням, запропонованим Європейським кадровим центром [20], електронний навчальний ресурс – це «будь-який електронний засіб, матеріал або інструмент, який створений, збережений або використовується для навчання, підтримки навчання, сприяння професійному розвитку або оцінюванню компетентностей». Згідно з визначенням, наведеним у дослідженні [21], електронний навчальний ресурс є «веб-базованим, електронним засобом, що надає користувачам доступ до різних видів навчальних матеріалів інтерактивного або пасивного характеру для підтримки процесу навчання та набуття знань».

Електронний навчальний ресурс – це інформаційно-технологічний засіб або інтернет-ресурс, що містить освітній контент та інструменти для підтримки освітнього процесу.

Електронні навчальні ресурси використовуються в різних контекстах, включаючи формальну освіту (школи та університети), навчання на робочому місці, дистанційне та самонавчання.

Дослідженнями в галузі створення та використання електронних навчальних ресурсів займаються багато вітчизняних та зарубіжних фахівців, зокрема, у роботі [22] автори розглядають питання якості електронних навчальних ресурсів і пропонують методи оцінювання якості засобів електронного навчання. Розглянуто відомі підходи до оцінювання та сформульовано рекомендації щодо підвищення якості електронних навчальних ресурсів. У роботі [23] глибоко проаналізовані питання використання інформаційних технологій у навчанні, а основна увага приділена електронним навчальним ресурсам, їх дизайну та розробленню. Автори розглядають теоретичні засади та аналізують результати досліджень, пов'язаних із використанням електронних навчальних ресурсів у різних контекстах процесів навчання.

У дослідженні [24], автор розглядає питання управління процесами електронного навчання і подає стратегії проектування, впровадження та оцінювання електронних навчальних ресурсів. Запропоновані оригінальні моделі та методи, які сприяють ефективному використанню електронних навчальних ресурсів у реалізації навчальних програм.

Робота [25] базується на аналізі теоретичних засад та концептуальних моделей, які використовуються в онлайн-освіті. Автором запропоновано використовувати інтегровану мультимодальну модель з метою поглибленого вивчення сучасних педагогічних інновацій онлайн-освіти. У дослідженні [26] автори розглядають процеси проектування, впровадження та оцінювання електронних навчальних ресурсів з використанням вебтехнологій. У роботі надаються приклади та рекомендації щодо створення ефективних інтерактивних засобів навчання та сприяння активізації студентів в освітніх процесах.

У статті [27] досліджуються проблеми проходження навчання та аналізує причини відмов від проходження масштабних відкритих онлайн-курсів та роль, яку відіграють електронні навчальні ресурси у цих процесах. Досліджено фактори, що



впливають на участь студентів та учнів в процесах онлайн навчання та їх задоволеності навчання в онлайн-середовищі.

Застосування інформаційних технологій в процесі розроблення та використання електронних навчальних ресурсів забезпечує цілий ряд суттєвих переваг, основні з яких наведені в таблиці 1.1.

*Таблиця 1.1*

Переваги застосування інформаційних технологій в процесах розроблення та використання електронних навчальних ресурсів

Доступ до навчального матеріалу [28]	Використання ЕНР надає учасникам освітнього процесу можливість отримувати доступ до навчального контенту, включаючи підручники, лекції, відеоуроки, статті та інші ресурси, в електронному форматі.
Мультимедійний контент [29]	ЕНР мають полімедійний характер, включаючи тексти, відео, аудіо, графіку, анімацію та інші елементи.
Інтерактивне навчання [30]	Використання інформаційних технологій дозволяє створювати інтерактивні елементи в ЕНР, такі як вправи, тести, вікторини, ігри тощо.
Дистанційне навчання [31]	Використання ЕНР дозволяє створювати віртуальні класи, спілкуватися віддалено з викладачами та іншими учасниками освітнього процесу за допомогою комунікаційних інструментів, таких як вебінари, форуми та чати.
Адаптивність та індивідуалізація [32]:	Використання інформаційних технологій дозволяє створювати ЕНР, які адаптуються до потреб і рівня навчальних здібностей кожного студента. Застосування алгоритмів індивідуалізації та адаптації дозволяє надавати персоналізовані рекомендації, завдання та матеріали для кожного студента, що дозволяє оптимізувати навчання та підтримувати його ефективність.
Онлайн спілкування та співпраця [33]	Використання інформаційних технологій надає можливість учасникам освітнього процесу спілкуватися та співпрацювати між собою в онлайн-середовищі, що сприяє обміну ідеями, вирішенню спільних завдань та підтримці взаємодії в межах навчальної спільноти.
Оцінювання та зворотний зв'язок [34]	Використання інформаційних технологій забезпечує можливості для оцінювання навчальних досягнень та надання зворотного зв'язку студентам: автоматичну

	перевірку завдань, аналіз прогресу студентів, відстежування їх досягнень та надання рекомендацій для подальшого навчання.
Мобільність та гнучкість [35]	Використання інформаційних технологій забезпечує доступ до ЕНР з різних пристроїв, зокрема комп'ютерів, планшетів та смартфонів, що передбачає мобільність та гнучкість навчання. Студенти мають доступ до навчального матеріалу та здійснюють навчання поза аудиторним приміщенням.
Архівування та збереження даних	ЕНР дозволяють зберігати та архівувати дані, що пов'язані з навчанням. Це дозволяє учасникам освітнього процесу зберігати свої навчальні матеріали, відстежувати прогрес та зберігати підтвердження досягнень.
Вдосконалення освітнього процесу	ЕНР слугують інструментом для вдосконалення освітнього процесу. Вони дозволяють викладачам використовувати інноваційні методи навчання, стимулюють активну участь студентів та сприяють залученню до навчання.

Використання інформаційних технологій у процесі створення та використання електронних навчальних ресурсів розширює можливості освітніх процесів, трансформує їх доступні, інтерактивні та ефективні навчальні засоби. Підвищення якості та функціональності освітніх процесів досягається завдяки семантичному опису знань про предметну область із використанням методів онтологічного підходу.

Узагальнено онтологія є специфікацією концептуалізації сфери дослідження, яка подає формальне та декларативне подання, яке включає словник понять та відповідні терміни, а також логічні вирази, що описують взаємозв'язки між поняттями. Для подання відношень в онтології використовуються формальні моделі та мови. Загалом термін «онтологія» використовується як синонім терміну подання знань [36].

В роботі мною використано онтологічний підхід для створення структурованого і формалізованого подання базових термінів та означень сфери дисертаційного дослідження. В процесі побудови онтології було визначено,

уточнено та структуровано ключові терміни та поняття, а також зафіксовано зв'язки та означено відношення між термінами, що загалом дозволило чіткіше зафіксувати структури та взаємозв'язки між базовими концептами.

Онтологія подається трійкою множин:

$$O = \langle T, R, F \rangle,$$

де  $T$  – множина термінів (понять, концептів), яку задає онтологія  $O$ ;

$R$  – множина зв'язків між термінами;

$F$  – інтерпретація функції чи аксіоми.

У нашому випадку  $T$  множина основних термінів дисертаційного дослідження:

$T = \{ \text{Інформаційні\_технології, Інформаційні\_системи, Інформаційно\_технологічна\_платформа, Системи\_електронного\_навчання, Освітній\_контент, Електронний\_навчальний\_ресурс, Інформаційна\_система\_рекомендаційного\_типу} \}.$

Множина відношень між термінами:

$R = \{ \text{перетворює, призначає, реалізовує, збирає, спрямовує на, використовує, складається з, пропонує, забезпечує реалізацію, містить} \}.$

Наприклад, електронний навчальний ресурс містить освітній контент, можна записати в предикатній формі:

$P1 = \text{Містить (Електронний\_навчальний\_ресурс; Освітній\_контент)},$

Наведене твердження подаємо як:

$\forall x \left( (N(x)) \rightarrow R(x) \right) \wedge (N(\text{Електронний\_навчальний\_ресурс}) \rightarrow R(\text{Освітній\_контент})).$

Для побудови онтологічного подання створені класи (Рис.1.1):

1. «Інформаційні технології»;
2. «Інформаційні системи», що включає підклас Інформаційні системи рекомендаційного типу (Рекомендаційний рейтинг, Персоналізовані рекомендації, Оцінки експертів, Візуалізація даних);
3. «Інформаційно-технологічна платформа» включає підкласи: Інформаційні ресурси, Інформаційні продукти;
4. «Системи електронного навчання»;

5. «Освітній контент» включає підклас Навчальні матеріали;
6. «Електронні навчальні ресурси», що включає підкласи: Інтернет ресурси, Інформаційно-технологічні засоби;
7. «Інформаційні процеси», що включає підкласи: Збереження інформації, Реєстрація інформації, Передавання інформації, Опрацювання інформації, Відбір інформації та Захист інформації;
8. «Педагогічні процеси» включає підкласи: Створення навчання, Забезпечення навчання, Удосконалення навичок, Поглиблення знань та Управління навчанням.

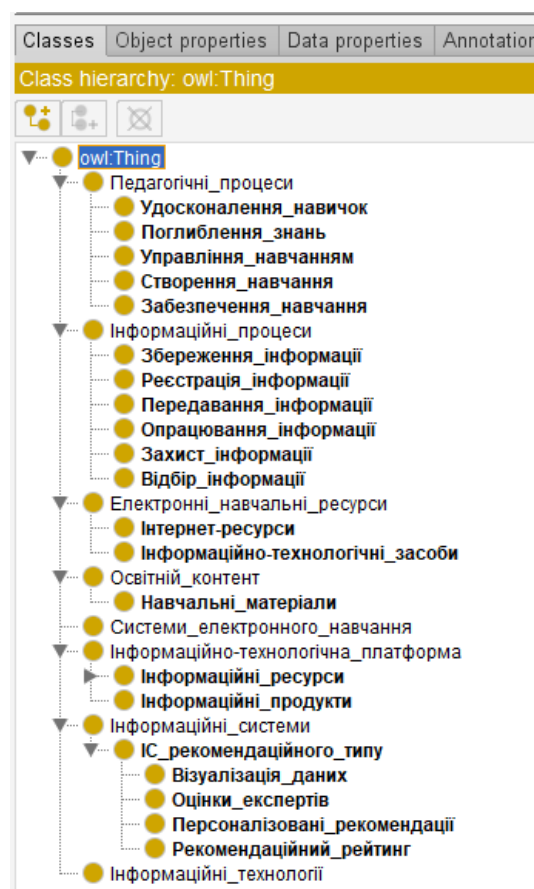












Рис.1.1. Класи та підкласи онтології

Для побудови онтологічного подання реалізовано наступні властивості (Рис.1.2):

1. «перетворює» : домен – Інформаційні ресурси; діапазон – Інформаційні продукти;

2. «призначає» : домен – Електронні навчальні ресурси; діапазон – Забезпечення навчання, Створення навчання, Управління навчанням;
3. «реалізовує» : домен – Інформаційні технології; діапазон – Інформаційні процеси;
4. «збирає» : домен – Інформаційні системи рекомендаційного типу; діапазон – Електронні навчальні ресурси, Освітній контент;
5. «спрямовує на» : домен – Освітній контент; діапазон – Забезпечення навчання, Удосконалення навчання, Поглиблення знань, Створення навчання;
6. «використовує» : домен – Системи електронного навчання; діапазон – Інформаційні системи, Інформаційні технології, Інформаційно-технологічні платформи;
7. «складається з» : домен – Інформаційні системи; діапазон – Інформаційні технології;
8. «пропонує» : домен – Інформаційні системи; діапазон – Інформаційні продукти, Інформаційні ресурси;
9. «забезпечує реалізацію» : домен – Інформаційні системи рекомендаційного типу; діапазон – Інформаційні процеси, Персоналізовані рекомендації;
10. «містить» : домен – Електронні навчальні ресурси; діапазон – Інформаційні технології, Інформаційно-технологічні платформи, Системи електронного навчання, Інформаційні продукти, Освітній контент.

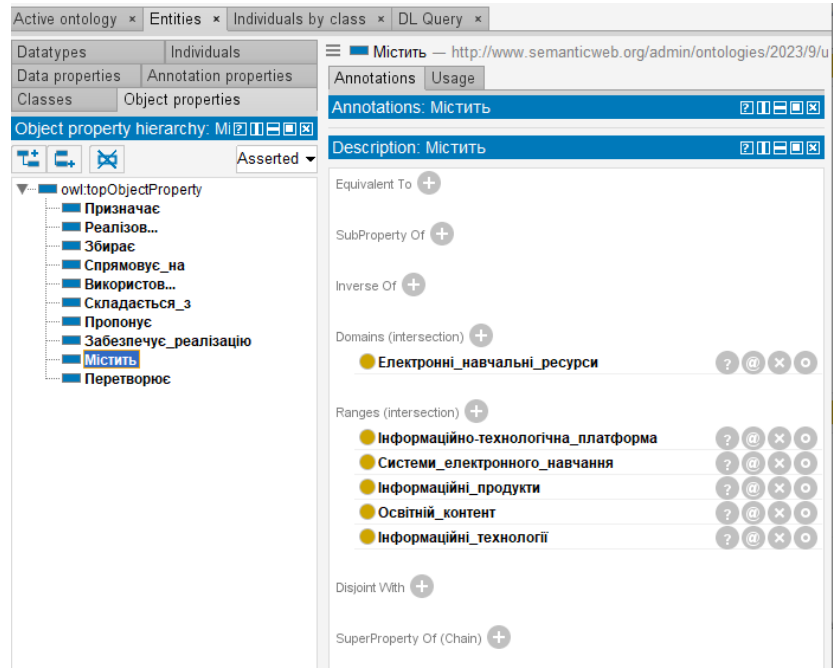


Рис.1.2. Властивості онтології

На рисунку 1.3 наведено фрагмент онтології основних термінів та означень сфери дисертаційного дослідження.

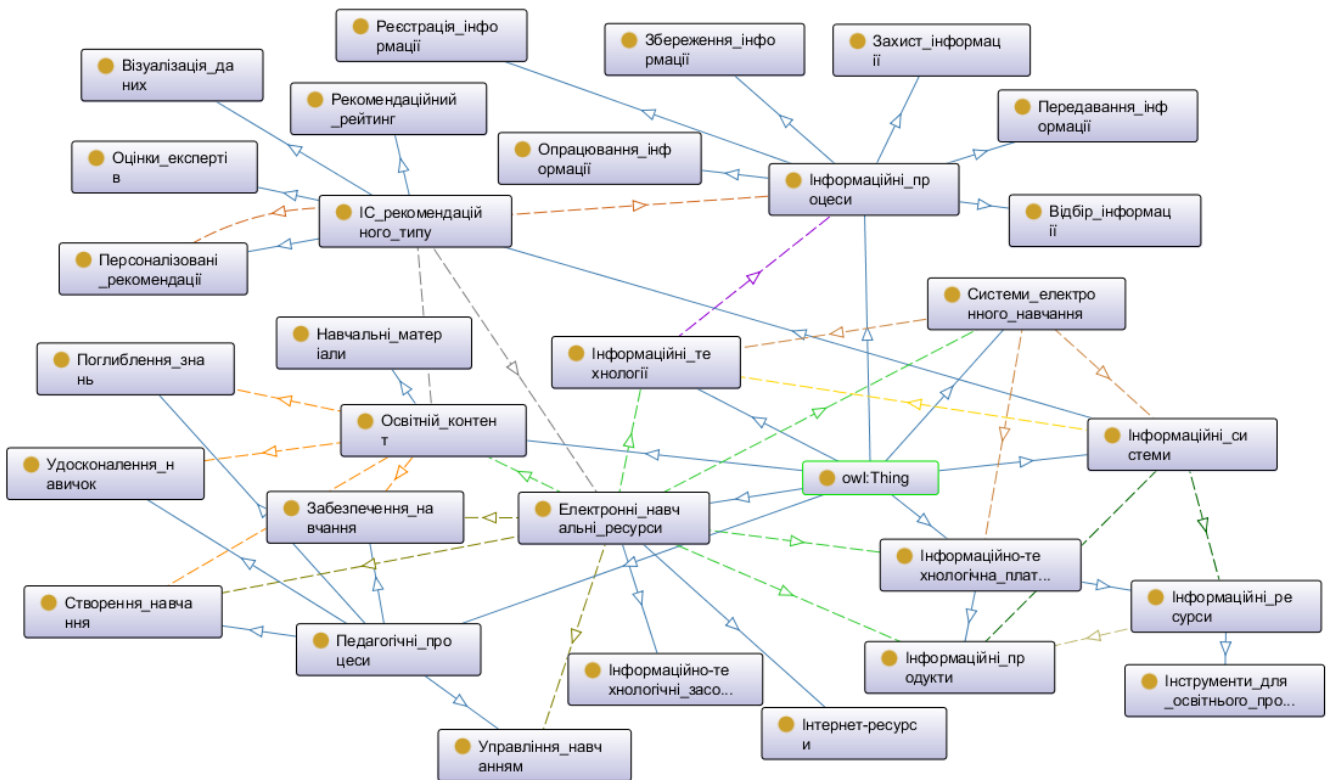


Рис. 1.3. Фрагмент онтологічного подання основних термінів та означень сфери дисертаційного дослідження

Сформоване онтологічне подання дозволило визначати сутнісні зв'язки та ієрархії між базовими термінами та поняттями, які використовувалися в процедурах аналізу та опрацювання інформації під час проведення повного циклу дисертаційних досліджень.

Проведений огляд та поглиблений аналіз електронних навчальних ресурсів засвідчив істотну трансформацію сучасної освітньої парадигми, яка відображається під впливом запровадження інформаційних технологій. Розглянуті електронні навчальні ресурси в переважній більшості ситуацій сприяють забезпеченню наочності, інтерактивності та доступності процесів навчання. Загалом, проведений аналіз електронних навчальних ресурсів підтверджує якнайширші перспективи їхнього використання, як ефективного засобу набуття особою сучасної якісної освіти. Водночас важливим підтриманням балансу між технологічними можливостями та педагогічними цілями, а також забезпечення сталого вдосконалення та адаптації ЕНР відповідно до вимог та потреб сучасного освітнього процесу.

## **1.2. Аналіз засобів та функцій інформаційних технологій в контексті формування якісного освітнього контенту**

В сучасній цифровій парадигмі, в якій доступ до інформації є безперервним процесом, освітній контент відіграє надважливу роль у сферах навчання та самоосвіти.

Контент (від англ. content – «зміст, вміст») – це термін, який використовується для опису інформації. У словнику іншомовних термінів контент – це інформаційне наповнення – тексти, графіка, мультимедіа та інше інформаційно-значуще наповнення інформаційної системи.

Синонімами до слова «контент» можуть бути такі терміни: вміст, зміст, наповнення, інформація, матеріал. Всі терміни вказують на процес або результат додавання матеріалу, інформації або вмісту до певного середовища.

Освітній контент – це сукупність інформаційних матеріалів, які мають освітню цінність та спрямовані на досягнення педагогічних цілей, вдосконалення навичок та

поглиблення знань. Освітній контент подають у таких форматах, як текстові матеріали, відеоуроки, презентації, аудіозаписи та інтерактивні модулі навчання.

Тож надалі поняття освітній контент, освітній зміст, освітнє наповнення, навчальний матеріал розглядатимемо як еквівалентні терміни.

Однією з ключових переваг сучасного освітнього змісту є його широка доступність. Використання засобів інтернету надає змогу широкій аудиторії навчатися та формувати освітні та професійні навички в будь-який час зі зручного віддаленому користувачу місця. Багато освітніх платформ, зокрема таких, як Coursera, UdeMy, Khan Academy, пропонують вибір онлайн курсів, що охоплюють широкий спектр галузей знань та спеціальностей.

Однак, залишається актуальним питання щодо якості використовуваного освітнього наповнення. З огляду на великий обсяг інформації, доступної онлайн, важливими залишаються навички щодо критичного мислення та вміння виокремлювати надійний та якісний освітній зміст. Конструктивний освітній контент зазвичай повинен формуватися фахівцями відповідної галузі та бути гарантовано точним та актуальним.

Сучасні інформаційні технології відіграють ключову роль у процесах формування якісного освітнього наповнення для систем електронного навчання. Зокрема, вони надають інструментальні засоби для створення, систематизації та взаємодії користувачів з освітнім змістом (див. таблицю 1.2.).

*Таблиця 1.2*

Засоби інформаційних технологій та їх функції у процесах формування та використання освітнього наповнення

Управління навчальними матеріалами (інструменти та системи, що сприяють у створенні, систематизації, редагуванні та поширенні навчального матеріалу) [37]:		
1.	Системи керування навчанням	Забезпечують зручний доступ до матеріалів, можливість створення курсів, організацію завдань та оцінювання рівня знань (Moodle, Blackboard та Canvas).
2.	Електронний контент-потік	Інструменти для створення та управління вебконтентом, включаючи навчальний контент (WordPress, Joomla та Drupal).



3.	Системи електронного портфоліо	Дозволяють організувати та демонструвати навчальні досягнення та проєкти в структурованому та професійному форматі.
4.	Відеоплатформи	Використовують для зберігання, організації та поширення відеоуроків, лекцій та інших навчальних матеріалів (YouTube, Vimeo).
Е-лекції, відеоматеріали та вебіари (доступ до високоякісних, зручних та ефективних навчальних матеріалів) [38-40]:		
1.	Візуальна привабливість та демонстрація	Використання візуальних ефектів, анімації, демонстрації та симуляції, що сприяє кращому засвоєнню матеріалу.
2.	Гнучкість та доступність	Відео матеріали доступні з будь-якого місця, що сприяє можливості перегляду відеозаписів, відстежуванню власного темпу навчання та перегляду матеріалів у зручний час.
3.	Демонстрація практичних навичок та процесів	Відеоматеріали є ефективними засобами для демонстрації практичних навичок та процесів, вебіари – для живого показу та обговорення практичних вправ та кейсів.
4.	Можливість повторного перегляду та самостійного навчання	Можливість повторного перегляду відео занять сприяє самонавчанню та поглибленому засвоєнню навчального матеріалу.
5.	Взаємодія та спільна робота	Можливість взаємодії між викладачем та студентами сприяє активній комунікації, обговоренню концепцій, виконанню колективних завдань та спільної роботи над проєктами.
Інтерактивні елементи (тести, вправи, завдання з вибором та інтерактивні симуляції) [41-44]:		
1.	Залучення студентів до активного навчання	Можливість перевірити свої знання та навички, аналізувати теми, розв'язувати проблеми та мотивувати до подальшого вивчення матеріалу.
2.	Забезпечення змістовного спілкування	Сприяють організації спілкування між студентами та викладачами (форуми, обговорення та спільні завдання допомагають студентам обмінюватися ідеями, думками та рішеннями).
3.	Підтримка індивідуалізації навчання	Відповідають індивідуальним потребам та рівню знань студентів (системи з адаптивним навчанням надають завдання та матеріали, які відповідають рівню підготовки студента, що дозволяє кожному студенту отримувати індивідуальну підтримку).
4.	Використання симуляцій	Дозволяють студентам отримувати практичний досвід

	та віртуальних середовищ	у безпечному та контрольованому середовищі (симуляції дозволяють студентам експериментувати з різними ситуаціями, виконувати практичні завдання та розв'язувати проблеми, що покращує їх розуміння та навички).
5.	Оцінювання та зворотний зв'язок	Тести, вікторини та інші форми оцінювання дозволяють студентам перевірити свої знання та розуміння, а зворотний зв'язок надає можливість корекції та покращення процесів навчання.
Соціальні медіа та форуми (форуми обговорень, чати, блоги або використання соціальних медіаплатформ для спілкування та співпраці) [45-50]:		
1.	Спільне навчання та співпраця	Можливість студентів спілкуватися, обмінюватися думками, ідеями та рішеннями. Створення віртуальних спільнот студентів для допомоги один одному, обміну досвідом та взаємопідтримкою, сприяє активному навчанню та розвитку критичного мислення.
2.	Підтримка взаємодії з викладачем	Можливість студентів взаємодіяти з викладачем поза аудиторними заняттями, отримувати пояснення, обговорювати концепції та отримувати зворотний зв'язок від викладача.
3.	Спільне створення та обмін контентом	Можливість ділитися ресурсами, статтями, відео, презентаціями та іншими матеріалами підвищує доступність та різноманітність навчального контенту.
4.	Поділ досвідом та навчальною практикою	Можливість ділитися проектами, успіхами та навчальними досягненнями стимулює інших студентів, допомагає навчатися на прикладах та сприяє обміну навчальними ресурсами.
Адаптивність та персоналізація (індивідуальний підхід до навчання враховуючи потреби та характеристики кожного студента) [51-54]:		
1.	Індивідуальний підхід до навчання	Можливість адаптації освітнього контенту до рівня підготовки, інтересів та стилю навчання допомагає забезпечити ефективне засвоєння матеріалу та збільшує мотивацію студента.
2.	Забезпечення різноманітності матеріалів	Різнманітність матеріалів (тексти, відео, аудіо, інтерактивні елементи) забезпечує глибоке та цікаве засвоєння матеріалу та враховує різні стилі навчання.
3.	Адаптація до потреб студентів з особливими вимогами	Адаптація навчального контенту до студентів з особливими вимогами до навчання та обмеженими можливостями, враховуючи їхні потреби, з метою забезпечення доступності та підтримки навчання.
4.	Оцінка та зворотний	Оцінювання налаштоване на вимірювання конкретних

	зв'язок на основі індивідуальних потреб	навичок, а зворотний зв'язок спрямований на підтримку розвитку студента на основі його індивідуальних потреб.
5.	Самостійне навчання та контроль прогресу	Можливість самостійно обирати навчальні шляхи, визначати цілі та перевіряти свій прогрес сприяє самодисципліні, саморозвитку та відповідальності за власне навчання.

Процес формування якісного освітнього наповнення для систем електронного навчання включає декілька етапів [41], [55], [56]:

*Етап 1. Аналіз цілей навчання та потреб студентів:* включає визначення основних понять, тем та галузей знань, які повинні бути включені до освітнього наповнення.

*Етап 2. Планування:* визначення структури та послідовності освітнього вмісту. Враховуються педагогічні стратегії, методи навчання та підходи, що найкраще реалізують цілі навчання.

*Етап 3. Розроблення навчальних матеріалів:* створення навчальних матеріалів таких, як тексти, відео, аудіо, зображення, тестові завдання та інші інтерактивні елементи. Цей етап може включати написання текстів, фільмування та монтаж відео, створення графічних елементів тощо.

*Етап 4. Впровадження навчальних матеріалів в систему електронного навчання:* включає завантаження матеріалів на програмно-апаратну платформу, організацію матеріалів у курси або модулі, налаштування навігації та інші аспекти, що забезпечують зручний доступ до освітнього вмісту.

*Етап 5. Тестування та перевірка:* виконання перевірки якості освітнього наповнення, проведення тестування та оцінювання результатів навчання.

*Етап 6. Оцінка ефективності та вдосконалення:* виявлення можливих недоліків та проблем, які потребують корекції та вдосконалення вмісту.

*Етап 7. Підтримка та поновлення навчальних матеріалів:* забезпечення підтримки процесів навчання, розв'язування проблем та оновлення навчального матеріалу залежно від змін у навчальній програмі або освітніх потребах студентів.

Наведена послідовність етапів ілюструє загальну структуру формування освітнього наповнення для систем електронного навчання. Певні кроки та їх послідовність можуть варіювати в залежності від обраної методології та використаної програмно-апаратної платформи. В процесі формування освітнього наповнення для систем електронного навчання важливо керуватися принципом педагогічної ефективності, інтерактивності, доступності та зручності її використання студентською аудиторією.

### **1.3. Інформаційні технології формування освітнього контенту на основі методів штучного інтелекту**

Сучасне суспільство проходить етап широко можливих глибинних цифрових трансформацій, які усталено змінюють практично всі сфери життя, включаючи освіту. Штучний інтелект (ШІ), як локомотивна група інформаційних технологій перетворюється на ключовий фактор вдосконалення багатьох аспектів освітнього процесу, зокрема мова йде про формування освітнього контенту. Інформаційні технології, побудовані на основі методів та засобів ШІ забезпечують можливість розроблення персоналізованих, ефективних та доступних навчальних матеріалів, що сприяє підвищенню якості освітнього процесу.

Методи штучного інтелекту, які базуються на аналізі великого обсягу даних, дозволяють ефективно реалізовувати процес добору якісних навчальних матеріалів, зорієнтованих на рівень підготовки та потреби кожного конкретного учня чи студента, зокрема з врахуванням його індивідуальних особливостей, темпів навчання та попередньо набутих ним знань. Алгоритми машинного навчання допомагають визначити потреби студентів та формувати спеціалізовані навчальні курси, сприяючи тим самим ефективному засвоєнню навчального матеріалу [57], [58].

Завдяки використанню таких підходів, можливе вагоме прискорення та спрощення процесів створення навчальних матеріалів. За допомогою алгоритмів автоматично генеруються текст, відео та інші види навчальних матеріалів, базуючись на даних, що вказують, які саме засоби комунікації оптимально сприймає

конкретний студент. Такий підхід забезпечує можливість відвести викладачеві більше часу на індивідуальну взаємодію зі студентами та удосконалення процесів у своїй професійній діяльності.

Успішна реалізація принципів, методів та засобів ШІ в галузі освіти визначається, зокрема, наявністю широкого спектру інформаційних матеріалів у навчальних базах даних, в яких міститься інформація щодо перебігу навчального процесу та рівня освітніх досягнень осіб, що навчаються.

В процесі дисертаційних досліджень, зокрема після виходу на ринок серії промислових інноваційних інформаційних технологій базованих на алгоритмах та методах штучного інтелекту було розглянуто декілька практичних аплікацій такого роду систем, які можуть використовуватися для підвищення ефективності процесів навчання та персоналізації освітнього процесу (табл. 1.3).

*Таблиця 1.3*

Інформаційні технології на основі методів штучного інтелекту, використання яких, може суттєво покращувати якість освітніх процесів

№	Технологія	Опис
1	Системи адаптивного навчання	Використовують алгоритми машинного навчання для індивідуалізації та оптимізації темпу навчання.
2	Голосові помічники в освіті	Інтегрують голосових помічників для доступу до навчальної інформації та виконання навчальних завдань.
3	Технології комп'ютерного зору	Аналізують тексти студентів та автоматично оцінюють роботи, спрощуючи процес оцінювання.
4	Генерація контенту на основі ШІ	Автоматично створюють навчальні матеріали, збільшуючи доступність та швидке оновлення контенту.
5	Віртуальна та розширена реальність (VR/AR)	Створюють інтерактивні навчальні практики з використанням VR та AR, з адаптацією до реакцій студентів.

Застосунки сформовані з використанням зазначених технологій яскраво та переконливо демонструють те, як методи та засоби штучного інтелекту можуть впливати, зокрема, на формування якісного освітнього вмісту та сприяти організації персоналізованого, ефективного та інноваційного навчального процесу. При цьому, фахівці підкреслюють важливість збереження та захисту етичних норм та

забезпечення захисту даних щодо учасників освітнього процесу, що є наріжними базовими принципами впровадження підходів ШІ не тільки в освітню галузь.

На даний момент розроблено доволі широкий спектр програмних засобів, в яких використовуються методи штучного інтелекту для формування освітнього наповнення та підтримки навчального процесу. Ряд з них подано в таблиці 1.4.

*Таблиця 1.4*

**Програмні засоби формування освітнього вмісту на основі  
методів та засобів штучного інтелекту**

<b>№</b>	<b>Програмний засіб</b>	<b>Опис</b>
1	IBM Watson Education [59]	Використовує ШІ для персоналізованих рекомендацій для навчання, аналізу прогресу студентів та створення індивідуального підходу до навчання.
2	Cognii [60]	Платформа для формування та оцінювання освітнього вмісту, надає викладачам можливість створювати інтерактивні тести та автоматично оцінювати відповіді студентів.
3	Content Technologies [61]	Розробляє інструменти для автоматичної генерації текстового контенту на базі ШІ, включно з навчальними матеріалами.
4	Coursera [62]	Онлайн-платформа зі ШІ для рекомендацій студентам стосовно курсів та навчальних матеріалів, з огляду на їхні інтереси та прогрес.
5	Duolingo [63]	Додаток для вивчення мови зі ШІ для персоналізації навчання та адаптації програми для кожного студента.
6	ALEKS [64]	Система для адаптивного тестування та навчання математики та інших освітніх компонент.
7	Brightspace [65]	Платформа управління навчанням, яка використовує ШІ для персоналізованого навчання та аналізу прогресу студентів.

Це лише декілька яскравих прикладів програмних засобів, які використовують підходи та засоби штучного інтелекту для формування освітнього вмісту та підвищення якості навчального процесу. У таблиці 1.5. наведено фрагмент переліку моделей штучного інтелекту в галузі опрацювання природної мови, для написання коду та для пошуку інформації, що є критично важливими процесами при формуванні навчальних матеріалів для систем електронного навчання.

Таблиця 1.5

Моделі штучного інтелекту в галузях опрацювання природної мови, написання коду та для пошуку інформації

Галузь	Модель ШІ
Моделі ШІ в галузі опрацювання природної мови	<p>Aiseo (<a href="https://aiseo.ai/">https://aiseo.ai/</a>);            Anyword (<a href="https://anyword.com/">https://anyword.com/</a>);            Caktus AI (<a href="https://www.caktus.ai/">https://www.caktus.ai/</a>);            ChatGPT (<a href="https://chat.openai.com/">https://chat.openai.com/</a>);            Colossal Chat (<a href="https://chat.colossalai.org/">https://chat.colossalai.org/</a>);            Compose.AI (<a href="https://www.compose.ai/">https://www.compose.ai/</a>);            Copy.ai (<a href="https://www.copy.ai/">https://www.copy.ai/</a>);            Explainpaper (<a href="https://www.explainpaper.com/">https://www.explainpaper.com/</a>);            Hugging Face (<a href="https://huggingface.co/spaces/NeuralInternet/ChatLLMs">https://huggingface.co/spaces/NeuralInternet/ChatLLMs</a>);            Jasper (<a href="https://www.jasper.ai/">https://www.jasper.ai/</a>);            Kickresume (<a href="https://www.kickresume.com/en/">https://www.kickresume.com/en/</a>);            MagickPen (<a href="https://magickpen.com/">https://magickpen.com/</a>);            Megatron-Turing NLG (<a href="https://developer.nvidia.com/megatron-turing-natural-language-generation">https://developer.nvidia.com/megatron-turing-natural-language-generation</a>);            Merlin (<a href="https://merlin.foyer.work/">https://merlin.foyer.work/</a>);            Moonbeam (<a href="https://www.gomoonbeam.com/">https://www.gomoonbeam.com/</a>);            OpenAI Playground (<a href="https://platform.openai.com/playground/">https://platform.openai.com/playground/</a>);            Peppertype (<a href="https://www.peppertype.ai/">https://www.peppertype.ai/</a>);            Perplexity (<a href="https://www.perplexity.ai/">https://www.perplexity.ai/</a>);            Replika (<a href="https://replika.com/">https://replika.com/</a>);            Rytr (<a href="https://rytr.me/">https://rytr.me/</a>);            Scalenut (<a href="https://www.scalenut.com/">https://www.scalenut.com/</a>);            Texti (<a href="https://texti.app/">https://texti.app/</a>);            Tome (<a href="https://beta.tome.app/">https://beta.tome.app/</a>);            Twain AI (<a href="https://www.twain.ai/">https://www.twain.ai/</a>)</p>
Моделі ШІ для написання коду	<p>ChatGPT (<a href="https://chat.openai.com/">https://chat.openai.com/</a>);            GitHub Copilot (<a href="https://copilot.github.com/">https://copilot.github.com/</a>);            OpenAI Codex (<a href="https://openai.com/research/codex">https://openai.com/research/codex</a>);            Microsoft IntelliCode (<a href="https://visualstudio.microsoft.com/services/intellicode/">https://visualstudio.microsoft.com/services/intellicode/</a>);            TabNine (<a href="https://www.tabnine.com/">https://www.tabnine.com/</a>);            Kite (<a href="https://www.kite.com/">https://www.kite.com/</a>).</p>
Моделі ШІ для пошуку інформації	<p>ChatGPT (<a href="https://chat.openai.com/">https://chat.openai.com/</a>);            Microsoft Bing Chat (<a href="https://www.bing.com/?/ai">https://www.bing.com/?/ai</a>);            Google Bard (<a href="https://bard.google.com/">https://bard.google.com/</a>);            YouChat (<a href="https://you.com/">https://you.com/</a>);            Neeva (<a href="https://neeva.com/">https://neeva.com/</a>);</p>

	Chatsonic ( <a href="https://writesonic.com/chat">https://writesonic.com/chat</a> ) Elicit ( <a href="https://elicit.org/">https://elicit.org/</a> ); Browse.AI ( <a href="https://www.browse.ai/">https://www.browse.ai/</a> ); Phind ( <a href="https://www.phind.com/">https://www.phind.com/</a> )
--	---

Ця таблиця була сформована в результаті взаємодії з інструментами, які входять до списку засобів вільного використання бібліотек чату GPT [66].

Якнайширшого використання при побудові систем на базі методів штучного інтелекту отримали нейромережеві підходи.

Нейромережі, як формально-математичний інструмент широко застосовуються в таких сферах, як опрацювання зображень, розпізнавання природної мови, прогнозування, аналіз даних та багато інших.

В таблиці 1.6. наведена підбірка нейромережевих інструментальних комплексів, які на даний час активно використовуються.

*Таблиця 1.6*

Популярні нейромережеві інструменти, які активно використовуються

Назва нейромережі	Галузь застосування
ResNet (Residual Networks)	Комп'ютерне зорове розпізнавання, опрацювання зображень
LSTM (Long Short-Term Memory)	Опрацювання послідовних даних, природна мова
GPT (Generative Pre-trained Transformer)	Опрацювання природної мови, генерація тексту
CNN (Convolutional Neural Network)	Комп'ютерне зорове розпізнавання, опрацювання зображень
RNN (Recurrent Neural Networks)	Опрацювання послідовних даних таких, як мовний текст, музика або часові ряди.
UNet	Семантична сегментація зображень
AlexNet	Комп'ютерне зорове розпізнавання, опрацювання зображень
DQN (Deep Q-Network)	Підсилене навчання в гральних середовищах
GAN (Generative Adversarial Networks)	Генерація нових зображень, звуку або тексту
MathGPT	Опрацювання математичних текстів і вирішення математичних завдань

Одним із найяскравіших представників сімейства такого роду інструментів є так званий чат GPT (Generative Pre-trained Transformer). GPT – це один із найвідоміших промислових інформаційно-технологічних інструментів створених на



логічній основі методів штучного інтелекту в сфері опрацювання природної мови, розроблений компанією OpenAI [67]. GPT заснована на архітектурі Transformer та була «натренована» великим обсягом текстових даних, що дозволяє їй «розуміти» структуру та семантику мови [68]. Базуючись на родині великих мовних моделей GPT-3.5 від OpenAI, ChatGPT працює з використанням алгоритмів машинного навчання для аналізу тексту, введеного користувачем, та генерує відповіді, що намагаються імітувати людські міркування та мовлення. Такого роду чат-боти спроможні генерувати текстові відповіді на запитання, що забезпечує унікальні можливості при формуванні освітнього вмісту. В процесі дисертаційного дослідження було розглянуто чат GPT, як інформаційну технологію формування освітнього контенту та проаналізовано його переваги та недоліки (табл. 1.7) [70].

Таблиця 1.7

Переваги та недоліки використання ChatGPT при формуванні  
освітнього вмісту

<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
<i>Швидке створення вмісту.</i> ChatGPT швидко генерує текст для різних освітніх матеріалів, зменшуючи час на їх створення.	<i>Нестабільність результатів.</i> Залежно від введеного запитання, застосунок може надавати неякісні або неправильні відповіді.
<i>Різноманітність вмісту.</i> Застосунок створює різноманітний контент з використанням різних підходів та стилів для підтримання зацікавленості студентів.	<i>Відсутність особистісного підходу.</i> Застосунок не враховує індивідуальні особливості, потреби та навички студентів.
<i>Підтримка автоматизації.</i> ChatGPT забезпечує автоматизацію процесу створення контенту, звільняючи викладачів від однотипової рутинної роботи.	<i>Обмежена глибина розуміння.</i> Застосунок може недостатньо глибоко «розуміти» певні теми, або концепції.
<i>Доступність.</i> Застосунок доступний 24/7, що дозволяє отримувати потрібні матеріали в будь-який час.	<i>Відсутність інтерактивності.</i> Застосунок не здатний взаємодіяти в процесі роботи з користувачем, як це зазвичай роблять викладачі в аудиторії.
<i>Спрощення рутинних завдань.</i> Застосунок генерує рутинний освітній вміст, вивільняючи час викладачам для творчої роботи.	<i>Потенційна залежність.</i> Залежність від застосунку може призвести до зниження рівня навичок студентів у процесах самостійного навчання.

При використанні ChatGPT важливо ретельно зважувати його переваги та недоліки під час формування освітнього наповнення. Доцільно використовувати застосунок як допоміжний інструмент, комбінуючи можливості з іншими методами навчання.

Проведено доволі багато досліджень щодо способів використання застосунку ChatGPT в найрізноманітніших сферах. Значна кількість дослідників провели аналіз та оцінювання інтегруючого інструменту ChatGPT. На рисунку 1.4. проілюстровано множину сфер досліджень, які виконані з використанням ChatGPT.

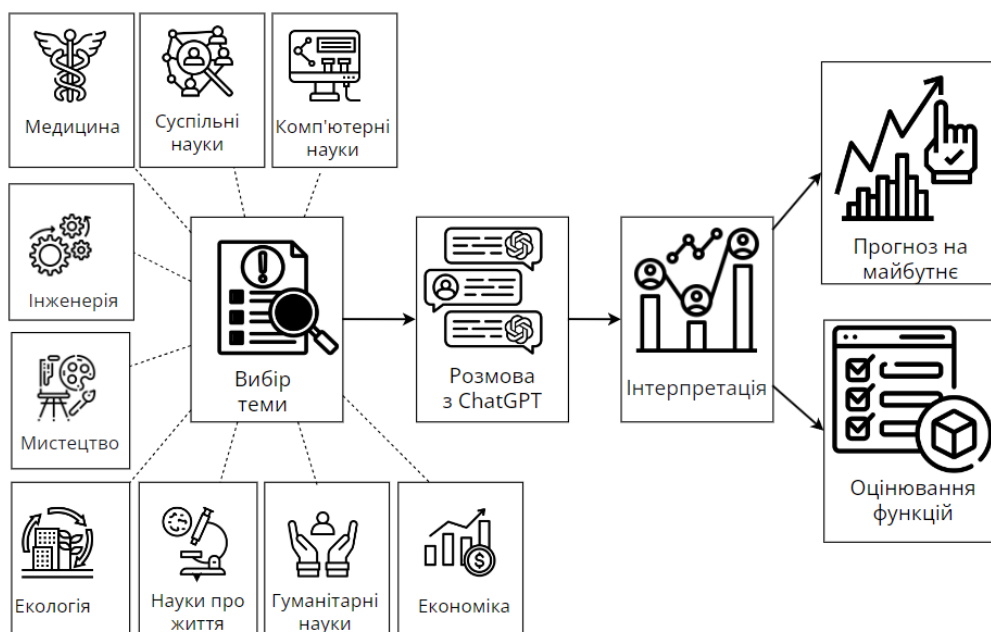


Рис. 1.4. Сфери досліджень, у яких проводився аналіз ефективності використання інструментів ChatGPT в процесах формування освітнього вмісту.

Зазвичай користувачі обирають тему, що їх цікавить, ставлять запитання ChatGPT, після чого надають інтерпретації на основі отриманих відповідей. В цілому, інтерпретації можна узагальнити у два типи: перші прогнозують майбутнє теми в контексті ChatGPT, інші оцінюють функції самої системи та їх потенційний вплив [71].

Значна частина науковців активно досліджує та проводить оцінювання функцій ChatGPT, як інструментального засобу допомоги при написанні або розробленні

системи прогнозів щодо перспективних тенденцій та системних трансформацій у системі освіти [72].

Розглядаються можливість впливу ChatGPT на студентів та викладачів, а також етичні аспекти, які варто враховувати під час використання зазначеного застосунку, як інформаційної технології формування освітнього контенту.

Зазвичай, чат GPT використовують в освітньому процесі для створення інтерактивного навчального середовища, в якому учасники освітнього процесу отримують в режимі реального часу відповіді на запитання. З використанням цієї технології стає можливим створювати освітній вміст, який адаптується до індивідуальних потреб студентів, забезпечуючи при цьому персоналізований підхід до процесу навчання. Чат-боти GPT можуть пояснювати складні концепції, наводити приклади та відповіді на запитання, що сприяє поглибленому сприйняттю навчального матеріалу [73-76].

Формування навчальних матеріалів з використанням застосунку ChatGPT залежить, як від їх структури процесів навчання, та відповідних освітніх галузей. Нижче наведено ряд варіантів видів освітнього вмісту, які були створені з допомогою інструментів GPT [77]:

*1. Відповіді на запитання.* Чат GPT відповідає на запитання стосовно найрізноманітніших тем. Забезпечується пояснення концепцій, наводяться приклади та розширюються горизонти розуміння окремих специфічних питань (рис. 1.5).

**В** Чи потрібні знання вищої математики для ІТ спеціалістів?

Для ІТ спеціалістів знання вищої математики можуть бути корисними, але не завжди обов'язковими, в залежності від конкретної області роботи і завдань, які вони виконують. Ось деякі аспекти, які можуть допомогти вам зрозуміти, які знання вищої математики можуть бути корисними для різних галузей ІТ:

- Програмування і розробка програмного забезпечення:** Більшість програмістів повинні мати глибокі знання математики для створення ефективних алгоритмів, розробки алгоритмів обробки даних, оптимізації коду тощо. Особливо важливі знання алгебри, дискретної математики, теорії алгоритмів.
- Машинне навчання і штучний інтелект:** У цих галузях математика відіграє ключову роль, оскільки багато алгоритмів базуються на математичних концепціях. Лінійна алгебра, імовірність, статистика, оптимізація - це лише деякі з напрямків математики, які можуть бути важливими.
- Комп'ютерна графіка і візуалізація:** Для розробки графічних двигунів та візуальних ефектів можуть знадобитися знання геометрії, алгебри та тригонометрії.
- Кібербезпека:** В цій галузі знання теорії чисел, криптографії та алгоритмів можуть бути дуже корисними.

Рис. 1.5. Ілюстрація формування варіанту відповіді на запитання до застосунку ChatGPT

2. *Пояснення термінів і теорій.* Застосунок ChatGPT формує пояснення складних термінів та теорій у доступній формі. Він дозволяє формувати визначення, наводить приклади та допомагає досягнути базові концепції в найрізноманітніших галузях знань (рис. 1.6).

**В** Сформулюй означення границі функції. Наведи необхідні приклади

Означення границі функції дає можливість формалізовано висловити концепцію того, як функція наближається до певного значення, коли її аргумент наближається до певної точки. Ось означення границі для функції  $f(x)$  при  $x$ , що наближається до  $a$ :

Границя  $f(x)$  при  $x$ , що наближається до  $a$ , дорівнює  $L$ , якщо для кожного додатного числа  $\epsilon$ , незалежно від того, наскільки мало, завжди існує додатне число  $\delta$ , таке що для всіх  $x$ , для яких  $0 < |x - a| < \delta$ , виконується  $|f(x) - L| < \epsilon$ .

Це означення виражає ідею того, що функція  $f(x)$  зближується до значення  $L$ , якщо значення  $x$  знаходиться досить близько до точки  $a$ .

Приклади:

- Границя константи:** Нехай  $f(x) = c$  для деякої константи  $c$ . Тоді границя  $f(x)$  при  $x$ , що наближається до  $a$ , також буде рівна  $c$ , оскільки  $f(x)$  завжди дорівнює  $c$  незалежно від  $x$ .
- Границя лінійної функції:** Розглянемо функцію  $f(x) = 2x + 3$ . Якщо  $x$  наближається до  $1$ ,  $f(x)$  наближується до  $5$  ( $2 \cdot 1 + 3 = 5$ ). У цьому випадку границя  $f(x)$  при  $x$ , що наближається до  $1$ , дорівнює  $5$ .

Рис. 1.6. Процеси пояснення суті термінів і змісту теорій в застосунку ChatGPT

3. *Завдання та вправи.* Застосунок ChatGPT формує навчальні завдання та вправи, формулює запитання, пропонує виконати завдання яке складається з різних освітніх компонент, запитує щодо розв'язку задачі та наводить завдання для самостійного вирішення (рис. 1.7).

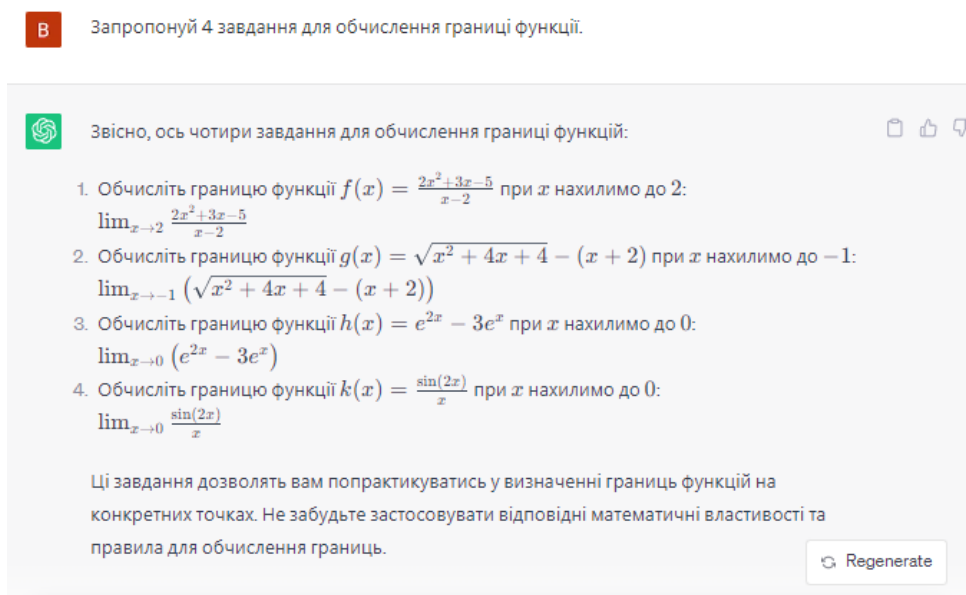


Рис. 1.7. Завдання та вправи в застосунку ChatGPT

4. *Резюме та конспекти.* Чат GPT формує резюме та конспекти текстових матеріалів. Застосунок виокремлює основні пункти, узагальнює повідомлення та формує зручний для швидкого перегляду текст (рис. 1.8).

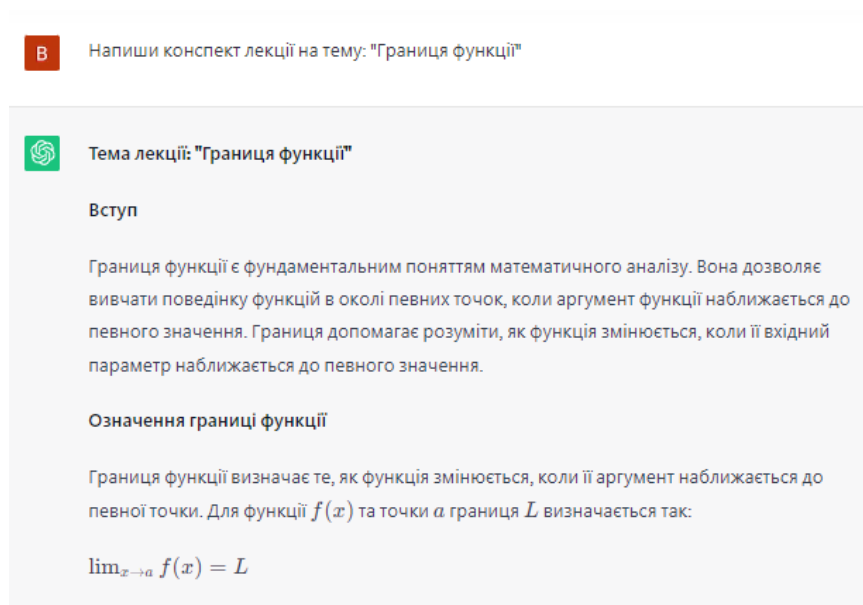


Рис. 1.8. Резюме та конспекти сформовані інструментами ChatGPT

5. *Рекомендації та персоналізований навчальний матеріал.* Застосунок ChatGPT рекомендує додаткові освітні матеріали, курси або ресурси, що зорієнтовані на інтереси та потреби конкретних користувачів. Він надає персоналізовані поради та пропозиції щодо подальшого навчання (рис. 1.9).

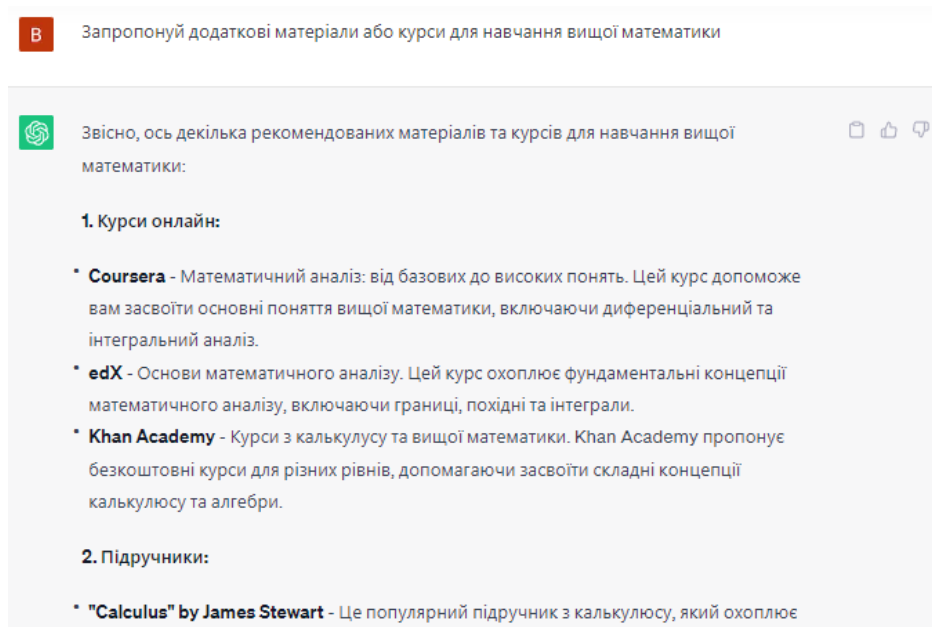


Рис. 1.9. Рекомендації та персоналізований навчальний контент сформований за допомогою застосунку ChatGPT

ChatGPT є інноваційною інформаційною технологією, яка відкриває нові можливості для формування якісного та актуального освітнього контенту. Використання такого роду чат-ботів дозволяє доволі швидко створювати інтерактивне середовище навчання, забезпечувати постійний доступ до освітніх даних та кардинально розширювати освітні можливості для широкого кола потенційних споживачів. При цьому, залишається актуальним вирішення питань забезпечення належного рівня коректності та актуальності наданої інформації, що залежатимуть від рівня та якості алгоритмів тренування відповідної моделі та використовуваних базових даних.

Експертна оцінка навчальних матеріалів, сформованих моделями на основі методів штучного інтелекту (зокрема, GPT-3.5 від OpenAI, PaLM 2 від Google, LLaMa від Meta, Copilot від компанії Microsoft, та інших), є надзвичайно вагомим та

суттєвою. Слід відзначити, що згенерований освітній зміст вимагає високої професійної експертизи з метою перевірки його рівня достовірності, якості та надійності.

Виокремлено важливі аспекти, які варто враховувати, використовуючи моделі на основі методів штучного інтелекту:

1. Моделі типу GPT-3.5 спочатку було навчено на обґрунтованих та перевірених даних, проте після їхнього впровадження та активного використання подібні моделі почали взаємодіяти з великим обсягом текстових матеріалів, видобутих з інтернету. Зазначені тексти, походзячи з інтернету, можуть супроводжуватися помилками, неточностями, суб'єктивними оцінками та іншими недосконаlostями. Важливо зазначити, що моделі типу GPT не мають вбудованого механізму для самостійної перевірки достовірності наданої інформації, тому вони можуть створювати відповіді на основі неточних даних.

Варто зазначити, що освітній зміст, створений із допомогою моделей GPT, не є надійним та правильним. Рекомендується проводити перевірку інформації, що надходить від таких моделей, із застосуванням надійних джерел або через виконання додаткових досліджень та експертної оцінки освітнього контенту фахівцями відповідної освітньої галузі.

2. Внесена конкретна інформація в запиті чи наданий додатковий контекст, суттєво впливає на формулювання відповіді. Неадекватне структурування запиту викликає неточності, оскільки модель має здатність запам'ятовувати дані, що були включені в попередні запити. Модель GPT може зафіксувати, навіть неправдиву інформацію, введену раніше, і використовувати її для створення відповідей. Ця обставина вказує на значущість перевірки інформації, отриманої від моделі, з відомих та довірених джерел.

3. Модель GPT має здатність формулювати правдоподібні твердження на основі неправдивих даних. Вони навчаються прогнозувати текстовий контент, використовуючи виявлені патерни у вхідних даних.

У результаті цього, модель GPT може створювати правдоподібні твердження, навіть коли її навчальні дані містять неточності, неправильну інформацію або

відомості, що не відображають реальну ситуацію. Ця ситуація може створювати потенційно серйозні проблеми, оскільки інформація, яку генерує модель, може видаватися правильною та правдоподібною, але при цьому бути недостовірною.

Важливо зауважити, що використання прогресивних інформаційних технологій має вирішальне значення у процесах створення освітнього наповнення, в яких проведення експертної оцінки якості такого вмісту є абсолютно необхідним. Освітній матеріал стає дійсно корисним, лише тоді, коли його перевірено експертами на предмет достовірності, якості та надійності. Особливо важливо залучати фахівців високого рівня з відповідної галузі або предметної області для аналізу та корекції згенерованого освітнього контенту. Цей етап відіграє ключову роль у гарантуванні якості освітнього матеріалу, зокрема тоді, коли такий матеріал призначений для використання в освітньому процесі для систем електронного навчання.

#### **1.4. Аналіз використання штучних інтелектуальних агентів та мультиагентних систем в процесах формування освітнього наповнення**

Одним з актуальних профілів наукових розвідок у царині систем електронного навчання є дослідження розподілених інтелектуальних систем, у яких реалізовані можливості обміну знаннями, використання спільних знань та повторного використання знань. Одним із варіантів модельного подання такого роду систем є трактування модулів, що є автономними частинами системи, як агентів, котрі працюють в межах системи та обмінюються знаннями.

Формуванню концепту та означенню поняття агент в інтелектуальних системах відводиться багато уваги з боку вітчизняних так закордонних дослідників, зокрема: у дослідженні [78] подано побудову інтелектуальних агентів, що базуються на онтологічному підході, з метою підвищення ефективності цих систем, у роботі [79] автори аналізують узагальнення методів вирішення завдань планування поведінки агентів у контексті інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, у статті [80] досліджується специфіка багатоагентних систем, механізми інформаційної взаємодії, класифікація їх видів та інфраструктурна складова, у дослідженні [81]



автор займається дослідженням методів розв'язування завдань планування поведінки агентів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, автори [82] досліджують особливості використання мультиагентних систем, що знаходяться у віртуальному просторі і використовуються для підтримки прийняття рішень, в роботі [83] досліджується використання інтелектуальних програмних агентів для створення адаптивного середовища електронного навчання, стан мультиагентних систем досліджується в роботі [84], у дослідженні [85] автори розкривають принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту.

У дослідженні [87] показано дизайн адаптивної системи електронного навчання на основі багатоагентного підходу та навчання з підкріпленням. Застосування мультиагентного підходу в адаптивних системах електронного навчання підвищує якість навчального процесу шляхом адаптації змісту до потреб студентів. Агенти в цих системах співпрацюють, щоб забезпечити персоналізований досвід навчання.

Функціонал та структуру мультиагентної системи подання та опрацювання знань ґрунтовно розглянуто в дослідженні [88], в якому продемонстрована архітектура системи, моделі реактивних і когнітивних програмних агентів.

Про педагогічних агентів для електронного навчання описано в дослідженні [89]. Педагогічні агенти для адаптивних систем електронного навчання в основному призначені для надання унікального та особистого досвіду студентам, які мають різні стилі навчання та різні освітні потреби.

У дослідженні [90] розглядаються поняття, пов'язані з агентами та мультиагентними системами в електронному навчанні, а також подано огляд досліджень в контексті застосування мультиагентних систем в електронному навчанні з акцентом на типи агентів. Мультиагентна система – це група незалежних агентів, які знаходять оптимальне рішення шляхом взаємної комунікації.

В сучасних науках роль агентів як проміжної ланки між суб'єктом і об'єктом є дуже важливою [91] (рис. 1.10). Якщо рухатися від суб'єктного полюса, то агент виступає як квазісуб'єкт, здатний заміщувати іншого суб'єкта, що має певні зобов'язання перед ним і діє за його дорученням. Однак, під час руху від об'єктного полюса агентом вважається активним об'єктом або метаоб'єктом, що здатний

маніпулювати іншими об'єктами, зокрема формувати власні програми дій, які викликані деякими потребами та спрямовані на досягнення конкретних цілей. Розрив між суб'єктом і об'єктом неможливий [11].

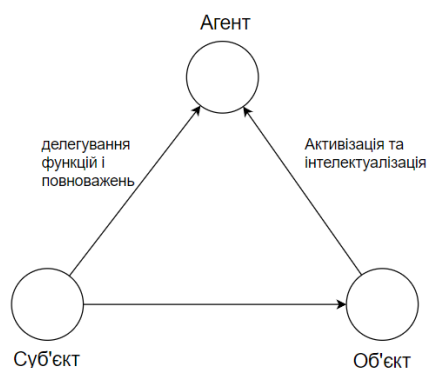


Рис. 1.10. Ілюстрація поняття агент

Поняття агента можна інтерпретувати множиною, що містить п'ять елементів:

**Агент = <Об'єкт, Середовище, Сприйняття, Інтерпретація, Дія>**,

де *Об'єкт* – програмний чи апаратний елемент або будь-яка фізична, чи віртуальна одиниця, що має здатність взаємодіяти з оточенням та виконувати дії для досягнення цілей; *Середовище* – це оточення (реальне або віртуальне), у якому агент функціонує; *Сприйняття* – термін, який використовується для позначення отриманих агентом сенсорних даних у конкретний момент часу; *Інтерпретація* – процес покомандного виконання програми без попередньої компіляції; інтелектуальне управління діяльністю агента з використанням програми, що реалізує функцію агента. Агент вибирає доцільні цілеспрямовані рішення із широкого діапазону можливих дій. Отже, сприйняття відображаються на дії; *Дія* – на основі інтерпретації та прийняття рішень агент виконує конкретні дії (фізичні або віртуальні) для взаємодії з оточенням та досягнення цілей.

Кожне формулювання поняття агента включає конкретні характеристики, що визначаються відповідно до цілей розробки, завдань, методів реалізації та критеріїв.

Запропоновано низку різних класифікацій агентів. Загальна система класифікацій агентів наведена на рисунку 1.11.

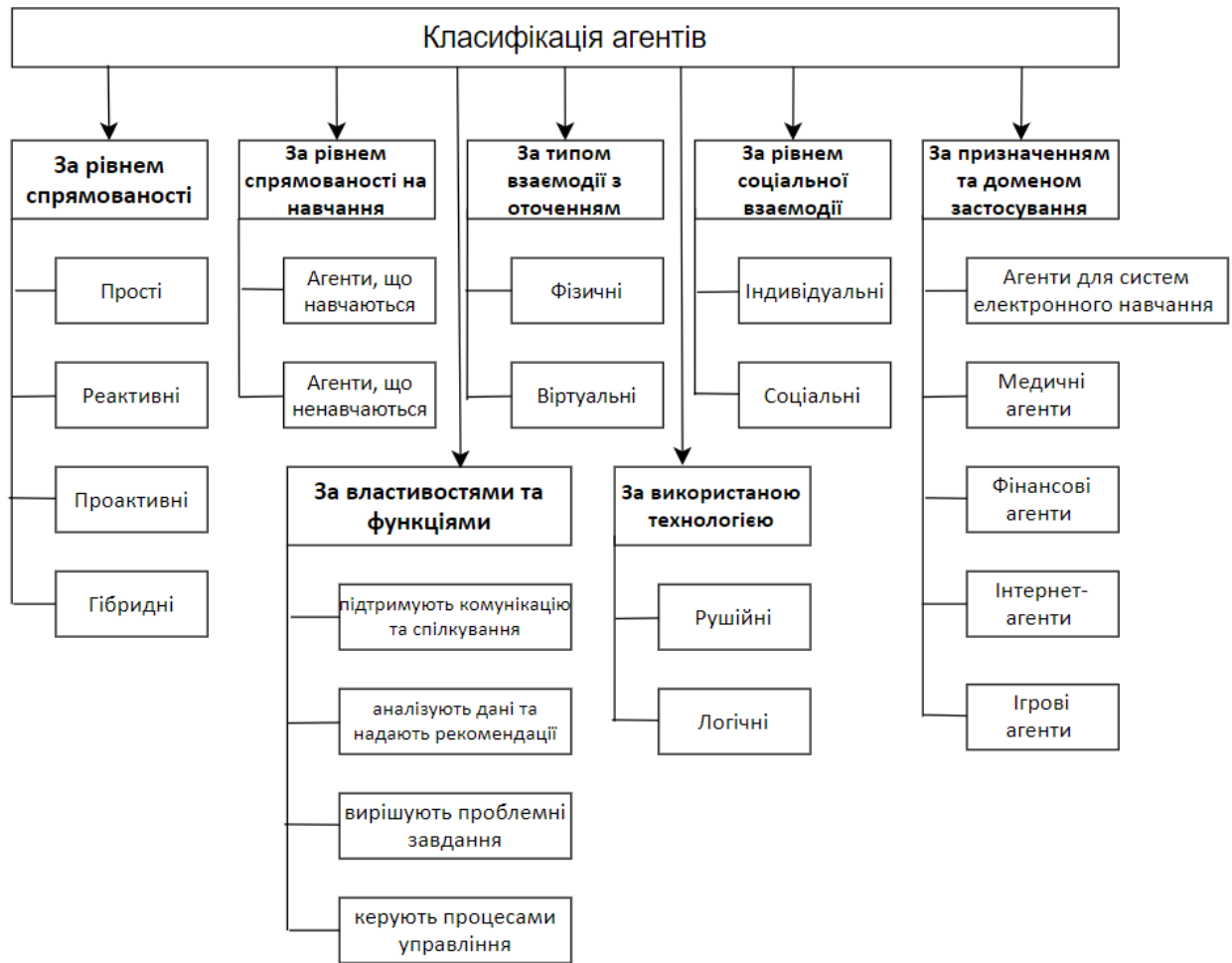


Рис. 1.11. Загальна класифікація агентів

*Прості агенти (Simple Agent)* виконують конкретну дію з використанням заданого правила чи умови. *Реактивні агенти (Reactive Agent)* реагують на вхідні події та ситуації, виконуючи попередньо визначені дії без внутрішнього стану. *Проактивні агенти (Proactive Agent)* мають внутрішні цілі та плани, ініціюють дії для досягнення цілей, без зовнішніх стимулів. *Гібридні агенти (Hybrid Agent)* комбінують різні рівні спрямованості у своєму функціонуванні.

*Агенти, що не навчаються (Non-Learning Agent)* не можуть набувати досвіду та змінювати свою поведінку в результаті навчання. *Агенти, що навчаються (Learning Agent)* мають здатність набирати досвід та адаптуватися до змін в оточенні через навчання.

*Фізичні агенти (Physical Agent)* – реальні об’єкти, які взаємодіють із фізичним оточенням (робот). *Віртуальні агенти (Virtual Agent)* функціонують у віртуальному середовищі, у комп’ютерних іграх.

*Агенти для систем електронного навчання (Educational Agents)* спеціалізовані агенти, призначені для підтримки навчального процесу. *Медичні агенти (Medical Agents)* використовуються в медичних додатках для діагностики, лікування та підтримки пацієнтів. *Фінансові агенти (Financial Agents)* використовуються для фінансового аналізу, управління портфелем, передбачення трендів тощо. *Інтернет-агенти (Internet Agents)* сприяють користувачам у пошуку інформації в Інтернеті, рекомендують контент, аналізують вебсторінки та здійснюють інші дії, пов’язані з вебсередовищем. *Ігрові агенти (Gaming Agents)* використовуються в комп’ютерних іграх для створення віртуальних персонажів та інших сутностей, які взаємодіють із гравцем.

*Агенти, що підтримують комунікацію та спілкування* зосереджені на забезпеченні ефективної комунікації між агентами, користувачами або системами. *Агенти, що аналізують дані та надають рекомендації* використовують методи аналізу даних, штучного інтелекту та алгоритми для виявлення залежностей, трендів та патернів у наборах даних. *Агенти, що вирішують проблемні завдання* спрямовані на розв’язання складних завдань. Вони використовують свої знання та алгоритми для аналізу ситуації, формулювання стратегій та прийняття рішень для досягнення поставлених цілей. *Агенти, що керують процесами управління* відповідають за контроль, координацію та оптимізацію різних процесів або систем. Вони автоматично відстежують стан системи, приймають рішення та виконують дії для забезпечення ефективності, безпеки та досягнення цілей. *Логічні агенти (Logical Agents)* базуються на символічному поданні знань.

*Агенти пошуку* здійснюють інформаційний пошук та поповнюють існуючу базу даних, яку *агенти формування бази знань* використовують для формування знань та правил, що застосовуються при вирішенні визначених завдань [94]. *Агенти навчання* реалізують процес інтелектуалізації, що надає їм здатність до автономного прийняття рішення.

*Звичайні агенти* опираються, лише на поточні знання (рис. 1.12). Основою для їхньої агентської функції є схема «умова-дія» (IF (умова) THEN (дія)) [94].

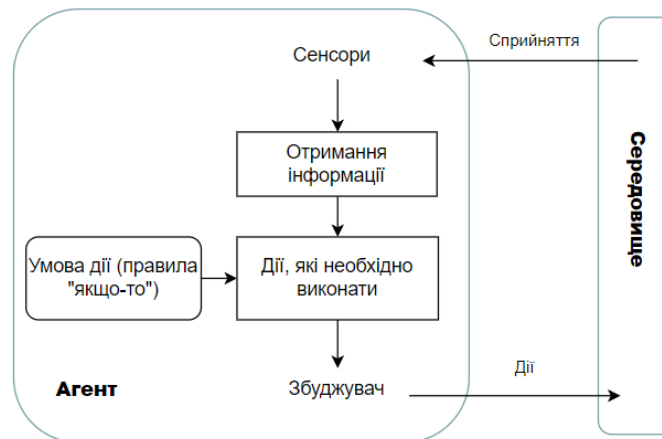


Рис. 1.12. Структурна схема звичайного агента

*Інтелектуальні агенти* мають здатність до навчання і пристосування до змін. Інтелектуальні агенти у сфері штучного інтелекту є фізичними або віртуальними сутностями, що виконують такі функції [94]:

- комунікація з іншими агентами, обмін повідомленнями з ними;
- внутрішнє функціонування, включно з роботою без зовнішнього втручання;
- здатність зберігати та аналізувати різні ситуації;
- аналіз реакції на власні дії;
- передбачення майбутніх подій та змін у середовищі.

З використанням інтелектуальних здібностей такі агенти будують віртуальні середовища, де формуються плани майбутніх дій [86].

На відміну від звичайних агентів, що реагують на зовнішні впливи, через перебір наявних правил у своїй базі знань, яка залишається незмінною, інтелектуальний агент має у своєму складі компоненти, що дають змогу створювати нові знання під час своєї роботи (рис. 1.13).

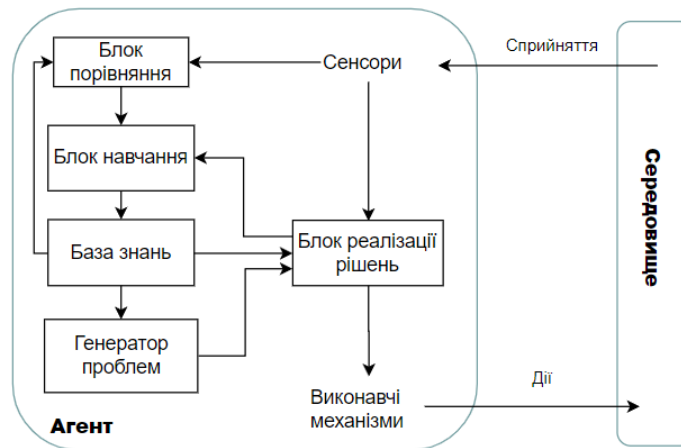


Рис. 1.13. Структурна схема інтелектуального агента

Інтелектуальні агенти володіють знанням про середовище, що дозволяє їм самостійно розв'язувати завдання без участі користувача. Разом з тим, інтелектуальні агенти взаємодіють з іншими агентами для спільного вирішення конкретних завдань.

Інтелектуальні агенти мають наступні властивості [78]:

- *автономність* – самостійне функціонування та самоконтроль у діях;
- *реактивність* – своєчасне реагування на зміни, що відбуваються в середовищі;
- *проактивність* – генерування цілей та дій, що забезпечують їх досягнення;
- *базові знання* – знання агента, що необхідні для його функціонування;
- *переконання* – впевненість у доцільності використання знань для своїх цілей, однак не знання про зміни даних та їх неактуальність;
- *цілеспрямованість* – цілеспрямована поведінка для досягнення певної мети;
- *бажання* – бажані стани та ситуації, що можуть бути суперечливими;
- *наміри* – вплив на цілі та зобов'язання агента;
- *зобов'язання щодо інших агентів* – завдання, що покладено на агента в рамках співпраці;
- *здатність до комунікації* – можливість ефективної взаємодії з іншими агентами;

– мобільність – можливість агента мігрувати через мережу для пошуку необхідної інформації та вирішення поставлених завдань.

Важливим аспектом теорії агентів є проблема синтезу адекватної архітектури для відповідного класу (типу) агентів. У загальному випадку агент  $a$  має різні функціональні властивості (атрибути) на різному рівні. Тоді його можна схарактеризувати вектором значень  $\mu = (\mu_1(x), \dots, \mu_n(x))$ , що виражає рівень задоволення цими властивостями. Отже, будується функція  $\mu: X \rightarrow [0,1]^n$ , де  $[0,1]^n$  повна решітка. Ідеальний агент характеризується вектором  $\mu^0 = (1, \dots, 1)$ .

Архітектура інтелектуального агента з ґрунтовною специфікацією бази знань показана на рисунку 1.14.

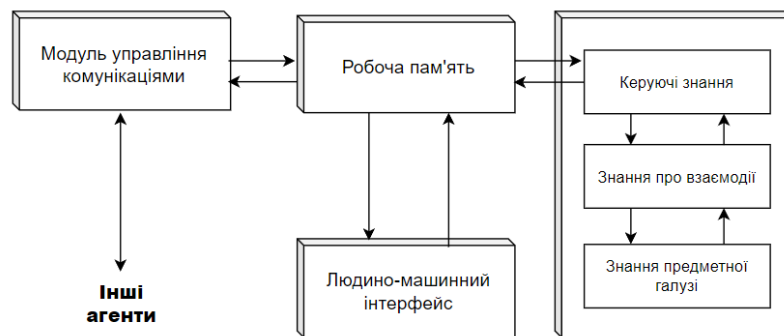


Рис. 1.14. Архітектура інтелектуального агента з ієрархічною базою знань

Виокремимо три рівні знань, які мають вирішальне значення в архітектурі агента:

- Знання предметної галузі (domain knowledge).
- Знання про взаємодії (interface knowledge), які є у формі загальних декларативних правил поведінки, а також правил зростання рівня і модифікації знань предметної області. Правила взаємодії є основою архітектури агента й поділяються на дві підгрупи: а) правила прийняття рішення в умовах невизначеності; б) правила управління кооперацією агентів.
- Знання управління (control knowledge), знання про взаємодії знань предметної області з метою доповнення та зміни робочої пам'яті.

Робоча пам'ять призначена для зберігання тимчасових даних, отриманих від рівня управління, користувача або модуля управління комунікаціями. Модуль

управління комунікаціями відповідає за створення та відправлення повідомлень, що спрямовуються до інших агентів. Людино-машинний інтерфейс визначає способи взаємодії між системою і користувачем.

Для пошуку або видобування освітнього контенту з інтернету ефективно використовувати мультиагентні системи (рис. 1.15), в яких професійні пошукові агенти взаємодіють один з одним і спільно вирішують завдання, поставлені користувачем. Отримання знань, шляхом видобування їх з інтернету можливе при агрегації достатніх об'ємів інформації, комплексу знань та практичного досвіду висококваліфікованих експертів, а також наявності ефективного аналітичного інструментарію.

Таким інструментарієм слугує ряд програмних засобів, а саме: Convera, ПОЛЕДР, ТОДОС-ПРОЦЕСИ, ТІАС ПРИЗМА, ТОДАОС, ONTO-ТЕХТ, OntoILPER, ABBYY InfoExtractor, IBM Analytics.

Специфіка роботи мультиагентної системи включає наступні етапи:

1. Користувачі ( $A_m$ ) роблять запит.
2. Агент  $A_p$  порівнює запит з записами в БД та БЗ. Актуальний запис агент  $A_p$  направляє до  $A_m$ .
3. Якщо ж в БД та БЗ запис відсутній, то агент  $A_p$  перенаправляє запит до агента  $A_d$ .
4. Агент  $A_d$  перенаправляє запит до відповідного агента інформаційних ресурсів ( $A_{r1} \dots A_{rm}$ ).
5. Агент  $A_n$  об'єднує відповіді від агентів  $A_{r1} \dots A_{rm}$  і перенаправляє до агента  $A_f$ .
6. Агент  $A_f$  фільтрує отримані дані й передає користувачам.



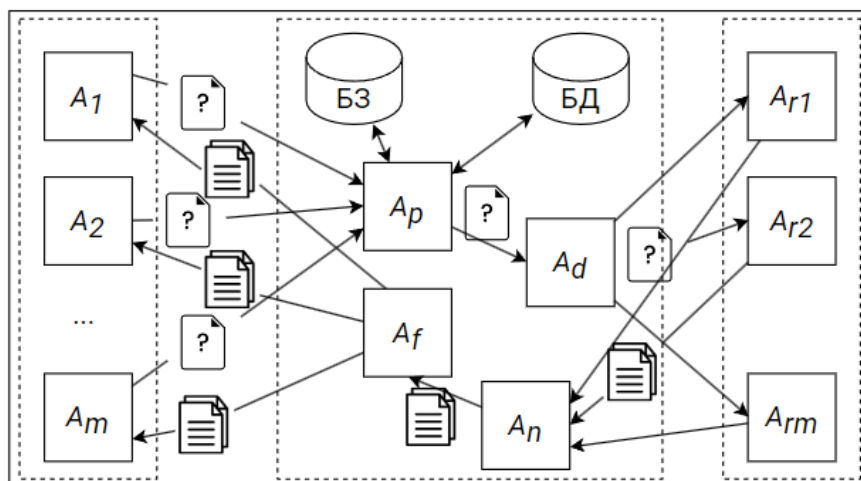


Рис. 1.15. Архітектура мультиагентної системи

Розглянута мультиагентна пошукова система, призначена для знаходження навчальних матеріалів в інтернеті, що відповідає запитам користувачів у конкретній галузі знань. Система забезпечує ефективне використання мережевих ресурсів, зменшує час пошуку в порівнянні з іншими пошуковими засобами та підвищує якість результатів.

Для постійного використання користувачем інформаційних ресурсів інтернету характерне тривале зацікавлення в інформації, що стосується конкретної, вузької предметної області.

Подібні мультиагентні пошукові системи реалізують можливість виконання складних та багаторазових запитів, що виникають у спеціалізованій предметній області, пов'язаних з освітніми інтересами користувачів. Запити цих користувачів можуть варіюватися від сеансу до сеансу, чи навіть змінюватися під час пошуку, однак залишаються в межах визначеної предметної області, у якій користувачі є експертами.

Різноманітність трактування поняття *агент* у системах штучного інтелекту дає змогу виокремити основні властивості, такі як: активність, реактивність, автономність, комунікабельність, цілеспрямованість у середовищі перебування, що сприяє розв'язанню поставлених задач.

Аналізуючи штучні інтелектуальні агенти для систем електронного навчання, стає очевидним, що використання цих агентів, може істотно підвищити якість і

ефективність навчальних процесів. Агентні технології дають змогу створюють адаптивні, інтерактивні та персоналізовані середовища навчання, що сприяє кращому засвоєнню знань студентами.

Застосування мультиагентних пошукових систем є ефективним у процесі створення, пошуку та видобування освітнього контенту з мережі інтернет. Подібні системи дають змогу значно полегшити доступ до навчальних матеріалів, забезпечуючи швидкість, точність і релевантність пошуку. Вони здатні агрегувати інформацію з різних джерел, фільтрувати та класифікувати вміст, надавати персоналізовані рекомендації і відслідковувати зміни в освітньому наповненні.

### **1.5. Модель рекомендаційної системи для вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту**

Процедури відбору та оцінювання навчального вмісту та електронних ресурсів є складними процесами, що передбачають аналіз обширного спектру критеріїв. Актуальним є розроблення інформаційного-технологічного інструментарію, що сприяє ефективному оцінюванню таких ресурсів. Таким інструментарієм є рекомендаційна система.

Найбільш важливими дослідженнями у сфері розроблення та удосконалення рекомендаційних систем є наукові внески як вітчизняних, так і закордонних дослідників: у роботі [96] досліджують ефективність гібридної багатокритеріальної рекомендаційної системи, що рекомендує студентам курси за вибором; у роботі [97] досліджують рекомендаційні системи для неформальної освіти на основі семантичного підходу; ряд дослідників [98] здійснили загальний огляд рекомендаційних систем, де описали рекомендаційні моделі, методи та сфери застосування; у роботі [99] досліджують рекомендаційні системи на основі нечіткої логіки; у роботі [100] досліджуються рекомендаційні системи електронного туризму. У галузі освітніх послуг здійснюється підбір навчальних ресурсів з використанням рекомендаційних систем, з урахуванням стилю навчання та рівня знань студентів [101]. Забезпечується для учасників освітнього процесу індивідуалізований навчальний вміст [102]. Дослідження [103] продемонстрували

застосування рекомендаційної системи, яка аналізує текстові дані навчального ресурсу з використанням нейронних мереж та пропонує навчальний контент на відповідному рівні, інтегруючи цей зміст з індивідуальними вподобаннями учасників освітнього процесу.

У роботі [104] пропонується персоналізований рекомендаційний алгоритм для освітніх онлайн ресурсів на основі асоціації знань. У дослідженні [105] пропонується рекомендаційна система на основі байсівських мереж, яка подає цифрові навчальні ресурси. Дослідники описують рекомендаційний вебсервіс для вибору індивідуальної траєкторії навчання в галузі програмування транспортних систем. У роботі [106] досліджено рекомендаційну систему з графоорієнтованими базами даних для репозиторію відкритих навчальних ресурсів.

У дослідженні [107] сформовано групу учасників навчального процесу з використанням рекомендаційної системи, відтворюючи їхні індивідуальні вподобання та забезпечуючи найбільш адаптований навчальний контент відповідно до їхнього рівня знань та стилю навчання. У науковому дослідженні [108] висунуто пропозицію щодо рекомендаційної системи для відбору ресурсів для онлайн-навчання, яка ґрунтується на моделі спільної фільтрації на основі знань. Основною метою рекомендаційних систем є забезпечення користувачеві доступу до найбільш релевантної для нього інформації. Ця інформація може охоплювати різноманітні продукти, починаючи від фільмів та книг, і закінчуючи будинками або фінансовими послугами.

Згідно з дослідженням [109] рекомендаційні системи – це програмні засоби, які функціонують на основі відомостей про користувача, надаючи їм різноманітні пропозиції та дані з метою спрощення процесів ухвалення рішень. Такі рекомендації призначені для підтримки користувачів у різних аспектах процесів ухвалення рішень, таких як пошук музичних композицій з урахуванням особистих вподобань чи надання рекомендацій щодо покупок товарів на основі попередніх покупок користувача та інших факторів. Рекомендаційна система має визначати корисність предмета, використовуючи порівняння характеристик товарів, щоб вибрати, який з них рекомендувати конкретному користувачеві. Виокремлюють чотири традиційних

типи рекомендаційних систем: на основі колаборативної фільтрації, на основі змісту, на основі знань та гібридні [104], [110], [111].

Дослідники [112] визначають рекомендаційні системи як програмне забезпечення, яке призначене для прогнозування інтересів користувача з урахуванням зібраної про нього інформації. У рамках Інтернет-середовища дані дослідники розглядають три ключові категорії рекомендаційних систем: що використовують контентну фільтрацію (contentbased filtering); системи, що базуються на колаборативній фільтрації (collaborative filtering) та гібридні методи.

Інформаційна система рекомендаційного типу – це спеціалізована інформаційна система, яка забезпечує реалізацію базових інформаційних процесів з метою надання персоналізованих рекомендацій користувачам.

Структура рекомендаційної системи подана рисунку 1.16, яка пропонуватиме рекомендовані альтернативи ЕНР та освітнього контенту в такій послідовності, що відповідають заданим критеріям. Основною метою рекомендаційної системи є забезпечення користувача персоналізованими рекомендаціями, які враховують його особисті уподобання під час вибору навчальних ресурсів та освітнього змісту.

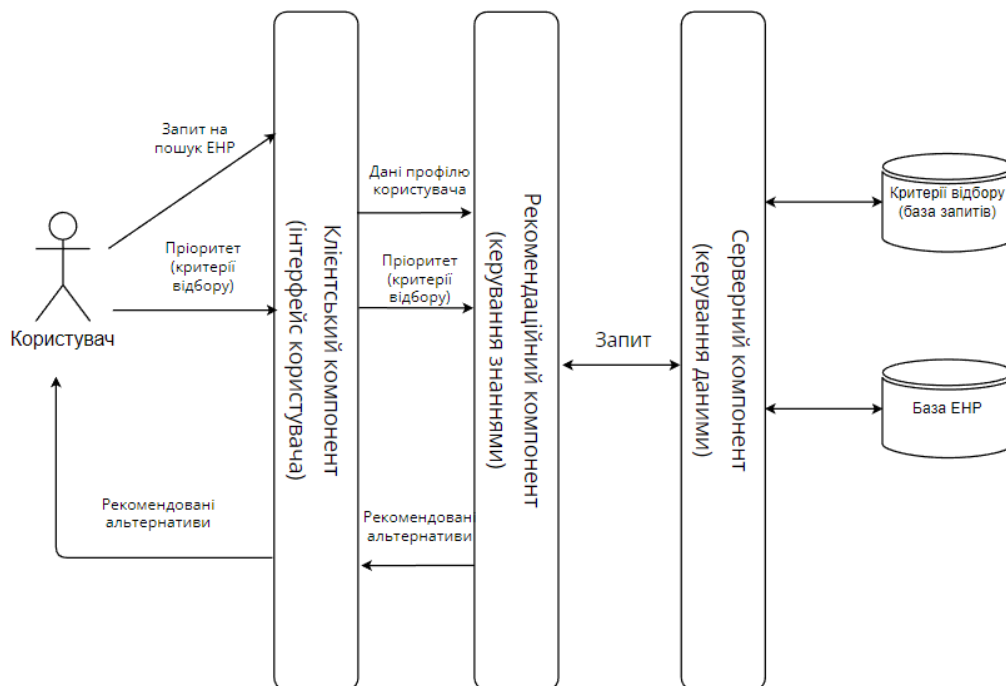


Рис. 1.16. Загальна структура рекомендаційної системи вибору ЕНР та освітнього контенту для систем електронного навчання

Розробка концептуальної моделі рекомендаційної системи дозволяє систематизувати різноманітні її компоненти та визначити можливі шляхи їх взаємодії [114]. Створення концептуальної моделі рекомендаційної системи сприяє ідентифікації різних сутностей системи та їх потенційної взаємодії. Виявлення цих вимог на етапі концептуалізації дозволяє раціонально використовувати ресурси на подальших етапах життєвого циклу розробки, коли впровадження нових компонентів рекомендаційної системи вимагає більше зусиль та ресурсів [105].

Отже, в процесі дослідження були проаналізовані підходи до створення рекомендаційних систем, зокрема ті, що базуються на колаборативному та контентному підходах, а також гібридні комбінації цих методів. Розвиток та використання таких систем має великий потенціал для покращення навчального процесу та забезпечення користувачів якісним та індивідуалізованим доступом до необхідних знань і ресурсів.

## **1.6. Функціональні можливості систем комп'ютерної математики**

Системи комп'ютерної математики (СКМ) є одним з яскравих класів різновидностей електронних навчальних ресурсів. Вибір конкретної системи комп'ютерної математики обумовлений остаточною метою використання ресурсу, специфікою задач та їхнім призначенням. СКМ стали ефективними інструментами діяльності як для професійних математиків, так і для тих, хто використовує математику у процесі розробки та аналізу математичних моделей у різних сферах. Їхнє застосування поширене у вирішенні завдань наукового, інженерного та освітнього характеру, а також для візуалізації даних та результатів обчислень.

Спеціалізовані програмні засоби, спрямовані на виконання чисельних та аналітичних обчислень різного рівня складності та призначені для вирішення математичних задач, називають системами комп'ютерної математики. Використання таких систем істотно спрощує вирішення стандартних математичних завдань.

Застосування систем комп'ютерної математики сприяє активізації інтересу до математики, інформаційних та комунікаційних технологій, а також до

програмування, оскільки існують системи з відкритим вихідним кодом, де користувач може створити необхідну функцію особисто.

СКМ класифікують за такими категоріями [8]:

- системи, спрямовані на виконання чисельних розрахунків;
- системи для статистичних обчислень;
- табличні процесори;
- системи, спрямовані на виконання спеціальних розрахунків;
- матричні системи;
- системи, призначені для аналітичних обчислень (комп'ютерної алгебри);
- універсальні системи.

Кожна система комп'ютерної математики має свою архітектуру, однак структура у всіх однакова (рис. 1.17) [10].

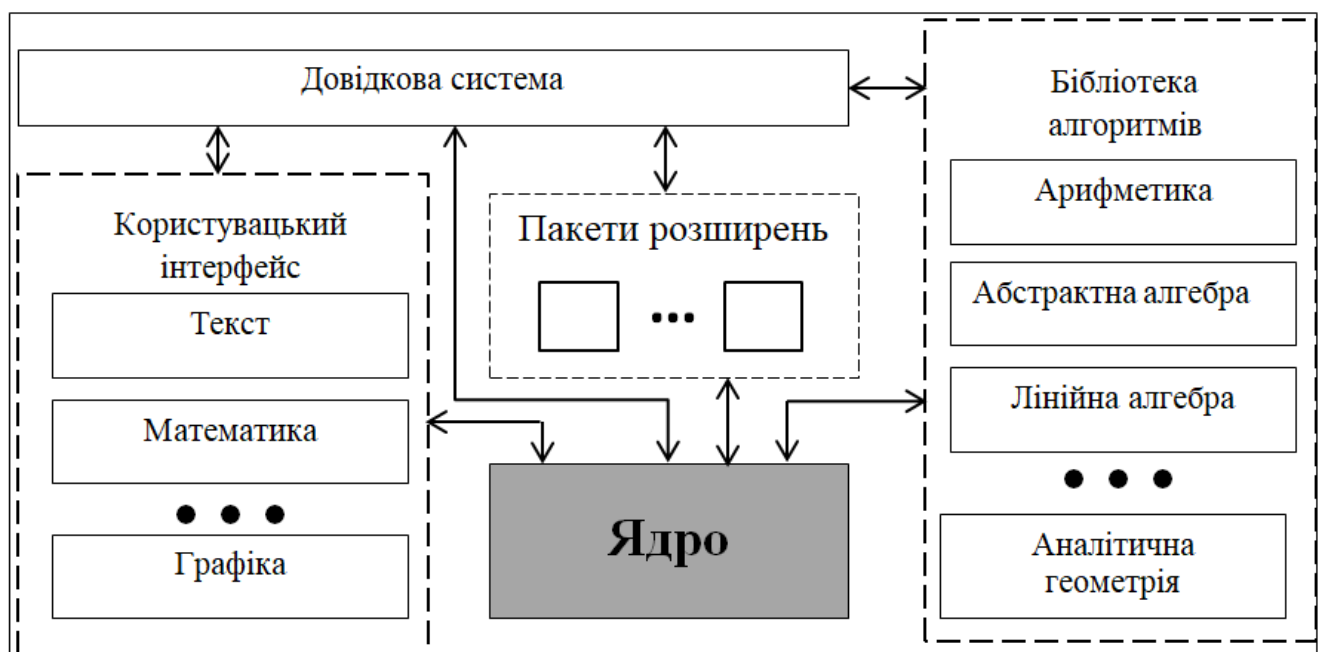


Рис. 1.17. Архітектура СКМ

Ядро даної системи включає в себе машинні коди для реалізації операторів і вбудованих функцій СКМ, що забезпечує виконання аналітичних перетворень математичних виразів на основі системи правил. Бібліотеки алгоритмів включають класифіковані алгоритми розв'язування стандартних математичних задач, поділяючи їх за типами опрацювання абстрактних об'єктів (таких як числа і

функції) та методами обчислення (аналітичні, чисельні, змішані). Вони функціонально розширюють базовий функціонал ядра СКМ. Різноманітні пакети розширень надають можливості адаптації СКМ до різних класів математичних задач, зовнішнього програмного забезпечення (таких як операційні системи і графічні пакети) та вимог користувачів. Користувацькі інтерфейси розроблені для зручного доступу до всіх функцій. Довідкова система містить опис функціональних можливостей та прикладів використання СКМ.

Порівняльний аналіз систем комп'ютерної математики може включати в себе різноманітні аспекти, такі як функціональність, продуктивність, зручність використання, підтримка мов програмування, наявність додаткових бібліотек та інструментів, а також вартість та ліцензійна політика. Нижче наведено порівняльний аналіз СКМ (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

## Порівняльний аналіз систем комп'ютерної математики

Системи	Розробник	Написана на мові	Операційна система	Вперше з'явилась	Остання версія	Ліцензія
Maple	Symbolic Computation Group, University of Waterloo	C, Maple	Windows, macOS, Linux	1982	2019.1 (2019)	Proprietary
Mathematica	Wolfram Research	C, C++, Java, Wolfram Language	Windows, Linux, MacOS	1988	12.0.0 (2019)	Proprietary
MathCAD	Mathsoft, PTC	C	Windows	1986	Prime 9.0 (2023)	Proprietary
Maxima	MIT Project MAC and Bill Schelter et al.	Common Lisp	Linux, Microsoft Windows, FreeBSD, Android	1982	5.40.0 (2017)	GNU GPL
MatLAB	MathWork	C, C++, Java	Windows, macOS, Linux	1983	6.1.0 (2023)	Proprietary
SMath Studio	Andrey Ivashov	C#	Windows, Android, iOS, SaaS	2006	1.0.8348 (2022)	Proprietary
SageMath	William A. Stein	Python, C	Windows, macOS, Linux, Solaris, iOS, SaaS	2005	8.9 (2019)	GNU GPL
GeoGebra	Markus Hohenwarter	Java	Windows, Linux, MacOS, Android	2002	6.0.783.0 (2023)	GNU GPL

Однак, комерційні системи суттєво відрізняються від вільно поширюваних своєю функціональністю (універсальні системи та системи вузької спеціалізації). Наведено основні функції найпоширеніших СКМ (табл. 1.9).

Таблиця 1.9

## Функції систем комп'ютерної математики

Системи	Редактор формул	Обчислення		Розв'язування					Теорія графів	Теорія чисел	Булева алгебра	Теорія ймовірності	Теорія управління	Графіки на площині	3-D графіка	
		Інтегрування	Інтегральні перетворення	Рівняння	Нерівності	Поліноміальні	Диференціальні	Багатовимірні масиви								
<b>Maple</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Mathematica</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>MathCAD</b>	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<b>Maxima</b>	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>MatLAB</b>	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>SMath Studio</b>	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<b>SageMath</b>	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-
<b>GeoGebra</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Системи комп'ютерної математики мають різні функціональні можливості, але загалом вони спрямовані на розв'язання математичних задач та виконання наукових обчислень, забезпечують інструменти для створення графіків, діаграм, графічного відображення результатів обчислень. Деякі системи надають інструменти для оптимізації функцій та розв'язання задач оптимізації. Забезпечують можливості опрацювання та аналізу великих обсягів даних. Кожна система має свої унікальні особливості та інструменти для вирішення певних видів задач. Вибір конкретної системи залежить від типу завдань, потреб та вимог користувача.

## Висновки до розділу 1

У першому розділі виконане завдання дисертаційного дослідження, а саме проведено аналіз особливостей, переваг та недоліків наявних систем оцінювання електронних навчальних ресурсів; мультиагентних систем та інформаційних



технологій, базованих на основі методів штучного інтелекту, для формування освітнього контенту.

Розглянуто широкий спектр літературних вітчизняних та закордонних джерел, що висвітлюють дослідження, пов'язані з оцінюванням електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту. Проведено аналіз концепту «електронний навчальний ресурс» та інших базових понять сфери дисертаційного дослідження. Сформовано ключові переваги застосування інформаційних технологій в процесах розроблення та використання електронних навчальних ресурсів. Запропоновано онтологічне подання основних термінів та понять сфери дисертаційного дослідження, де структуровано подання базових термінів та зафіксовано зв'язки між ними.

Проаналізовано ряд інформаційних технологій, які є корисними під час формування освітнього вмісту в системах електронного навчання, виокремлено етапи його формування.

Розглянуто актуальні інформаційні технології сформовані на основі алгоритмів штучного інтелекту, проведено оцінювання їх потенціалу в процесах формування освітнього наповнення для систем електронного навчання. Виокремлено моделі штучного інтелекту в галузях опрацювання природної мови, написання коду та для пошуку інформації. Розглянуто популярні нейромережеві інструменти, які активно використовуються.

Наведено загальну класифікацію агентів. Виокремлено базові властивості інтелектуальних агентів. Проаналізовано роль мультиагентних систем в процесі пошуку та видобування освітнього вмісту для систем електронного навчання.

Досліджено поняття рекомендаційних систем, проведено огляд літературних джерел. Сформовано структуру рекомендаційної системи вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для систем електронного навчання.

Проаналізовано функціональні можливості СКМ. Наведено архітектуру типової СКМ. Проведено порівняльний аналіз СКМ та показано їх функціональні можливості.

Проведені в першому розділі дослідження дали підстави стверджувати, що сформовані навчальні матеріали з використанням інформаційних технологій,

базованих на методах штучного інтелекту потрібно експертно оцінювати, видобутий мультиагентними системами навчальний зміст також потрібно експертно оцінювати водночас наявні системи, типу СКМ також потрібно експертно оцінювати, для вибору найефективнішої.

## **РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ ПІДГОТОВКИ ІТ-ФАХІВЦІВ В ПРОЦЕСАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ**

У другому розділі проаналізовано підходи та засоби когнітивного моделювання для опису навчального процесу. Досліджено методи та засоби подання даних та знань у гіпотетичній навчальній системі, яка може використовуватися при підготовці фахівців. Сформовано модель подання даних та знань для математичної підготовки ІТ-фахівців. Розглянуто процес поширення знаннєвого потенціалу в системах електронного навчання з використанням комп'ютерних засобів. Визначено фактори, що впливають на рівень знаннєвого потенціалу. Зафіксовано фактори впливу на вибір тих чи інших електронних навчальних ресурсів. Показано поширення знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання та процес зростання рівня знаннєвого потенціалу, використовуючи нові навчальні ресурси.

### **2.1. Моделювання навчального процесу підготовки ІТ-фахівців**

Процедури вибору електронних навчальних ресурсів та формування освітнього вмісту суттєво залежать від галузі підготовки фахівців, в якій вони використовуються. В подальшому дослідження сфокусоване на процесах підготовки ІТ-фахівців. В якості базової дослідницької платформи було обрано підготовку ІТ-фахівців на факультеті інформаційних технологій і математики у Волинському національному університеті імені Лесі Українки. Такий вибір був обумовлений зокрема тим, що я впродовж десяти років працюю на цьому факультеті. В подальшому було детально розглянуто ОПП «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» бакалаврського освітнього ступеня.

Специфіка освітнього контенту для підготовки ІТ-фахівців включає в себе декілька важливих особливостей, таких як: висока активність навчального контенту, різнотиповість, швидке старіння, гнучкість, взаємодія з ринком праці. Детальніше ми зосереджувалися на математичній підготовці, оскільки вона є фундаментальною основою підготовки майбутніх ІТ-спеціалістів.

Підготовка ІТ-фахівців проходить у закладах вищої освіти, які відповідають вимогам ІТ-індустрії щодо кількості та якості соціальних, особистісних та

професійних компетентностей.

Професійна підготовка ІТ-фахівців загалом, може розглядатися як складна система, елементами якої є цикл загальної підготовки (базові загальнонаукові поняття), цикл професійної підготовки (грунтовні математичні закони і поняття та освітні компоненти професійного спрямування).

Цикл професійної підготовки комп'ютерних освітніх компонент, відповідно, складається із фундаментальних, базових та спеціалізованих понять інформаційних технологій. Розташувавши цикли загальної та професійної підготовки в часі, отримано послідовність реалізації змісту професійної підготовки майбутніх ІТ-фахівців (рис. 2.1) [151].

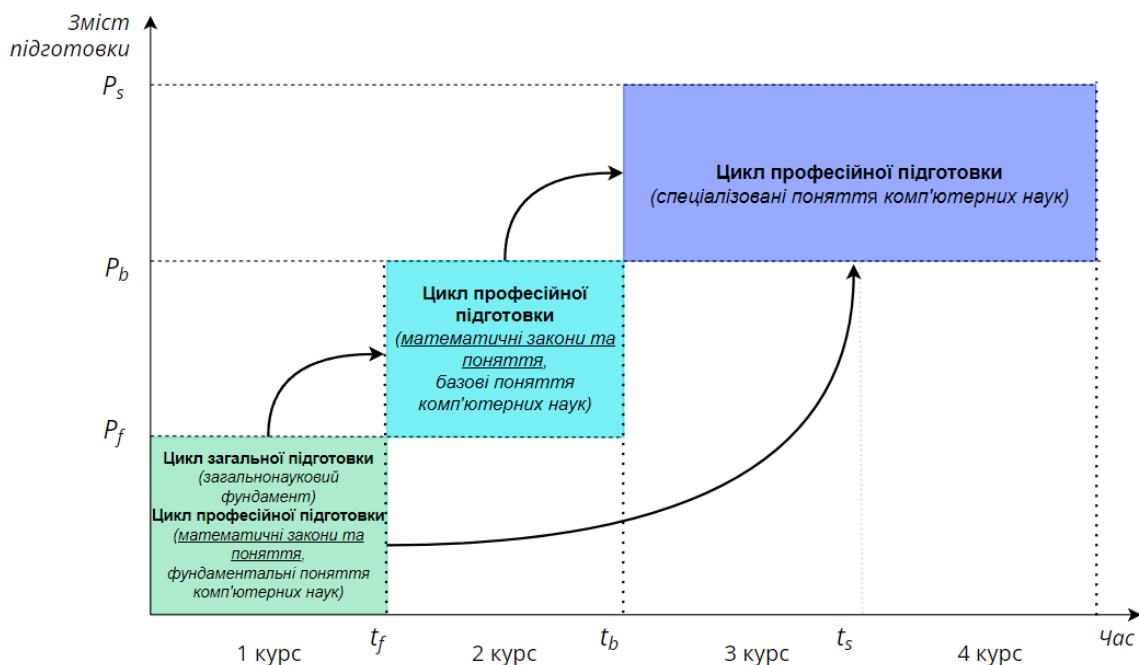


Рис. 2.1. Зміст професійної підготовки ІТ-фахівців

Нехай  $P_f$  – цикл фундаментальної підготовки, що включає освітні компоненти загальної підготовки; освітні компоненти математичного спрямування та освітні компоненти, що вивчають фундаментальні поняття інформаційних технологій,  $P_b$  – цикл базової підготовки, що включає освітні компоненти математичного спрямування та освітні компоненти, що вивчають фундаментальні поняття інформаційних технологій,  $P_s$  – цикл спеціалізованої підготовки, протяжністю в два курси, де вивчаються освітні компоненти професійної підготовки, тоді

$$P_f = \{N_j, M_j, S_j\}, P_b = \{M_j, S_j\}, P_s = \{S_j\},$$

де  $N_j$  – множина освітніх компонент із циклу загальної підготовки,  $M_j$  – множина освітніх компонент математичної підготовки,  $S_j$  – множина освітніх компонент циклу професійної підготовки.

Аналіз особливостей навчального процесу підготовки ІТ-фахівця, вказує на те, що процес математичної підготовки є базовою складовою і відіграє важливу роль у розвитку аналітичних здібностей. Оскільки професійна діяльність ІТ-фахівця пов'язана з алгоритмізацією та програмуванням, що базується на математичних конструктах, то математична підготовка є фундаментальною основою підготовки майбутніх ІТ-спеціалістів.

Метод когнітивного моделювання підготовки ІТ-фахівців є комплексним підходом до аналізу та оптимізації процесу навчання та освоєння інформаційних технологій. Цей підхід базується на використанні понять та принципів когнітивної психології, що дозволяє розглядати навчання як процес формування знань, розвитку мислення та вмінь через активну взаємодію студента з інформаційними технологіями та освітнім вмістом.

Когнітивне моделювання – це галузь когнітивної науки, яка націлена на моделювання ментальних процесів, а також вирішення практичних завдань за допомогою запропонованих моделей, які інтегруються в комп'ютерні системи.

Метод когнітивного моделювання є досить ефективним інструментом для аналізу слабо структурованих систем. До вказаного класу систем відносяться системи освітньої підготовки фахівців [115].

Таким чином, когнітивні карти використовуються для формального подання та аналізу процесу підготовки ІТ-фахівців. Вони є способом відображення причинно-наслідкових зв'язків, які зазвичай подаються у вигляді орієнтованого графа [116]:

$$G = \{F, W\},$$

де  $F$  – множина факторів (концептів),  $W$  – множина зв'язків між факторами.

З позиції когнітивного підходу процес моделювання подано у вигляді базових етапів [117]:

1. Виокремлення факторів, які характеризують події, величини та цілі;
2. Виокремлення ступеня взаємовпливу між парами факторів (створення матриці взаємодії);
3. Створення когнітивної карти, що візуалізує зв'язки між факторами;
4. Проведення аналізу та інтерпретація отриманих результатів.

У процесі побудови когнітивної моделі виникають дві ключові проблеми [118]:

1. Визначення факторів (елементів системи) і ранжування факторів (виокремлення базових та допоміжних факторів), яке відбувається на етапі побудови орієнтованого графа.

2. Визначення ступеня взаємовпливу між факторами (встановлення ваги ребер графа), яке відбувається на етапі побудови функціонального графа.

У даному контексті відсутній конкретний механізм опису взаємодії факторів, він описується нечітко, без використання числових одиниць вимірювання. Зазвичай експерти виражають взаємодію факторів словесно, наприклад: «Зі значним зростанням фактора А фактор Б демонструє незначне зменшення». Оскільки одиниці вимірювання відсутні, то виводиться наступний закон: «Якщо значення фактора  $k$  зростає на  $X_k$  відсотків, то значення фактора  $m$  зменшується на  $X_m$  відсотків», що виражається формулою:

$$X_m(t + 1) = W_{m,k} \cdot X_k(t), \quad (2.1)$$

де  $X_m(t + 1)$  – значення фактора у наступний момент часу;

$W_{m,k}$  – коефіцієнт змінювання фактора;

$X_k(t)$  – зростання фактора.

Спектр взаємодій факторів моделі визначається матрицею суміжності (матрицею впливів) вершин орієнтованого графа  $W = (W_{mk})$ . Якщо на когнітивній карті відсутнє з'єднання (ребро) між вершиною  $k$  і вершиною  $m$ , то  $W_{mk} = 0$ . Для кожного ребра графа приписується його вага в межах  $-1 \leq W_{mk} \leq 1$ . Це відображає характер системи, де зміна одного фактора мало впливає на зміну інших факторів, тобто систему можна розглядати як інерційну.

Наступним етапом доцільно розглянути модель колективного впливу декількох зв'язків на один фактор. Тобто, якщо до однієї вершини входять декілька стрілок, то варто з'ясувати як впливають зміни щодо кожної стрілки. Взаємодія між змінами факторів у момент часу  $t + 1$  визначається матрицею суміжності  $W$  орієнтованого графа та вектором змін факторів в момент часу  $t$ :

$$X(t + 1) = F(X(t), W) \quad (2.2)$$

де  $X(t + 1)$  – значення фактора у наступний момент часу;

$F(X(t), W)$  – функція впливу матриці суміжності.

Часто розглядається простіша інтерпретація (2.2) – операції суми [119]:

$$X(t + 1) = W \cdot X(t), \quad (2.3)$$

де  $X(t + 1)$  – значення фактора у наступний момент часу;

$W$  – матриця суміжності;

$X(t)$  – значення фактора у момент часу  $t$ .

Через операцію суми (2.2) має вигляд:

$$X_m(t + 1) = \sum_k W_{m,k} \cdot X_k(t), \quad (2.4)$$

де  $X_m(t + 1)$  – значення фактора у наступний момент часу;

$W_{m,k}$  – коефіцієнт зміни фактора;

$X_k(t)$  – зростання значення фактора.

Розглянемо когнітивні карти процесу навчання ІТ-фахівців. У цих картах наводиться список чинників освітнього процесу і розглядається їх взаємодія, відзначається вплив один на одного, в тому числі і на рівень фахових компетентностей та результатів навчання.

Когнітивні моделі процесу навчання ІТ-фахівців включають перелік факторів навчального процесу та множину зв'язків, що впливають на рівень фахових компетентностей та результати навчання.

Серед базових факторів, що впливають на формування ІТ-фахівців виокремлюють наступні:

1. Рівень професійної підготовки викладачів;
2. Якість навчально-методичного забезпечення;

3. Матеріально-технічне забезпечення навчального процесу;
4. Рівень попередньої шкільної підготовки студентів;
5. Навички роботи у команді;
6. Мотивація до активної навчальної діяльності;
7. Володіння іноземною мовою;
8. Умови проживання та навчання студентів;
9. Матеріальне благополуччя студентів;
10. Гарантія подальшого працевлаштування;
11. Рівень самоосвіти та самостійної роботи студентів.

Подібні чинники суттєво впливають на процес формування компетентних фахівців у галузі інформаційних технологій.

У когнітивному моделюванні загальноприйнято привести всі параметри вершин когнітивної карти, які відображають фактори різного характеру, до єдиної шкали. В процесі побудови зваженого орієнтованого графа, експерти можуть коректно виставити ваги зв'язків між вершинами. Тому пропонується використовувати десятибальну шкалу для вимірювання всіх вершин когнітивної карти, де 0 балів відображає відсутність певного фактора, а 10 балів вказує на максимальний рівень пропонованого фактора. При встановленні значень факторів на цій шкалі може виникати певний суб'єктивізм, однак це не заважає моделювати та керувати поведінкою системи в цілому, оскільки метою когнітивного моделювання є не досягнення точних числових значень, а виявлення загальних тенденцій.

На рисунку 2.2. по центру розміщено ІТ-спеціаліста ( $F$ ) і проаналізовано фактори впливу [7].





V <sub>3</sub>	7	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
V <sub>4</sub>	5	0	0	0	7	6	7	4	0	0	0	0
V <sub>5</sub>	6	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
V <sub>6</sub>	8	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	6
V <sub>7</sub>	9	0	0	0	0	0	0	7	0	0	6	0
V <sub>8</sub>	5	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	7
V <sub>9</sub>	5	0	0	0	0	0	0	0	10	5	0	0
V <sub>10</sub>	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
V <sub>11</sub>	9	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	8

В другому графі запропоновану 10 базових якостей ІТ-спеціаліста, які позначено прямокутниками. Серед базових факторів, якими має володіти ІТ-фахівець виокремлюють наступні:

1. Знання англійської мови;
2. Прагнення до навчання;
3. Математичні компетентності;
4. Логічне та аналітичне мислення;
5. Здатність вирішувати нестандартні завдання;
6. Навички проєктної роботи;
7. Уважність до деталей;
8. Комунікативні навички та здатність до колективної роботи;
9. Досягнення поставлених цілей;
10. Висока працездатність.

Разом з тим, створено двошаровий граф (рис. 2.3), додавши до нього компоненти з першого графа, з метою дослідження їх впливу на досягнення поставленої цілі. На другий шар були додані ключові та найвпливовіші компоненти з першого графа:

2. Якість навчально-методичного забезпечення;
3. Матеріально-технічне забезпечення навчального процесу;
4. Рівень попередньої шкільної підготовки студентів;
6. Мотивація до активної навчальної діяльності;
8. Умови проживання та навчання студентів;
9. Матеріальне благополуччя студентів;
10. Гарантія подальшого працевлаштування.

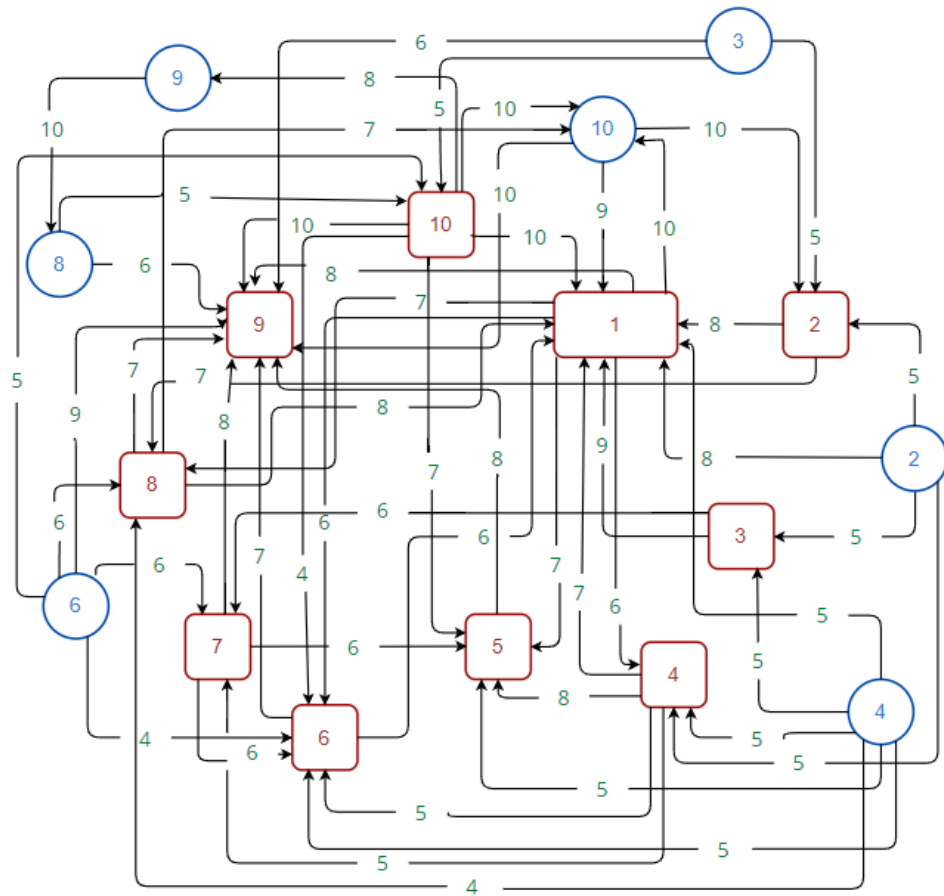


Рис. 2.3. Відображення впливу елементів першого графа на базові фактори, якими має володіти ІТ-фахівець

Елементи другого графа з новими 10 характеристиками позначено колами.

Проаналізувавши другий граф, вибір став ще складнішим. Дві базові якості виокремлюються в даному контексті, це рівень знань англійської мови – 9 впливів та досягнення поставлених цілей – 9 впливів. В другому графі є компоненти, які впливають на найсуттєвіші елементи опосередковано. Наприклад комунікативні навички та здатність до колективної роботи для майбутнього фахівця, впливає на досягнення поставлених цілей, що своєю чергою сприяє набуттю потрібних знань з англійської мови.

В таблицях 2.3 та 2.4 позначено базові фактори, якими має володіти ІТ-фахівець (Р) та зовнішні впливи з першого графа (К).



Перевагою когнітивного моделювання, зокрема у контексті аналізу та оцінювання навчального процесу, є можливість використання цього підходу для проведення сценарних досліджень, що дозволяє прогнозувати та вибирати альтернативні стратегії розвитку та формування фахівців у сфері інформаційних технологій. Когнітивне моделювання навчального процесу підготовки ІТ-фахівців сприяє досягненню позитивних результатів, оскільки дозволяє перейти від звичайного фіксування явищ та процесів до опрацювання взаємозв'язків та аналізу закономірностей. З урахуванням 11 елементів у першому та 17 впливових компонентів у другому графі, існує значна кількість шляхів впливу на формування особистості ІТ-фахівця. Когнітивне моделювання сприяє дослідженню проблем, що виникають в слабоструктурованих об'єктах, системах, середовищах, які складно піддаються вивченню за допомогою математичного моделювання.

## **2.2. Моделі подання даних та знань в навчальній системі підготовки ІТ-фахівців**

Вивчення математичних курсів є базовою складовою професійної підготовки сучасного фахівця у галузі комп'ютерних наук та інформаційних технологій, який має володіти методами прогнозування, оптимізації та математичного моделювання [120].

Суб'єкти навчального процесу піддаються впливу різноманітних факторів через взаємодію з системою електронного навчання, яка функціонує та розвивається у реальному часі та визначеному віртуальному просторі. Система електронного навчання охоплює структуру, яка включає множину суб'єктів навчального процесу, визначені відношення та сукупність джерел знань. В ході електронного навчання відбувається ряд освітніх процесів, які можна відобразити послідовністю концептів «ІНФОРМАЦІЯ – ДАНІ – ЗНАННЯ». Поняття «знання» характеризують певним рівнем або сукупністю знань індивіда, що було накопичено протягом відповідного періоду життя [127].

Знання – це форма відображення результатів пізнавальної діяльності, призначене для розв'язування конкретних завдань. Це осмислена і набута

інформація, сформована внаслідок розумової діяльності. Її можна подати наступним виразом:  $f_k: I \rightarrow C$ , де  $I$  – інформація,  $C$  – формальне поняття,  $K$  – знання. Формулюючи узагальнене уявлення про концепти «дані», «інформація», «знання» можна розглядати їх так: «дані» – це матеріалізована інформація, що міститься на певному носіїві; «знання» – це суб'єктивізована інформація, що формується у суб'єкта внаслідок пізнання ним зовнішнього світу (рис. 2.4).

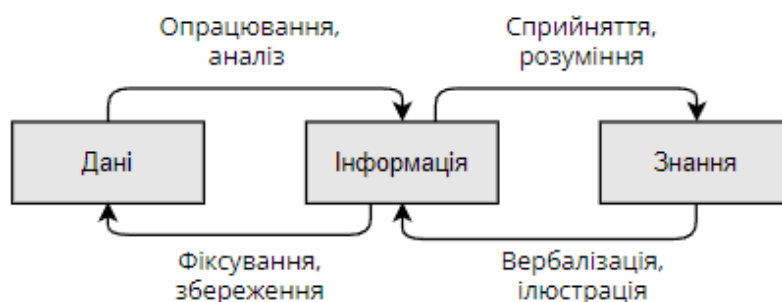


Рис. 2.4. Співвідношення концептів «інформація», «дані» та «знання»

Дані можна розглядати, як результати експериментальних або статистичних досліджень тощо. Інформація подається у формі наукових статей, матеріалів доповідей, методичних матеріалів, навчальних посібників та підручників. Знання формується учасниками освітнього процесу через внутрішні особистісні відображення об'єктивної дійсності. Кожен ЕНР містить інформацію у формі даних. Однак, якщо до електронних навчальних ресурсів додати елементи суб'єктивізму, таких як особи, що навчаються, елементи штучного інтелекту та машинного навчання, то розглядається поняття знань.

Знання викладача щодо структури та складу освітнього вмісту трактуються як предметні знання. Освітній вміст розглядається як система знань, що включає поняття та взаємозв'язки між ними, які відображають інформацію про склад і структурні властивості навчального матеріалу.

Систему подання даних та знань математичної підготовки ІТ-фахівців показано на рисунку 2.5 [15].

Структура баз даних, де зберігаються всі дані системи формується, враховуючи такі принципи [122]:

- а) на рівні логічної або концептуальної моделі адекватність об'єкта;

б) на рівні фізичної моделі надійність у використанні для ведення, обліку та аналізу даних [123].

Система електронного навчання математичної підготовки ІТ-фахівців складається з набору навчальних матеріалів, що включає базу даних навчальних матеріалів, зокрема: набір конспектів лекцій, набір практичних завдань, ряд відео інструкцій до розв'язування конкретних завдань, набір аплетів – побудов різних типів математичних завдань в навчальному середовищі та набір правил-орієнтирів для побудов математичних моделей. Такий набір слугує сукупністю джерел знань в системі електронного навчання.

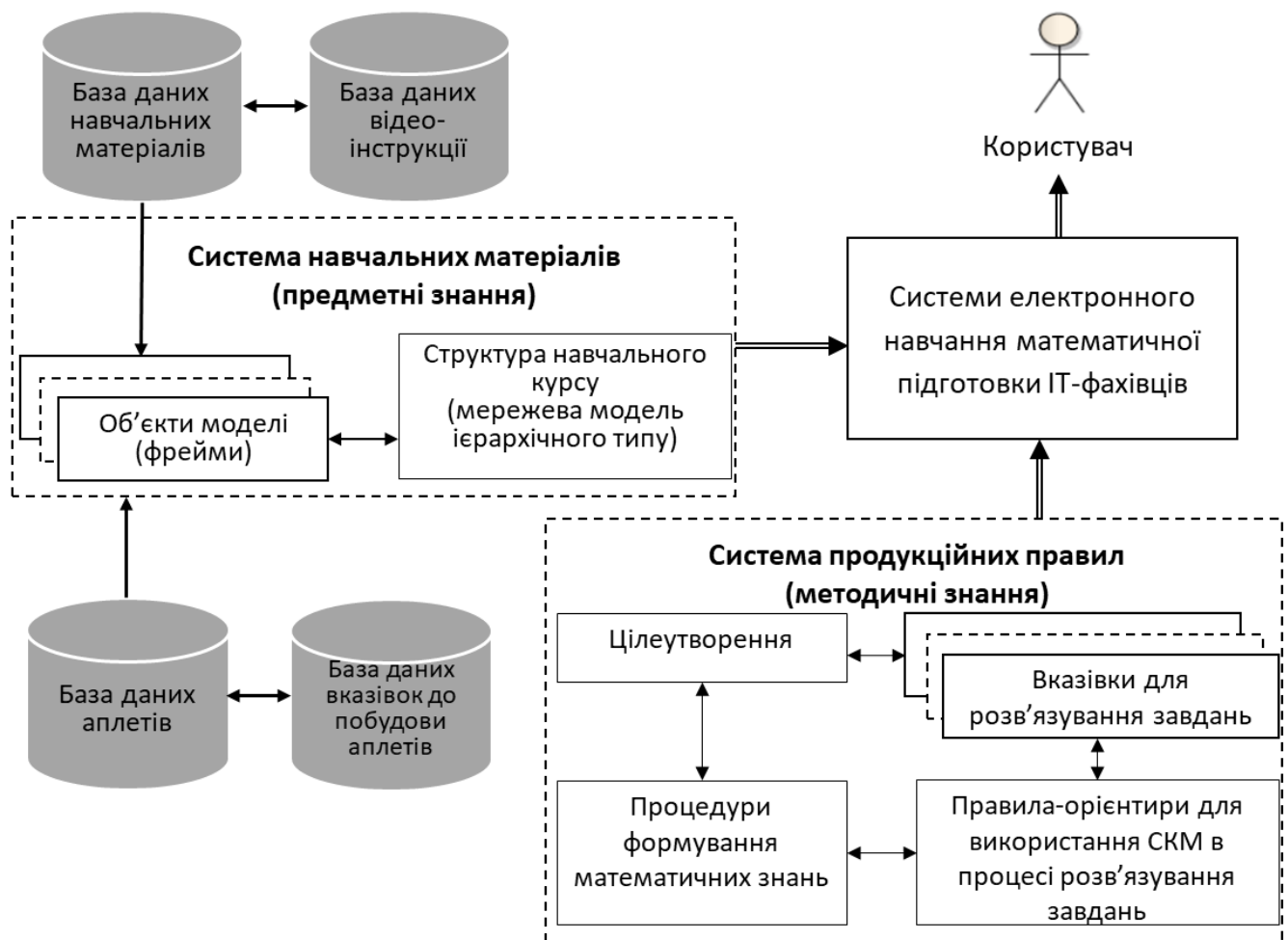


Рис. 2.5. Система подання даних та знань математичної підготовки ІТ-фахівців

Формально модель предметних знань в навчальній системі подано у вигляді орієнтованого графа  $G = (E, S)$ , зображеного на рисунку 2.6.

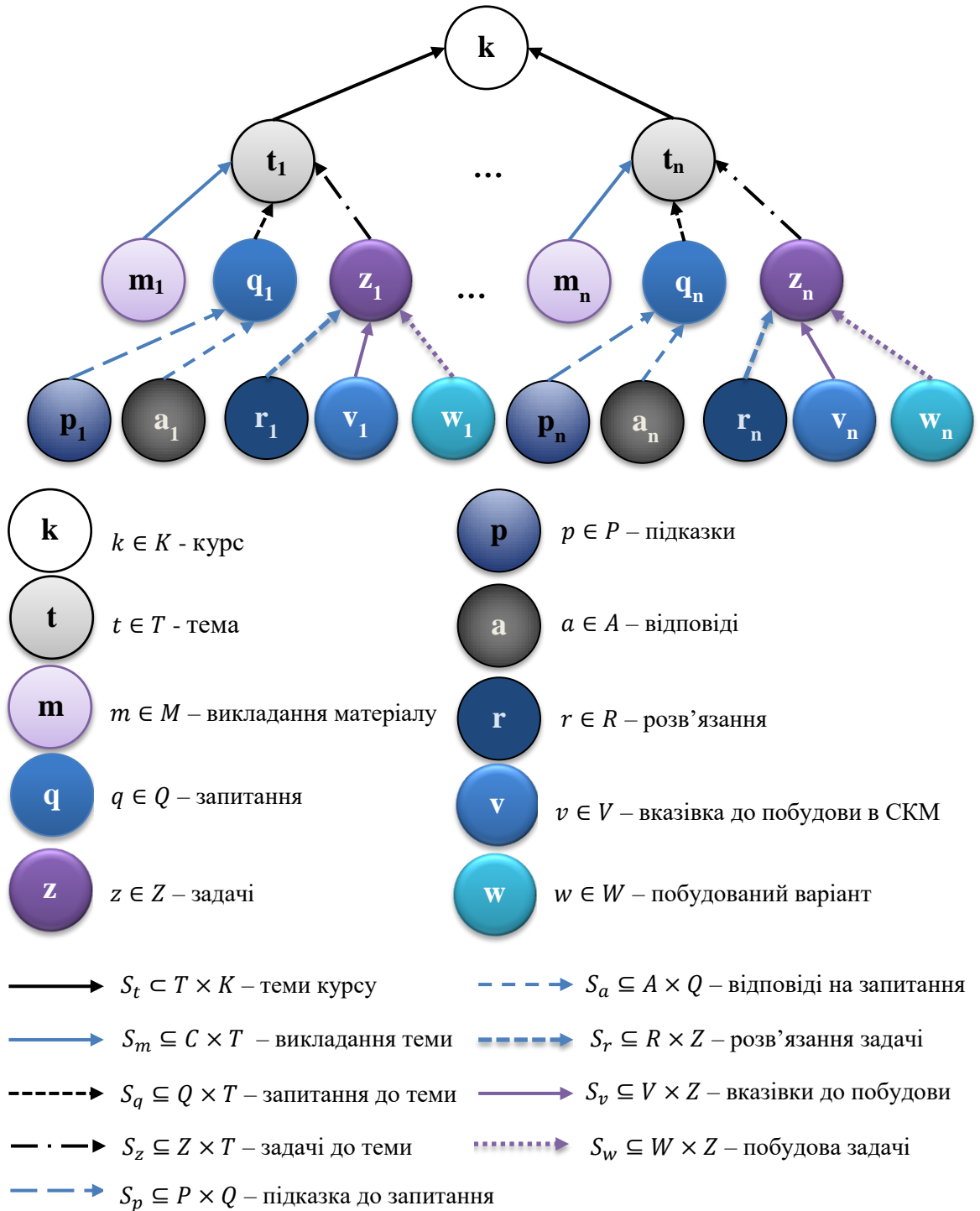


Рис. 2.6. Формальна модель предметних знань

Вершини графа відтворюють склад предметних знань, що подані множиною  $E$  предметних елементів. Дуги графа відображають відношення  $S \subseteq E \times E$ , що визначає структуру предметних знань. Вершини і дуги якісно відображають знання викладача про навчальний предмет. Множина  $E = \{T, M, Q, Z, A, P, R, V, W\}$  містить



структурні елементи навчальної дисципліни, зокрема теми для вивчення, задачі, запитання, підказки, розв'язання, набір аплетів, правила-орієнтири для побудови аплетів. Множина зв'язків графа  $S = \{S_t, S_m, S_q, S_z, S_a, S_p, S_r, S_v, S_w\}$  містить смислові зв'язки між структурними елементами.

Система електронного навчання математичної підготовки ІТ-фахівців складається з набору навчальних матеріалів, що включає набір конспектів лекцій, відео інструкції розв'язування конкретних завдань, набір аплетів – побудов різних типів математичних завдань в навчальному середовищі та набір правил-орієнтирів для побудови математичних моделей. Такий набір слугує сукупністю джерел знань в системі електронного навчання.

### **2.3. Поширення знаннєвого потенціалу в процесах електронного навчання**

Зміни підходів до процесів отримання знань, згенерували необхідність переходу закладів освіти до систем електронного (e-learning) та змішаного (blended learning) навчання. Незважаючи на складність процесів впровадження систем електронного навчання вони стрімко набувають популярності та поширююся в академічних спільнотах. Інформаційні навчальні ресурси стали доступнішими у використанні для студентів. Водночас відбувається стрімке зростання об'ємів інформації, швидкості її передавання та необхідність якнайшвидшого її опрацювання та подання. Це посилює інформаційне навантаження на учасників освітнього процесу і суттєво впливає на сприйняття інформації особою. Виникає потреба у впровадженні нових технічних та технологічних рішень для ефективного опрацювання інформації, у зв'язку з інформаційним перевантаженням, викликаним стрімким ростом кількості інформаційних джерел та інтенсивністю її оновлення.

Базовою структурною одиницею при дослідженні виокремлених процесів обрано електронне навчання, одним з представників якого є електронні навчальні ресурси та системи електронного навчання.

У дослідженні [124] побудовано концептуально-математичні моделі перерозподілу знаннєвого потенціалу агентів з урахуванням їх складових

компонентів. Розроблено нелінійну модель, яка визначає динаміку знаннєвого потенціалу агентів, враховуючи вплив зворотнього зв'язку на джерело знань.

У роботі [125] висвітлено аспекти моделювання особистої освітньої (навчальної) програми агента, який навчається протягом всього свого життя. Розроблено моделі інформаційних процесів перерозподілу знаннєвого потенціалу агентів з урахуванням їхніх компонентів. Зокрема, введено багатокomпонентний двовимірний масив дискретних значень для характеристики процедур формування професійних компетентностей агентів.

В дослідженні [126] автори проводять аналіз процесів якісного освітнього зростання особистості за допомогою дифузійних моделей, що описують процес поширення та перерозподілу знаннєвого потенціалу. Особливу увагу приділено опису процесу перерозподілу знаннєвого потенціалу при формуванні системи професійних компетентностей. У роботі розроблено концептуальні та нелінійні математичні моделі інформаційних процесів формування знаннєвого потенціалу агентів з урахуванням їх компонентів та вимог споживачів.

Кожен електронний навчальний ресурс включає інформацію у формі даних. Проте, введення елементів суб'єктивізму розглядає цей ресурс як носія знань. Дану властивість називають «знаннєвим потенціалом». Як для конкретного реального суб'єкта, так і для систем електронного навчання можливий наявний знаннєвий потенціал.

Для аналізу та оцінювання впливу факторів на знаннєвий потенціал використано різні методи, моделі та підходи, які запропоновані в науковій літературі. Кожен з них має конкретне призначення та обмеження оцінки. Дані методи призначені для оцінювання факторів, які впливають на знаннєвий потенціал, а також взаємодії між ними. У моделі процесу управління знаннями розглядаються як зовнішні, так і внутрішні фактори, які впливають на знаннєвий потенціал.

В процесі проведення аналізу внутрішніх факторів, що впливають на знаннєвий потенціал, було визначено п'ять основних груп [128]:

- організаційні фактори (враховують робоче середовище, інфраструктуру для здобуття знань та культуру обміну знаннями в спільноті);
- знаннєві фактори (займаються джерелами набуття знань, значущістю змісту, тривалістю процесу набуття, рівнем застосовності, потребами в знаннях, цінністю та можливостями реалізації набутих знань);
- технологічні фактори (охоплюють потребу в інформаційних та комунікаційних технологіях, ефективність використовуваних технологій в кожному з процесів);
- людські фактори (включають мотивацію до кожного з процесів та необхідні компетентності);
- фінансові фактори (враховують вартість та рентабельність здобуття знань, отримання прибутку від застосування отриманих знань).

Зовнішні фактори, що впливають на знаннєвий потенціал, включають аспекти зовнішнього середовища, такі як процедури екзаменації та конкурентоспроможність на етапі працевлаштування.

Взаємодія цих підходів створює основи для комплексної оцінки та ефективного управління знаннєвим потенціалом за допомогою циклу управління знаннями [125].

Розглядаючи процес поширення знань в електронному навчанні виникає необхідність моделювати його в термінах мереж знань. В складних мережах динаміка знань залежить від ряду факторів: структури електронних навчальних ресурсів; наповнюваності навчальним вмістом ЕНР; наявності агентів, які наповнюють ЕНР навчальним вмістом; початкових знань агентів; процесів відбору ресурсів для набуття знань; правила фільтрації для виключення неефективних ресурсів; позиції експертів у мережі.

Наявність агентів, які забезпечують наповнення електронного навчального ресурсу покращує процес набуття знань. Поширення знань відбувається значно швидше з наявністю експертів (рис 2.7).

Формально модель системи електронного навчання подано у вигляді графа:  $G = (S, B, H, R)$ , де  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  – множина учасників освітнього процесу (студенти, аспіранти, викладачі, консультанти);  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$  – множина

відношень між суб'єктами навчального процесу (навчання, співпраця, комунікація);  $H = \{h_1, h_2, \dots, h_k\}$  – множина джерел знань 1 (викладачі);  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$  – множина джерел знань 2 (електронні-навчальні ресурси), припускаючи, що кожен агент обирає ЕНР для отримання знань в момент часу  $t$  ( $t = 0, 1, \dots$ ).

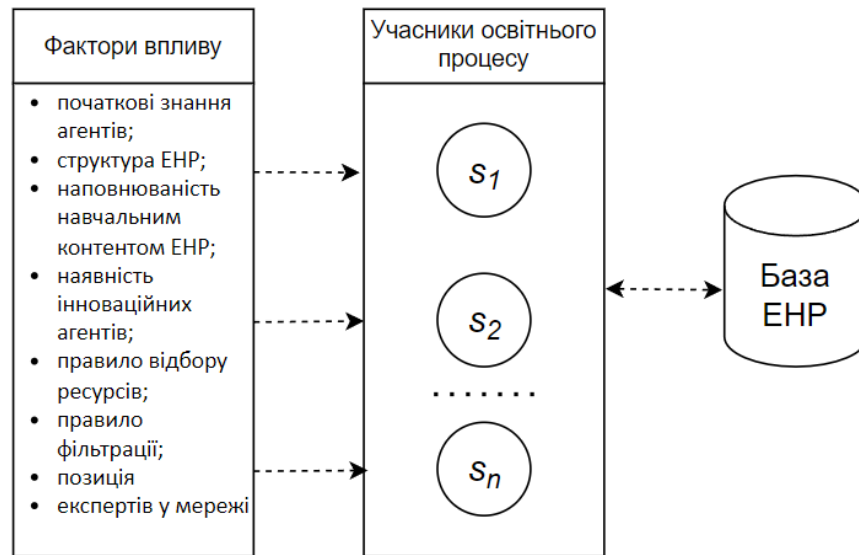


Рис. 2.7. Фактори впливу на вибір ЕНР

Процес інформаційної взаємодії учасників освітнього процесу в межах однієї спільноти показано на рисунку 2.8. Об'єднуючим фактором в процесі формування та функціонування подібної спільноти є необхідність підвищення знанневого потенціалу у її учасників [14].

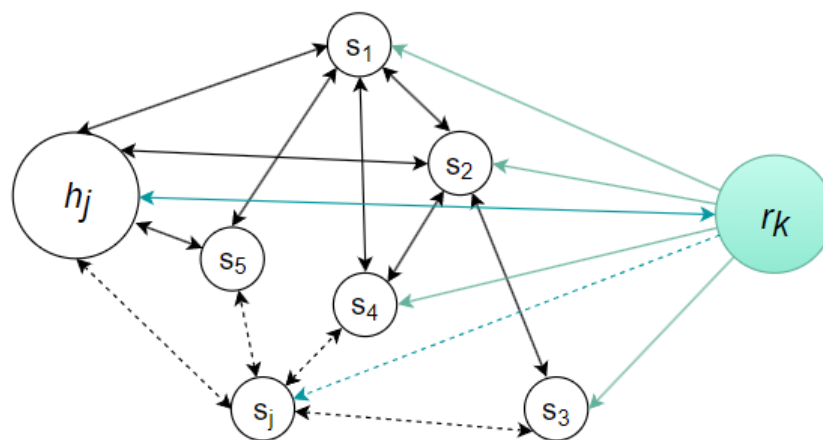


Рис. 2.8. Моделювання процесів інформаційної взаємодії учасників освітнього процесу в межах однієї спільноти

Участь у таких спільнотах під час електронного навчання створює можливість встановлення зв'язків між учасниками групи, сприяючи обміну педагогічним досвідом серед учасників.

Знання до певної спільноти надходять від фізичних учасників, та від електронних ресурсів, що знаходяться у системах електронного навчання.

Наприклад, учасники освітнього процесу  $s_{jk}$  ( $j = \overline{1, k}, k = \overline{1, k_j}$ ), навчаючись в одній групі, отримуватимуть знання від викладача, разом з тим студенти  $s_{jk}$  можуть отримувати знання від електронних навчальних ресурсів.

Система електронного навчання взаємодіє з інформаційними потоками за допомогою комп'ютерних мереж, щоб забезпечити створення, передавання та засвоєння знань між різними групами користувачів. Для аналізу та подання процесу поширення знаннєвого потенціалу було розроблено модель, що ґрунтується на принципах дифузії [130].

Спільноти складаються з агентів, позначених як  $s_{jk}$  ( $j = \overline{1, k}, k = \overline{1, k_j}$ ), зі знаннєвим потенціалом  $\gamma_{s_j}(t)$  у момент часу  $t$  ( $t = 0, 1, \dots$ ). Рівні знань є невід'ємними дійсними значеннями  $\gamma_{s_{jk}}(t) \geq 0$ , так що, агенти з вищим знаннєвим потенціалом фактично є більш обізнаними, ніж агенти з нижчим рівнем знань. Посилання мережі є каналами зв'язку між агентами, через які передаються знання. Кожне посилання  $r_j \rightarrow s_j$  характеризується відповідним ваговим коефіцієнтом  $\sigma_{r_j \rightarrow s_j}(t) = \sigma_{r_j s_j}(t)$ . Ваговий коефіцієнт  $\sigma_{r_j s_j}(t)$  включає ефективність перетікання знань від джерела знань  $r_j$  (електронні навчальні ресурси) до агента  $s_j$ , приймаючи значення  $0 \leq \sigma_{r_j s_j}(t) \leq 1$ . Власні вагові коефіцієнти  $\sigma_{s_j s_j}$  включають здатність агента  $s_j$  до інновацій, приймаючи невід'ємні значення  $\sigma_{s_j s_j} \geq 0$ .

Оновлення знань кожного агента  $s_j$  протягом інтервалу часу  $(t, t + 1]$  є різницею:  $\gamma_{s_j}(t + 1) - \gamma_{s_j}(t)$ . Проміжки часу  $(t, t + 1)$  вибираються та вказуються так, що знання агентів можуть змінюватися одним зверненням до електронного навчального ресурсу [129].

Поширення знань між двома агентами може відбуватися лише від агента з вищими знаннєвим потенціалом до агента з нижчим рівнем знань, тобто агент  $s_1$  може підвищити свій рівень знань поспілкувавшись з агентом  $s_2$ , лише якщо:  $\gamma_{s_2} - \gamma_{s_1} > 0$  або від джерела знань до агента, якщо  $\gamma_{r_1} - \gamma_{s_1} > 0$ . Протилежний напрямок ніколи не реалізується. Це припущення є правилом фільтрації над вибором агентів для спілкування або джерела знань щодо можливості оновлення знань агента  $s_1$ . Критерій, що обумовлює правило фільтрації, є різницею знань  $\gamma_{r_1} - \gamma_{s_1}$  між джерелом знань  $r_1$  і агентом  $s_1$ .

На рисунку 2.9. показано динаміку поширення знаннєвого потенціалу під час електронного навчання. Учасники освітнього процесу отримують знання від викладачів та мають можливість отримання знання з різних електронних навчальних ресурсів. В межах певної групи учасники освітнього процесу перерозподіляють знання та підвищують свій знаннєвий потенціал. Разом з тим, є ряд факторів впливу, що відіграють значну роль в процесі засвоєння знань учасниками освітнього процесу. Електронні ресурси знань сприяють підвищенню рівня знаннєвого потенціалу викладачів [131-133].

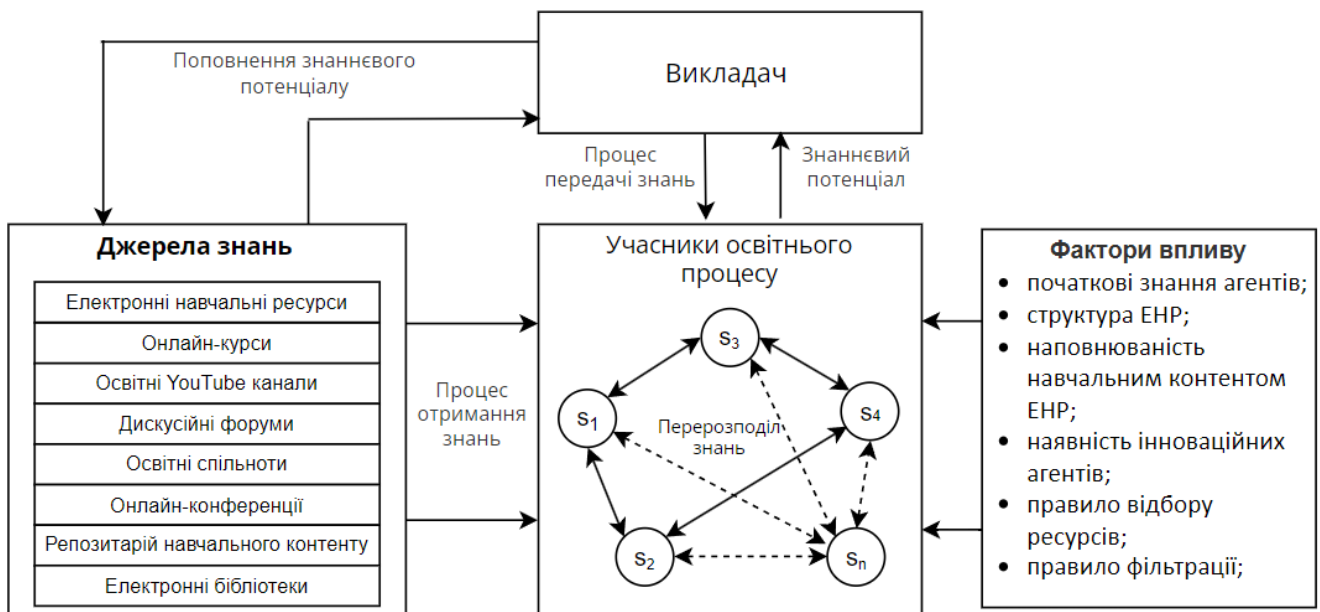


Рис. 2.9. Формування знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання

Формування знаннєвого потенціалу в контексті електронного навчання включає кілька етапів. Один з важливих етапів – вибір оптимального джерела знань, оскільки

існує ряд різних платформ, які пропонують можливості для ефективного навчання. Базовими критеріями для вибору ЕНР та освітнього наповнення є рівень доступності, функціональність та можливості, які надають ресурси для навчання. Оцінювання знань у процесі електронного навчання може проводитись як автоматично, так і з допомогою викладачів.

## **Висновки до розділу 2**

У другому розділі подано виконання наступного завдання дисертаційного дослідження, а саме досліджено процеси когнітивного моделювання та побудови моделі подання даних та знань, як інформаційного ресурсу в електронній навчальній системі. Процес моделювання подано у вигляді базових етапів з позиції когнітивного підходу. Зазначено ключові проблеми, які виникають у процесі побудови когнітивної моделі. Виокремлено базові фактори, що впливають на формування ІТ-фахівців. Подано приклад когнітивної карти навчального процесу, проілюстровано графі факторів впливу на майбутніх фахівців, сформовано матриці суміжності графів впливу на майбутніх ІТ-фахівців. Досліджено методи та засоби подання даних та знань у гіпотетичній навчальній системі, яка може використовуватися при підготовці фахівців. Сформовано модель подання даних та знань для математичної підготовки ІТ-фахівців. Сформовано формальну модель предметних знань у вигляді орієнтованого графа.

Проведене дослідження підкреслило роль математичної підготовки ІТ-фахівців, як фундаментальної основи і зумовило подальші дослідження електронних навчальних ресурсів, зокрема систем комп'ютерної математики для математичної підготовки ІТ-спеціалістів.

У цьому ж розділі розв'язане наступне завдання дисертаційного дослідження, а саме проведено узагальнення моделі процесів поширення «знаннєвого потенціалу» в системах електронного навчання. Визначено фактори, що впливають на рівень знаннєвого потенціалу. Зафіксовано фактори впливу на вибір тих чи інших електронних навчальних ресурсів. Змодельовано спільноти взаємодії учасників освітнього процесу під час електронного навчання. Виокремлено базові ознаки

освітніх спільнот. Показано поширення знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання та процес зростання рівня знаннєвого потенціалу, використовуючи нові навчальні ресурси. Показано процес отримання, передавання та перерозподілу знань, а також виокремлено ряд джерел знань, якими поповнюють знаннєвий потенціал учасники освітнього процесу. Відзначено основні етапи формування знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання.



### **РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ТА ОСВІТНЬОГО ВМІСТУ**

У третьому розділі проаналізовано підходи до застосування методу аналізу ієрархій у процесах вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту. Досліджено окремі аспекти використання формального апарату нечіткої логіки в процесах експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту, зокрема генерації відповідних рекомендацій на підставі запропонованих критеріїв. Розроблено методичку візуалізації результатів експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів, що передбачає подання результатів оцінювання у вигляді набору пелюсткових діаграм. Діаграми побудовані у полярній системі координат і відображають оцінки, які надають експерти за кожним критерієм.

#### **3.1. Експертне оцінювання освітнього вмісту в процесі підготовки ІТ-фахівців**

У Волинському національному університеті імені Лесі Українки підготовка ІТ-фахівців здійснюється за ОПП «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». Навчальний план бакалаврського освітнього ступеня містить 6 освітніх компонент, що входять до циклу загальної підготовки, 30 освітніх компонент, що входять до циклу професійної підготовки та 12 освітніх компонент вибіркового циклу. Нами проаналізовано цикл професійної підготовки здобувачів освіти на предмет необхідних видів освітнього вмісту.

Для належної підготовки ІТ-фахівців в межах ОПП «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» бакалаврського освітнього ступеня було виокремлено такі види освітнього контенту:

- К<sub>1</sub> – конспект лекцій за темою;
- К<sub>2</sub> – вказівки до виконання практичної роботи;
- К<sub>3</sub> – вказівки до виконання лабораторної роботи;
- К<sub>4</sub> – комплекс завдань виконання модульних контрольних робіт;
- К<sub>5</sub> – комплекс тестових завдань;

$K_6$  – вказівки до виконання ІНДЗ;

$K_7$  – вказівки до виконання самостійної роботи;

$K_8$  – вказівки до написання курсової роботи;

$K_9$  – вказівки щодо проходження практик;

$K_{10}$  – вказівки до написання кваліфікаційної роботи.

Згідно з навчальним планом спеціальності 122 Комп'ютерні науки, для кожного освітнього компонента потрібно оцінювати різну кількість одиниць освітнього вмісту, зважаючи на специфіку освітніх компонент та на кількість годин, що відводяться на вивчення (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Кількісні характеристики освітнього вмісту підготовки ІТ-фахівців  
у ВНУ імені Лесі Українки

		Види освітнього контенту										Всього одиниць освітнього контенту
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	
1 курс	ОК_1	39		40	2	2	4					87
	ОК_2	18		18	1	1	2					40
	ОК_3	18		18				1				37
	ОК_4	26	35		4		2					67
	ОК_5	18	18		3							39
	ОК_6	13	17		3		1					34
	ОК_7	17		17		2	2					38
2 курс	ОК_1	34		44	4	2	4					88
	ОК_6	18	18		2		1					39
	ОК_8	18	18		3							39
	ОК_9	22		23	2	1						48
	ОК_10	18		19	1	3	1					42
	ОК_11	14		17	2							33
	ОК_12	15		19		2						36
	ОК_13	15		19	2							36
ОК_25									1		1	
3 курс	ОК_10	17		23	2	3						45
	ОК_14	20		20	2							42
	ОК_15	20		24	1	3						48
	ОК_16	15		18		2						35
	ОК_17	15		18	2							35
	ОК_23								1			1
	ОК_26									1		1
	ОК_27									1		1

4 курс	OK_18	15		20	2	1						38
	OK_19	15		20	1							36
	OK_20	15		20	2		1					38
	OK_21	15		18	2	1						36
	OK_22	18		18		2						38
	OK_24								1			1
	OK_28									1		1
	OK_29									1		1
	OK_30										1	1

Механізм рекомендації навчальних видань до друку та використання в освітньому процесі передбачає розгляд на кафедрі, на засіданні науково-методичної комісії факультету та на засіданні науково-методичної ради університету.

Викладачі кафедри, на якій працює автор, та яка займається цією проблематикою, розглядають навчальне видання, обговорюють, оцінюють і рекомендують до друку.

Учасники науково-методичної комісії факультету здійснюють контроль навчального видання щодо відповідності чинним вимогам і якості навчальних видань, які претендують на друк, та рекомендацію до використання в освітньому процесі.

Науково-методична рада університету розглядає і рекомендує до друку (або відхиляє) матеріали, які надійшли від авторів у навчальний відділ. Процес рекомендації навчальних видань повинен пройти оцінювання трьох експертних спільнот, з кількістю осіб зазначеною в таблиці 3.2

Таблиця 3.2.

Експертні спільноти оцінювання освітнього вмісту

Експертні спільноти	Кількість осіб
Склад випускової кафедри	12
Склад науково-методичної комісії факультету	6
Склад науково-методичної ради університету	24

Нехай  $E = \{E_1, E_2, E_3\}$  – множина експертних спільнот, тоді

$E_1 = \{E_{1,1}, \dots, E_{1,6}\}$  – множина учасників науково-методичної комісії факультету,

$E_2 = \{E_{2,1}, \dots, E_{2,12}\}$  – множина викладачів випускової кафедри,

$E_3 = \{E_{3,1}, \dots, E_{3,24}\}$  – множина учасників науково-методичної ради університету.

Нехай  $OK_j, (j = \overline{1, 30})$  – освітні компоненти, а  $K_i = \{K_1, \dots, K_{10}\}$  – множина видів освітнього вмісту, тоді  $D_j$  – сума одиниць освітнього вмісту для  $OK_j$  матиме вигляд:

$$D_j = \sum_{i=1}^{10} K_i.$$

Нехай  $F_1$  – сума одиниць освітнього вмісту, який потрібно оцінювати за 1 курс, тобто:  $F_1 = D_{1.1} + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_{6.1} + D_7$ ,

$F_2$  – сума – за 2 курс, тобто:  $F_2 = D_{1.2} + D_{6.2} + D_8 + D_9 + D_{10.1} + D_{11} + D_{12} + D_{13} + D_{25}$ ,

$F_3$  – сума – за 3 курс, тобто:  $F_3 = D_{10.2} + D_{14} + D_{15} + D_{16} + D_{17} + D_{23} + D_{26} + D_{27}$ ,

$F_4$  – сума – за 4 курс, тобто:  $F_4 = D_{18} + D_{19} + D_{20} + D_{21} + D_{22} + D_{24} + D_{28} + D_{29} + D_{30}$ .

Тоді для першого курсу потрібно провести  $F_1 \sum_{k=1}^3 E_k$  експертних оцінювань, для другого курсу –  $F_2 \sum_{k=1}^3 E_k$ , для третього курсу –  $F_3 \sum_{k=1}^3 E_k$ , і для четвертого курсу –  $F_4 \sum_{k=1}^3 E_k$ . Загалом за весь період навчання потрібно провести  $F_E$  оцінювань, тобто:

$$F_E = \sum_{j=1}^4 F_j \sum_{k=1}^3 E_k.$$

В таблицях 3.3-3.6 наведено кількісні характеристики експертного оцінювання освітнього контенту для підготовки ІТ-фахівців для кожного курсу, а на рисунках 3.1-3.4 проілюстровано кількісно експертне оцінювання.

Таблиця 3.3.

Кількість експертних оцінювань, проведених для 1 курсу

Освітні компоненти	Всього одиниць оцінювання	Експертні спільноти			Загальна кількість експертних оцінювань, проведених для 1 курсу
		$E_1$	$E_2$	$E_3$	
		6	12	24	
ОК 1	87	522	1044	2088	
ОК 2	40	240	480	960	
ОК 3	37	222	444	888	
ОК 4	67	402	804	1608	
ОК 5	39	234	468	936	
ОК 6	34	204	408	816	
ОК 7	38	228	456	912	
<b>Разом</b>	<b>342</b>	<b>2052</b>	<b>4104</b>	<b>8208</b>	

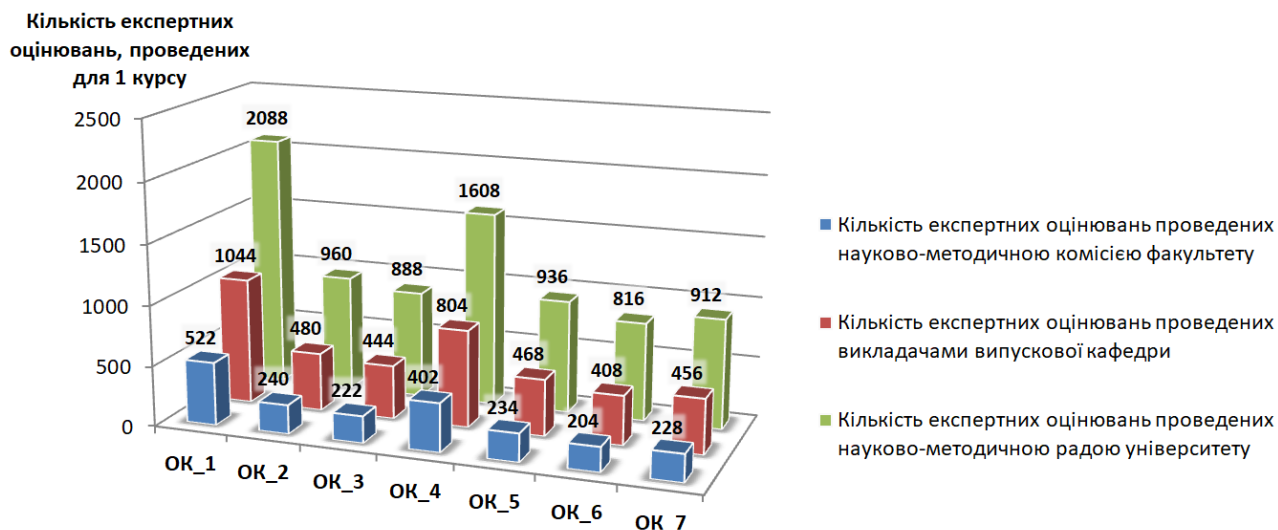


Рис. 3.1. Експертні оцінювання, проведені для 1 курсу

Таблиця 3.4.

Кількість експертних оцінювань, проведених для 2 курсу

Освітні компоненти	Всього одиниць оцінювання	Експертні спільноти			Загальна кількість експертних оцінювань, проведених для 2 курсу
		$E_1$ 6	$E_2$ 12	$E_3$ 24	
OK_1	88	528	1056	2112	15204
OK_6	39	234	468	936	
OK_8	39	234	468	936	
OK_9	48	288	576	1152	
OK_10	42	252	504	1008	
OK_11	33	198	396	792	
OK_12	36	216	432	864	
OK_13	36	216	432	864	
OK_25	1	6	12	24	
<b>Разом</b>	<b>362</b>	<b>2172</b>	<b>4344</b>	<b>8688</b>	

Кількість експертних оцінювань, проведених для 2 курсу

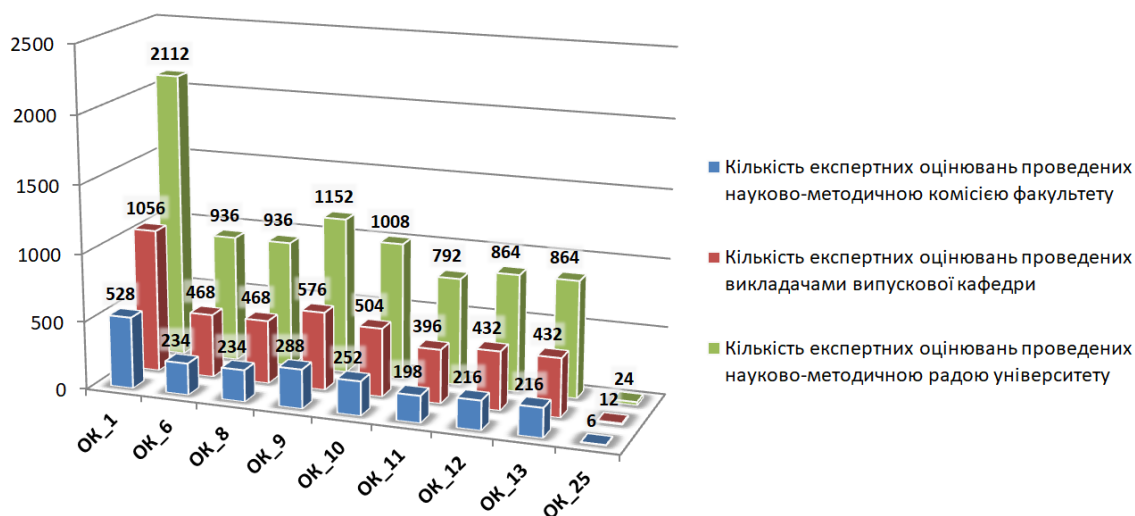


Рис. 3.2. Експертні оцінювання, проведені для 2 курсу

Таблиця 3.5.

## Кількість експертних оцінювань, проведених для 3 курсу

Освітні компоненти	Всього одиниць оцінювання	Експертні спільноти			Загальна кількість експертних оцінювань, проведених для 3 курсу
		$E_1$	$E_2$	$E_3$	
		6	12	24	
ОК_10	45	270	540	1080	
ОК_14	42	252	504	1008	
ОК_15	48	288	576	1152	
ОК_16	35	210	420	840	
ОК_17	35	210	420	840	
ОК_23	1	6	12	24	
ОК_26	1	6	12	24	
ОК_27	1	6	12	24	
<b>Разом</b>	<b>208</b>	<b>1248</b>	<b>2496</b>	<b>4992</b>	

Кількість експертних оцінювань, проведених для 3 курсу

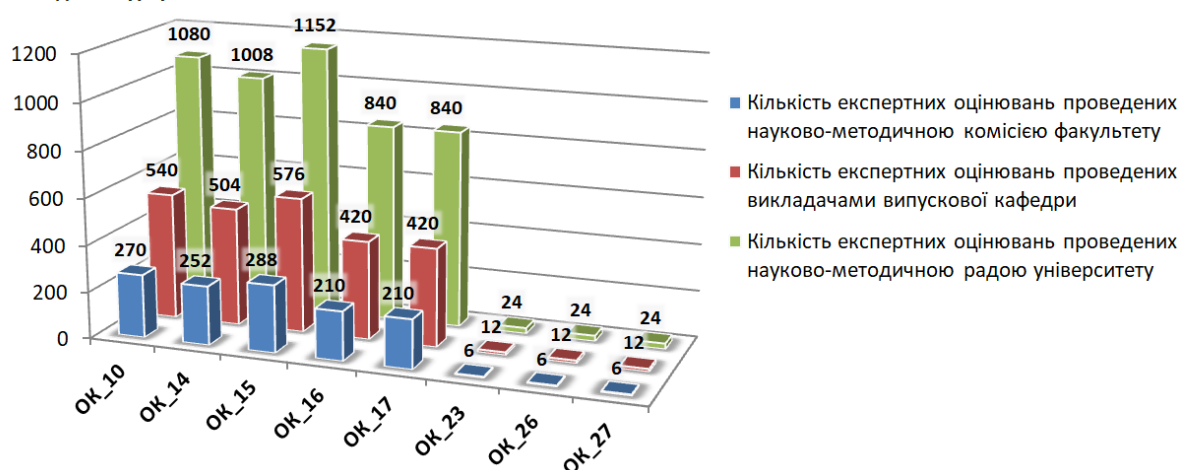


Рис. 3.3. Експертні оцінювання, проведені для 3 курсу

Таблиця 3.6.

## Кількість експертних оцінювань, проведених для 4 курсу

Освітні компоненти	Всього одиниць оцінювання	Експертні спільноти			Загальна кількість експертних оцінювань, проведених для 4 курсу
		$E_1$	$E_2$	$E_3$	
		6	12	24	
ОК_18	38	228	456	912	
ОК_19	36	216	432	864	
ОК_20	38	228	456	912	
ОК_21	36	216	432	864	
ОК_22	38	228	456	912	
ОК_24	1	6	12	24	
ОК_28	1	6	12	24	
ОК_29	1	6	12	24	
ОК_30	1	6	12	24	
<b>Разом</b>	<b>190</b>	<b>1140</b>	<b>2280</b>	<b>4560</b>	<b>7980</b>

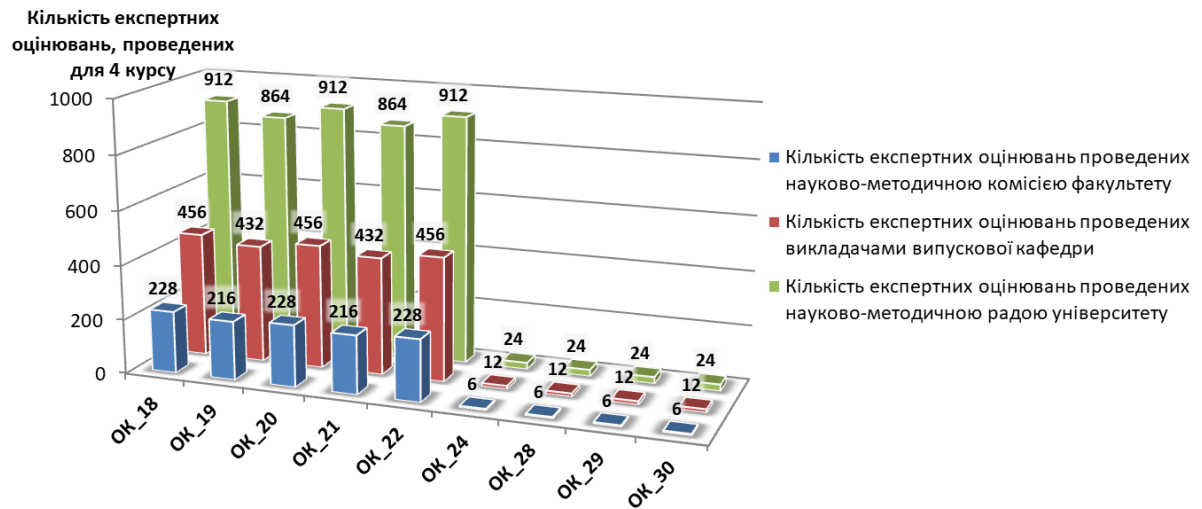


Рис. 3.4. Експертні оцінювання, проведені для 4 курсу

Отже, для оцінювання освітнього контенту на першому курсі підготовки ІТ-фахівців потрібно провести 14364 експертних процедури, на другому курсі дещо збільшився показник, він становить 15204, на третьому курсі спостерігається зниження показників – 8736, оскільки до навчального плану включено виконання курсових робіт та проходження практик на четвертому курсі ще нижчий показник – 7980 і загалом за весь період підготовки потрібно провести 46284 експертні процедури (табл. 3.7., рис.3.5)

Таблиця 3.7.

Кількість експертних оцінювань, проведених за весь період навчання

Курси	Всього одиниць оцінювання	Експертні спільноти			Кількість експертних оцінювань,
		$E_1$	$E_2$	$E_3$	
		6	12	24	
1 курс	342	2052	4104	8208	14364
2 курс	362	2172	4344	8688	15204
3 курс	208	1248	2496	4992	8736
4 курс	190	1140	2280	4560	7980
Загальна кількість експертних оцінювань для всього періоду навчання					46284

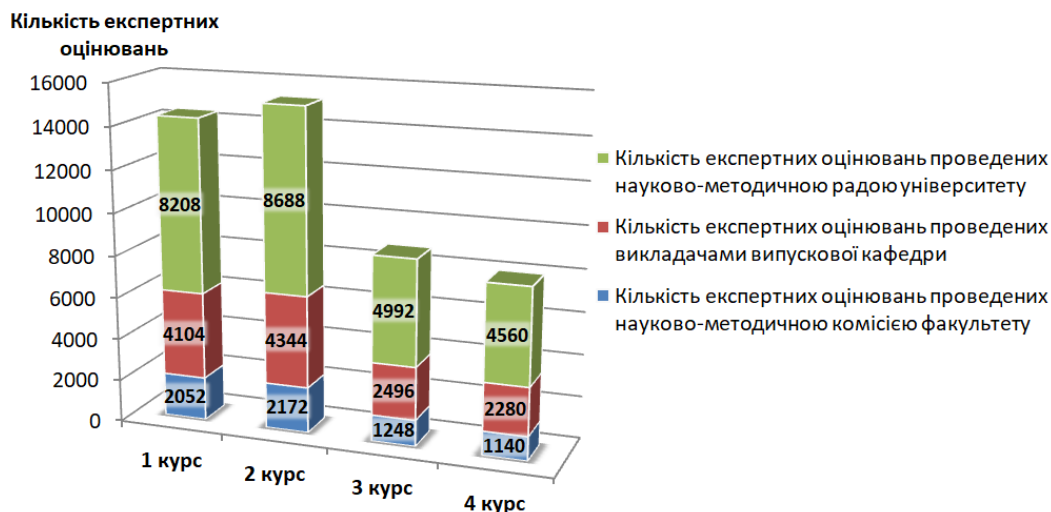


Рис. 3.5. Експертні оцінювання, проведені за весь період навчання

Загалом можемо стверджувати, що процес оцінювання освітнього контенту є доволі трудомістким і часовитратним. В переважній більшості ситуацій процеси оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту зазвичай виконуються неналежним чином або і взагалі не проводяться. Розроблений та запропонований до використання інформаційно-технологічний інструментарій покликаний значно вдосконалити, спростити та пришвидшити реалізацію процесів експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту в експертних освітніх середовищах.

### 3.2. Застосування методу аналізу ієрархій під час вибору електронних навчальних ресурсів

В процесі електронного навчання при вивченні дисциплін математичного спрямування доцільно використовувати інформаційні ресурси, зокрема системи комп'ютерної математики. Всі вони мають широкий спектр функцій та конкретне призначення. Вибір таких систем проілюстровано на прикладі використання методів аналізу ієрархій [4].

Продемонстровано процедури методу аналізу ієрархій у контексті вибору оптимальної системи комп'ютерної математики, що включає вісім альтернатив та розглядається за урахуванням семи критеріїв.



Досягнення мети передбачає вибір однієї з альтернатив за допомогою множини сформульованих критеріїв. Процес вибору альтернативи включає обчислення компонентів вектора пріоритетів, який відображається для кожної альтернативи [136]. Альтернатива, що має найвище значення цього компонента, розглядається як найдоцільніша.

Шкала експертних оцінок для парних порівнянь, під час яких оцінюється перевага першого об'єкта над другим має значення від 1 до 9 [137]. Загальний зміст таких оцінок наведено у таблиці 3.8 [5].

*Таблиця 3.8.*

**Рівень значущості критеріїв для матриць попарних порівнянь**

<b>Рівень значущості</b>	<b>Означення</b>	<b>Коментар</b>
1	Однакова значущість	Обидва об'єкти рівнозначущі.
3	Слабка значущість	Перший об'єкт має невелику перевагу перед другим.
5	Суттєва або сильна значущість	Перший об'єкт має сильну перевагу перед другим.
7	Дуже сильна та очевидна значущість	Перший об'єкт має дуже сильну перевагу перед другим.
9	Абсолютна значущість	Перший об'єкт має абсолютну перевагу перед другим.
2, 4, 6, 8	Проміжні значення	

На основі результатів аналізу функціональних можливостей вибраних систем комп'ютерної математики визначено набір критеріїв, за якими проводиться вибір системи з використанням експертних оцінок, отриманих за методом аналізу ієрархій.

Головними критеріями, для яких розраховано ваги альтернатив, були обрані наступні характеристики:

- 1) функціональні можливості;
- 2) навчальні матеріали;
- 3) онлайн режим;
- 4) мобільний додаток;
- 5) ліцензія;

- б) багатомовна версія;
- 7) вільно поширюваний код.

На рисунку 3.6 відображена структура оцінювання та вибору СКМ з використанням методу аналізу ієрархій.

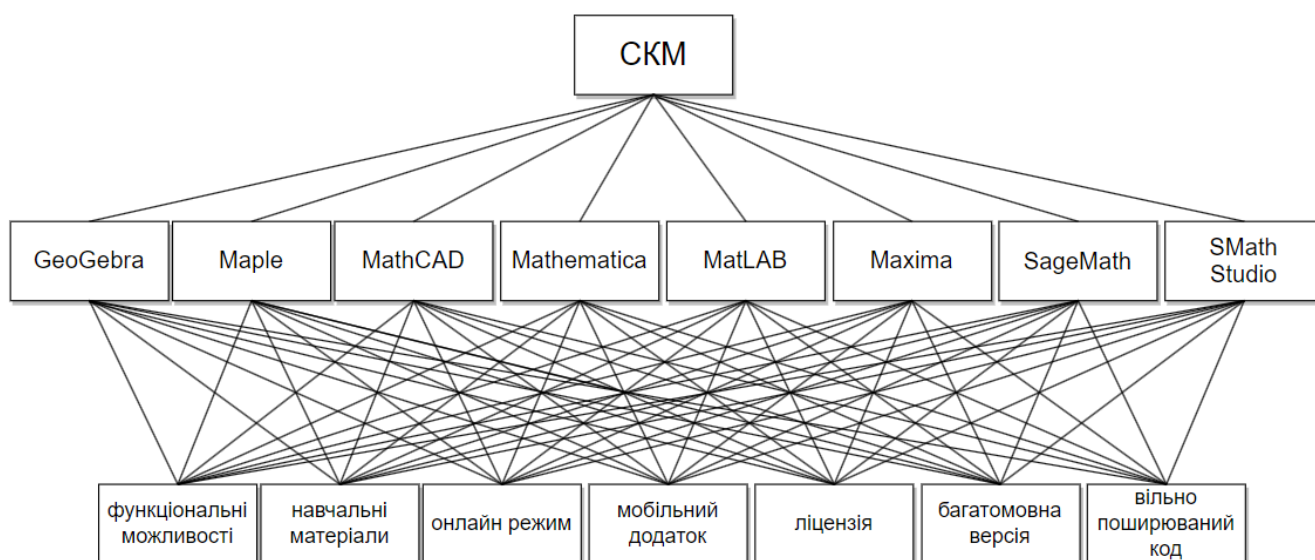


Рис. 3.6. Метод аналізу ієрархій для оцінювання СКМ

Процес вибору СКМ з використанням методу аналізу ієрархій показано на прикладі оцінювання за одним із критеріїв.

*Критерій «функціональні можливості».* Цей критерій визначає можливість розв'язування завдань за допомогою певного набору функцій, оскільки різні системи суттєво відрізняються за своєю функціональністю. В таблиці 3.9. подано матрицю попарних порівнянь для оцінювання та вибору системи за критерієм «функціональні можливості».

Таблиця 3.9.

Матриця парних порівнянь для визначення альтернативної системи за критерієм «функціональні можливості»

Альтернативи	GeoGebra	Maple	MathCAD	Mathematica	MatLAB	Maxima	SageMath	SMath Studio
GeoGebra	1,00	1,00	6,00	1,00	2,00	2,00	3,00	6,00
Maple	1,00	1,00	6,00	1,00	2,00	2,00	3,00	6,00
MathCAD	0,17	0,17	1,00	0,17	0,25	0,25	0,33	1,00
Mathematica	1,00	1,00	6,00	1,00	2,00	2,00	3,00	6,00
MatLAB	0,50	0,50	4,00	0,50	1,00	1,00	2,00	4,00

<b>Maxima</b>	0,50	0,50	4,00	0,50	1,00	1,00	2,00	4,00
<b>SageMath</b>	0,33	0,33	3,00	0,33	0,50	0,50	1,00	3,00
<b>SMath Studio</b>	0,17	0,17	1,00	0,17	0,25	0,25	0,33	1,00
<b>Сума</b>	<b>4,66</b>	<b>4,67</b>	<b>31,00</b>	<b>4,67</b>	<b>9,00</b>	<b>9,00</b>	<b>14,66</b>	<b>31,00</b>

На основі матриці (див. табл. 3.9) було обчислено головний власний вектор (вектор пріоритетів) [138].

Для знаходження оцінки даного вектора було обчислено суми всіх елементів у кожному стовпці  $S_i = a_{1i} + a_{2i} + \dots + a_{ni}$  та відношення кожного елементу стовпця матриці до суми всіх елементів у цьому ж стовпці  $A_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_i}$ .

На наступному етапі знайдено суму всіх елементів у кожному рядку  $S_i = A_{i1} + A_{i2} + \dots + A_{in}$  та обчислено середнє арифметичне значення для кожного рядка  $w_i = \frac{S_i}{n}$ .

Результати подані у таблиці 3.10. Компоненти вектора пріоритетів є ваги альтернатив, які розраховані як алгебраїчна сума елементів відповідного рядка таблиці 3.10, поділена на загальну кількість альтернатив – тобто кількість елементів у рядку з таблиці 3.9.

Таблиця 3.10

Визначення ваги альтернатив за критерієм «функціональні можливості»

Альтернативи	GeoGebra	Maple	MathCAD	Mathematica	MatLAB	Maxima	SageMath	SMath Studio	Сума	Вага альтернативи
<b>GeoGebra</b>	0,214	0,214	0,194	0,214	0,222	0,222	0,205	0,194	1,679	<b>0,210</b>
<b>Maple</b>	0,214	0,214	0,194	0,214	0,222	0,222	0,205	0,194	1,679	<b>0,210</b>
<b>MathCAD</b>	0,036	0,036	0,032	0,036	0,028	0,028	0,023	0,032	0,250	<b>0,031</b>
<b>Mathematica</b>	0,214	0,214	0,194	0,214	0,222	0,222	0,205	0,194	1,679	<b>0,210</b>
<b>MatLAB</b>	0,107	0,107	0,129	0,107	0,111	0,111	0,136	0,129	0,938	<b>0,117</b>
<b>Maxima</b>	0,107	0,107	0,129	0,107	0,111	0,111	0,136	0,129	0,938	<b>0,117</b>
<b>SageMath</b>	0,071	0,071	0,097	0,071	0,056	0,056	0,068	0,097	0,585	<b>0,073</b>
<b>SMath Studio</b>	0,036	0,036	0,032	0,036	0,028	0,028	0,023	0,032	0,251	<b>0,031</b>
<b>Сума</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>8,000</b>	<b>1,000</b>

За критерієм «функціональні можливості» найвищу вагу мають систем GeoGebra, Maple та Mathematica, які складають 0,210. Це дозволило визначити їх, як найкращі альтернативи.

На наступному етапі обчислено оцінку найбільшого власного значення [140]:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n w_i S_i,$$

де  $n$  – кількість альтернатив,  $S_i$  – сума елементів стовпця з індексом  $i$  та  $w_i$  – вага альтернативи з індексом  $i$ .

$$\begin{aligned} \lambda_{\max} = & 0,21 \cdot 4,67 + 0,21 \cdot 4,67 + 0,031 \cdot 31 + 0,117 \cdot 9 + 0,117 \cdot 9 + \\ & + 0,031 \cdot 31 + 0,073 \cdot 14,66 + 0,21 \cdot 4,67 = 8,067 \end{aligned}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{8,067 - 8}{8 - 1} = 0,0097$$

Для обчислення  
індексу узгодженості  
використано формулу:

На наступному етапі обчислено індекс послідовності співвідношень за допомогою формули:  $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,01}{1,41} = 0,007$ .

Для  $n = 8$  значення  $PI = 1.41$  є однаковим для всіх подальших розрахунків ваг альтернатив.

Оскільки  $CR = 0.7\% < 10\%$ , то можна стверджувати, що матриця попарних порівнянь за критерієм «функціональні можливості» є узгодженою.

Результати проведених розрахунків для решти критеріїв наведені в додатках.

Для всіх критеріїв співвідношення узгодженості мають значення, що значно менше як 10%. Це свідчить про те, що всі матриці попарних порівнянь є узгодженими.

Для визначення ваг альтернатив потрібно оцінити рівень значущості критеріїв методом попарних порівнянь. З метою спрощення подальших розрахунків припускається, що всі критерії мають однаковий рівень значущості. В умовах такого



Під час розрахунків було враховано, що індекс послідовності співвідношень становить нуль у випадку, коли всі елементи матриці попарних порівнянь дорівнюють одиниці. Отриманий результат свідчить про узгодженість всієї ієрархії. Вказані висновки були зроблені на основі проведених розрахунків і представлені на рисунку 3.7 та в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12.

Вагові коефіцієнти СКМ

Альтернатива	Пріоритет
<b>GeoGebra</b>	0,3008
<b>Maple</b>	0,0755
<b>MathCAD</b>	0,0509
<b>Mathematica</b>	0,1528
<b>MatLAB</b>	0,0743
<b>Maxima</b>	0,1203
<b>SageMath</b>	0,1019
<b>SMath Studio</b>	0,1235

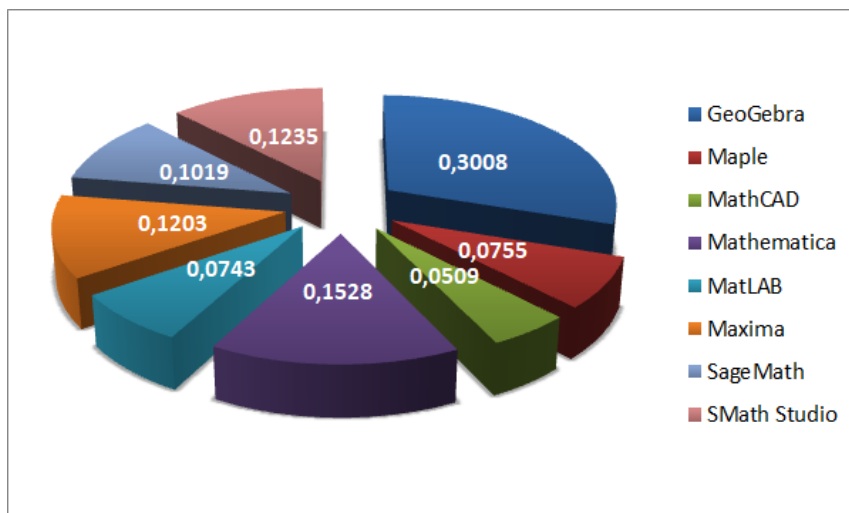


Рис. 3.7. Діаграма розподілу вагових коефіцієнтів СКМ

Отже, для експертного оцінювання та вибору ЕНР, зокрема систем комп'ютерної математики доцільно використовувати метод аналізу ієрархій. З використанням даного методу можна визначити найкращі альтернативи за необхідними критеріями.

### 3.3. Використання методу нечіткої логіки в процесі експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту

Поняття нечітких множин уперше ввів Лотфі Заде, що є математичним апаратом для обґрунтування завдань, де немає повноцінної статистики, однак потрібно узгодити певні критерії в процесі прийняття рішення [12].

Підхід із використанням нечіткої логіки дещо розширює методи аналізу ієрархій. Процес починається зі збору кількісних та якісних даних, а також лінгвістичних даних від експертів, які приймають рішення. Використовуючи формалізми нечіткої логіки здійснюються необхідні обрахунки.

Функція належності  $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$  характеризує нечітку підмножину  $\tilde{A}$  універсальної множини  $U$ . Кожному елементу  $u \in U$  ставиться у відповідність число  $\mu_A(u)$  з інтервалу  $[0,1]$ , що визначає належність  $u$  підмножині  $A$ . Ступінь належності являє собою числове значення, яке належить діапазону  $[0,1]$ . Елемент універсальної множини з вищим ступенем належності виражає більшу відповідність характеристикам нечіткої множини [142].

Для скінченної множини  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ , нечітка множина  $\tilde{A}$  записується у такий спосіб:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^k \mu_A(u_i)/u_i.$$

У випадку неперервної множини  $U$  використовують таке позначення [143]:

$$\tilde{A} = \int_{u \in U} \mu_A(u)/u.$$

Лінгвістична змінна може бути виражена словесно і входити в терм-множину. Для практичного застосування теорії нечітких множин потрібно використання функцій належності. Завдання створення функцій належності полягає в роботі з двома множинами: універсальна множина  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  та множина термів  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ . Для визначення лінгвістичного терма  $l_j$  на множині  $U$  використовується нечітка множина  $\tilde{l}$ , яка задається у наступному вигляді:

$$\tilde{l}_j = \left( \frac{\mu_{l_j}(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_{l_j}(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_{l_j}(u_n)}{u_n} \right), \quad j = \overline{1, m}.$$

Виникає необхідність визначення ступенів належності елементів множини  $U$  до елементів із множини  $L$ , тобто знаходження  $\mu_{l_j}(u_j)$  для всіх  $j = \overline{1, m}$  і  $i = \overline{1, n}$ .

Під час побудови функції належності за методом, що базується на парних порівняннях для кожної пари елементів універсальної множини оцінюється перевага одного елемента над другим щодо властивостей нечіткої множини. Такого роду парні порівняння зручно подавати такою матрицею:

$$A = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & \dots & u_n \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix},$$

де  $a_{ij}$  – рівень переваг елемента  $u_i$  над  $u_j$   $i, j = \overline{1, n}$ , що визначається за дев'ятибальною шкалою Сааті [12]:

1 – якщо переваги елемента  $u_i$  над елементом  $u_j$  немає;

3 – якщо перевага елемента  $u_i$  над елементом  $u_j$  слабка;

5 – якщо перевага елемента  $u_i$  над елементом  $u_j$  суттєва;

7 – якщо перевага елемента  $u_i$  над елементом  $u_j$  очевидна;

9 – якщо перевага елемента  $u_i$  над елементом  $u_j$  абсолютна;

2, 4, 6, 8 – проміжні порівняльні оцінки: 2 – майже слабка перевага, 4 – майже суттєва перевага, 6 – майже очевидна перевага, 8 – майже абсолютна перевага.

Матриця парних порівнянь є обернено симетричною  $\left( a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, i, j = \overline{1, n} \right)$  та діагональною  $(a_{ii} = 1, i = \overline{1, n})$ .

Ступені належності визначаються значеннями відповідних координат власного вектора  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  матриці парних порівнянь  $A$ :

$$\mu(u_i) = w_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3.1)$$

Власний вектор обчислюється за заданою системою:

$$\begin{cases} AW = \lambda_{max} W, \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1, \end{cases} \quad (3.2)$$



де  $\lambda_{max}$  – найбільше власне значення матриці  $A$ .

Нехай  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$  – множина об'єктів, які потребують експертної перевірки,  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$  – множина критеріїв, за якими перевірятимуться задані об'єкти.

Нехай  $\mu_{G_i}(P_j)$  число з діапазону  $[0, 1]$ , за яким оцінюється  $P_j \in P$  за критерієм  $G_i \in G$ : зі зростанням  $\mu_{G_i}(P_j)$ , буде кращим варіант  $P_j$  за критерієм  $G_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}$ . Тоді критерій  $G_i$  подають нечіткою множиною  $\tilde{G}_i$  на множині варіантів  $P$ :

$$G_i = \left\{ \frac{\mu_{G_i}(P_1)}{P_1}, \frac{\mu_{G_i}(P_2)}{P_2}, \dots, \frac{\mu_{G_i}(P_k)}{P_k} \right\}, \quad (3.3)$$

де  $\mu_{G_i}(P_j)$  – ступінь належності елемента  $P_j$  нечіткій множині  $\tilde{G}_i$ .

Для знаходження ступенів належності нечіткої множини доцільно використовувати метод побудови функції на основі парних порівнянь. Матриці парних порівнянь формуються за заданими критеріями, їх кількість дорівнює кількості критеріїв.

Вважається найкращим той варіант у якого найвищі всі значення критеріїв. Нечітке значення  $\tilde{D}$  обчислюється як перетин критеріїв:

$$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \tilde{G}_2 \cap \dots \cap \tilde{G}_n = \left\{ \frac{\min_{i=1, n} \mu_{G_i}(P_1)}{P_1}, \frac{\min_{i=1, n} \mu_{G_i}(P_2)}{P_2}, \dots, \frac{\min_{i=1, n} \mu_{G_i}(P_k)}{P_k} \right\}. \quad (3.4)$$

Найкращий варіант із запропонованої множини  $\tilde{D}$  вважається той, що має найбільший ступінь належності:

$$D = \arg \max(\mu_D(P_1), \mu_D(P_2), \dots, \mu_D(P_k)).$$

Якщо критерії не є рівно важливими, то ступені належності нечіткої множини  $\tilde{D}$  обчислюються за наступною формулою:

$$\mu_D(P_j) = \min_{i=1, n} \left( \mu_{G_i}(P_j) \right)^{\alpha_i}, \quad j = \overline{1, k}, \quad (3.5)$$

де  $\alpha_i$  – коефіцієнт відносної важливості критеріїв  $G_i, \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1$  [4].

В якості прикладу розглянуто порівняння восьми систем комп'ютерної математики: GeoGebr, Maple, MathCAD, Mathematica, MatLAB, Maxima, SageMath, SMath Studio ( $P_1 \div P_8$ ). Для оцінювання СКМ використано такі критерії [8]:

- $G_1$  – інтерактивність;
- $G_2$  – мультимедійність;
- $G_3$  – можливість модифікації;
- $G_4$  – кросплатформеність;
- $G_5$  – вільно поширюваний код;
- $G_6$  – архітектура;
- $G_7$  – функціональні можливості.

Матриці парних порівнянь сформовано на основі критерії  $G_1 \div G_7$ , згідно з експертними оцінками. Нечіткі множини отримано з використанням формули (3.1) і (3.2), застосовувалися до матриць парних порівнянь.

Для розрахунку коефіцієнтів відносної важливості критеріїв використано експертний метод парних порівнянь. Для з'ясування важливості критеріїв застосовано лінгвістичні парні порівняння, а саме:

- майже слабка перевага  $G_1$  над  $G_2$ ;
- слабка перевага  $G_1$  над  $G_3$ ;
- майже слабка перевага  $G_1$  над  $G_6$ ;
- майже слабка перевага  $G_1$  над  $G_7$ ;
- майже суттєва перевага  $G_2$  над  $G_3$ ;
- суттєва перевага  $G_2$  над  $G_6$ ;
- немає переваги  $G_6$  над  $G_7$ ;
- немає переваги  $G_7$  над  $G_6$ ;
- майже слабка перевага  $G_3$  над  $G_6$ ;
- майже слабка перевага  $G_3$  над  $G_7$ ;
- майже слабка перевага  $G_4$  над  $G_1$ ;
- майже слабка перевага  $G_4$  над  $G_2$ ;
- немає переваги  $G_4$  над  $G_3$ ;
- немає переваги  $G_4$  над  $G_5$ ;
- майже суттєва перевага  $G_4$  над  $G_6$ ;
- майже суттєва перевага  $G_4$  над  $G_7$ ;
- майже слабка перевага  $G_5$  над  $G_1$ ;
- майже слабка перевага  $G_5$  над  $G_2$ ;
- немає переваги  $G_5$  над  $G_3$ ;
- немає переваги  $G_5$  над  $G_4$ ;
- слабка перевага  $G_5$  над  $G_6$ ;
- слабка перевага  $G_5$  над  $G_7$ ;

Коефіцієнти відносної важливості обчислено за формулами (3.2) і (3.3) для критеріїв  $G_1, G_2, \dots, G_7$ :  $\alpha_1 = 0,15$ ;  $\alpha_2 = 0,13$ ;  $\alpha_3 = 0,18$ ;  $\alpha_4 = 0,22$ ;  $\alpha_5 = 0,21$ ;  $\alpha_6 = 0,06$ ;  $\alpha_7 = 0,06$ , що означає найбільшу важливість під час проведення оцінювання можливість модифікації ( $G_3$ ), кросплатформеність ( $G_4$ ), вільнопоширюваність ( $G_5$ ).

В результаті обчислень отримано такі ступені належності нечіткої множини  $\tilde{D}$ :

$$\begin{aligned}\mu_D(P_1) &= \min(0,80; 0,87; 0,82; 0,82; 0,72; 0,95; 0,94) = 0,72; \\ \mu_D(P_2) &= \min(0,80; 0,71; 0,66; 0,45; 0,46; 0,83; 0,83) = 0,45; \\ \mu_D(P_3) &= \min(0,60; 0,65; 0,51; 0,45; 0,48; 0,89; 0,83) = 0,45; \\ \mu_D(P_4) &= \min(0,80; 0,81; 0,82; 0,71; 0,47; 0,85; 0,83) = 0,47; \\ \mu_D(P_5) &= \min(0,73; 0,68; 0,65; 0,62; 0,47; 0,83; 0,83) = 0,47; \\ \mu_D(P_6) &= \min(0,73; 0,65; 0,51; 0,45; 0,48; 0,89; 0,83) = 0,51; \\ \mu_D(P_7) &= \min(0,68; 0,76; 0,59; 0,45; 0,72; 0,83; 0,89) = 0,45; \\ \mu_D(P_8) &= \min(0,60; 0,81; 0,82; 0,71; 0,47; 0,85; 0,83) = 0,59.\end{aligned}$$

У результаті отримано нечітку множину

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0,722}{P_1}, \frac{0,454}{P_2}, \frac{0,454}{P_3}, \frac{0,470}{P_4}, \frac{0,468}{P_5}, \frac{0,513}{P_6}, \frac{0,454}{P_7}, \frac{0,593}{P_8} \right\},$$

що свідчить про перевагу системи  $P_1$  над іншими. Тож отримано систему  $P_1$ , яка найбільше відповідає заданим критеріям. Нечіткі множини, що показують, наскільки повно СКМ  $P_1 \div P_8$  відповідають критеріям  $G_1 \div G_7$ , записано таким способом:

$$\begin{aligned}\tilde{P}_1 &= \left\{ \frac{0,80}{G_1}, \frac{0,87}{G_2}, \frac{0,82}{G_3}, \frac{0,82}{G_4}, \frac{0,72}{G_5}, \frac{0,95}{G_6}, \frac{0,94}{G_7} \right\}; \\ \tilde{P}_2 &= \left\{ \frac{0,80}{G_1}, \frac{0,71}{G_2}, \frac{0,66}{G_3}, \frac{0,45}{G_4}, \frac{0,46}{G_5}, \frac{0,83}{G_6}, \frac{0,83}{G_7} \right\}; \\ \tilde{P}_3 &= \left\{ \frac{0,60}{G_1}, \frac{0,65}{G_2}, \frac{0,51}{G_3}, \frac{0,45}{G_4}, \frac{0,48}{G_5}, \frac{0,89}{G_6}, \frac{0,83}{G_7} \right\}; \\ \tilde{P}_4 &= \left\{ \frac{0,80}{G_1}, \frac{0,81}{G_2}, \frac{0,82}{G_3}, \frac{0,71}{G_4}, \frac{0,47}{G_5}, \frac{0,85}{G_6}, \frac{0,83}{G_7} \right\}; \\ \tilde{P}_5 &= \left\{ \frac{0,73}{G_1}, \frac{0,68}{G_2}, \frac{0,65}{G_3}, \frac{0,62}{G_4}, \frac{0,47}{G_5}, \frac{0,83}{G_6}, \frac{0,83}{G_7} \right\}; \\ \tilde{P}_6 &= \left\{ \frac{0,73}{G_1}, \frac{0,65}{G_2}, \frac{0,51}{G_3}, \frac{0,52}{G_4}, \frac{0,72}{G_5}, \frac{0,85}{G_6}, \frac{0,97}{G_7} \right\}; \\ \tilde{P}_7 &= \left\{ \frac{0,68}{G_1}, \frac{0,76}{G_2}, \frac{0,59}{G_3}, \frac{0,45}{G_4}, \frac{0,72}{G_5}, \frac{0,83}{G_6}, \frac{0,89}{G_7} \right\}; \\ \tilde{P}_8 &= \left\{ \frac{0,60}{G_1}, \frac{0,76}{G_2}, \frac{0,59}{G_3}, \frac{0,62}{G_4}, \frac{0,72}{G_5}, \frac{0,92}{G_6}, \frac{0,83}{G_7} \right\}.\end{aligned}$$

За проведеними обрахунками отримано рейтинговий перелік систем комп'ютерної математики в такій послідовності: GeoGebr, SageMath, Maxima, Mathematica, MatLAB, Maple, MathCAD, SMath Studio (рис. 3.8).

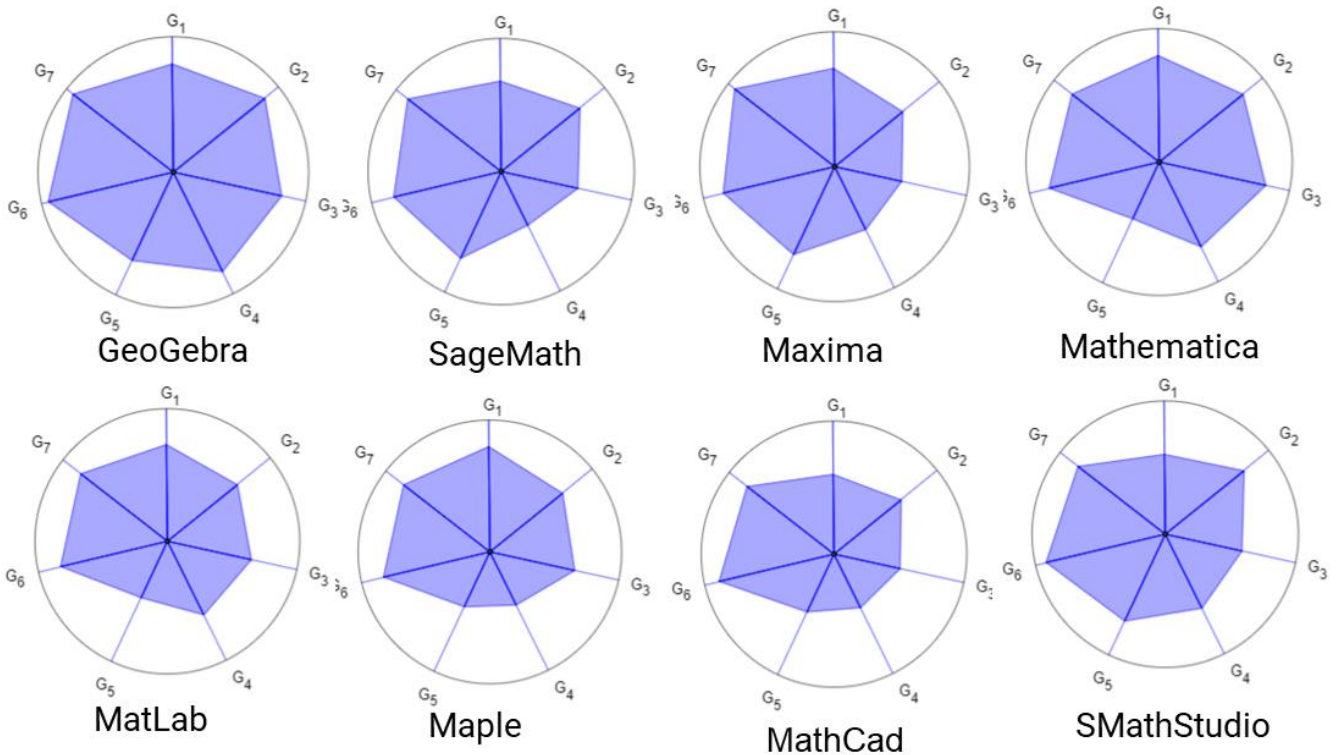


Рис. 3.8. Рейтинговий перелік СКМ  $P_1 \div P_8$  за критеріями  $G_1 \div G_7$

В процесі проведених досліджень отримано рейтинговий перелік систем комп'ютерної математики. Кожна СКМ розміщена в порядку зменшення значень критеріїв за якими вони оцінювалися. Даний метод ефективний тим, що відразу прослідковується характеристика оцінюваного ресурсу за всіма критеріями.

### 3.4. Візуалізація оцінювання освітнього контенту з використанням пелюсткових діаграм

Для відображення результатів експертного оцінювання рекомендується використовувати ефективні засоби візуалізації даних, і серед таких інструментів можна виокремити пелюсткові діаграми [13].

В термінах експертного оцінювання освітнього вмісту, під візуалізацією розуміється подання інформації у графічному вигляді з метою забезпечення максимальної зручності її розуміння та швидкого сприйняття [144]. Для візуалізації результатів експертного оцінювання освітнього вмісту за конкретними критеріями та отримання комплексного показника рекомендується використовувати пелюсткові діаграми. Пелюсткова діаграма є графічним поданням абстрактних даних у формі

квіткової метафори, розділеної на три або більше пелюсток, кожна з яких відображає відповідний критерій [145].

Для можливості візуалізації оцінювання освітнього вмісту розглянуто підхід із використанням пелюсткових діаграм, зокрема оцінено методичні вказівки до виконання практичних завдань з курсу «Комп'ютерна дискретна математика».

Методичні вказівки оцінено, за даними критеріями:

- відповідність теми до силабуса освітнього компонента;
- наповнюваність необхідним теоретичним навчальним матеріалом;
- структурованість матеріалу;
- наявність прикладів розв'язаних завдань;
- наявність завдань для самостійного виконання;
- наявність необхідних літературних джерел.

Оцінювання освітнього вмісту розглядається у полярній системі координат, де формується неправильний багатокутник. Площа цього багатокутника відображає якісні та кількісні аспекти оцінювання освітнього контенту за всіма його характеристиками одночасно. Форма багатокутників відображає якісні характеристики освітнього вмісту за всіма критеріями одночасно, у той час як форма секторного багатокутника вказує на відповідність конкретному критерію. Різниця між площею круга та площею багатокутника ( $\Delta S_{кр} = S_{кр} - S_{бк}$ ) є часткою, яку необхідно досягти в певний момент для покращення показників (рис. 3.9).

Для забезпечення коректності методу візуалізації необхідне виконання деяких умов, а саме: наявність не менше трьох критеріїв; розміщення початкового критерія на додатній осі ординат.

Розглянуто випадок, коли всі критерії мають однаковий вплив на оцінюваний об'єкт, тобто кут  $\beta$  однаковий для всіх критеріїв, в результаті чого всі відрізки, що відповідають заданим критеріям було рівномірно розподілено.

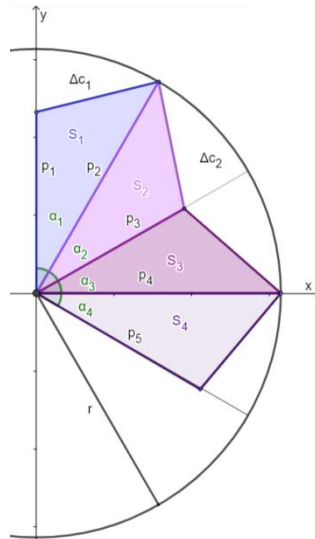


Рис. 3.9. Сектори пелюсткової діаграми

Для обчислення площ секторних пелюсток ( $s_1, \dots, s_6$ ) (рис. 3.9) з кутом ( $\beta$ ) між значеннями відповідних критеріїв ( $p_j$ ) застосовано таку формулу:

$$s_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} p_i p_{i+1} \beta, \quad j = \overline{1, n} \quad (3.6)$$

Відповідно площі секторів круга ( $c_1, \dots, c_6$ ), що складаються з секторних пелюсток із кутом ( $\beta$ ) між його радіусами ( $r$ ) визначено за формулою:

$$c = \pi r^2 \beta, \quad j = \overline{1, n} \quad (3.7)$$

Отже, формула (3.6) дає можливість обчислення площ секторних пелюсток, які використовуються для оцінювання відповідності навчальних матеріалів заданим критеріям.

Довжини відрізків у полярній системі координат відповідають пропорційно значенням відповідних критеріїв, які визначаються через оцінки експертів. З метою проведення оцінювання сформовано три групи експертів: викладачі випускової кафедри, учасники науково-методичної комісії факультету та учасники групи забезпечення освітньої програми. Кожен експерт керувався заданими ваговими коефіцієнтами та мав можливість оцінити навчальні матеріали.

Отримання оцінок від експертів здійснюється за допомогою опитування, в якому вони використовують ранжовану шкалу для оцінювання кожного критерію. Групи експертів визначають відповідні оцінки, які потім ураховуються з використанням відповідних вагових коефіцієнтів (табл. 3.13). Вплив кожного

критерію на комплексний показник варіюється відповідно до індивідуального визначення значень кожним експертом. Коефіцієнти авторитетності, які враховуються у розрахунках, різняться в залежності від кваліфікації експертів (табл. 3.14).

Таблиця 3.13.

## Вагові коефіцієнти критеріїв оцінювання навчальних матеріалів

	Викладачі випускової кафедри	Науково- методична комісія факультету	Група забезпечення ОП	Сума	Середнє значення
відповідність до силабуса	9	10	9	28	9,33
теоретичний матеріал	6	8	7	21	7,00
структурованість матеріалу	9	9	8	26	8,67
приклади розв'язаних завдань	8	10	7	25	8,33
завдання для самостійного виконання	9	7	8	24	8,00
літературні джерела	10	8	9	27	9,00
	51	52	48		

Таблиця 3.14.

## Зведені оцінки експертів за критеріями оцінювання навчальних матеріалів

	Викладачі випускової кафедри	Науково- методична комісія факультету	Група забезпечення ОП	Сума	Середнє значення
відповідність до силабуса	7	6	8	21	7,00
теоретичний матеріал	8	9	7	24	8,00
структурованість матеріалу	10	8	9	27	9,00
приклади розв'язаних завдань	8	7	9	24	8,00
завдання для самостійного виконання	10	8	10	28	9,33
літературні джерела	9	8	10	27	9,00

Таблиця 3.15.

## Ролі експертів і коефіцієнти їхньої авторитетності

Експерти	Абсолютний коефіцієнт вагомості	Відносний коефіцієнт вагомості
Викладачі випускової кафедри	7	0,7
Науково-методична комісія факультету	9	0,9
Група забезпечення ОП	8	0,8

Значення коефіцієнтів важливості виражаються у абсолютних та у відносних одиницях (табл. 3.15). Ці значення використано для врегулювання узагальнених показників навчальних матеріалів, які стосуються експертів. Початкові значення коефіцієнтів авторитетності експертів беруться емпірично, зважаючи на їхню важливість.

Для визначення комплексних показників навчальних матеріалів використано сукупність оцінок, які надано відповідними експертами (табл. 3.15 і 3.16).

Комплексний показник для навчальних матеріалів обчислено за формулою:

$$\tilde{G}_i = \{g_{i,k} = x_{i,k} \cdot w_{i,k} \cdot q_k, k = \overline{1, K}, i = \overline{1, M}\}, \quad (3.8)$$

де  $g_{i,k}$  – комплексний показник навчальних матеріалів,  $x_{i,k}$  – оцінка навчальних матеріалів,  $w_{i,k}$  – вагові коефіцієнти навчальних матеріалів,  $q_k$  – коефіцієнт важливості експертів.

Експерти оцінюють навчальні матеріали за 10-ти бальною шкалою, вагові коефіцієнти критеріїв оцінювання – теж за 10-ти бальною шкалою, а коефіцієнт вагомості експертів оцінено від 0 до 1, тому комплексний показник навчальних матеріалів оцінено значеннями від 0 до 100.

Таблиця 3.16.

Усереднені значення комплексних показників оцінювання навчальних матеріалів

	Викладачі випускової кафедри	Науково- методична комісія факультету	Група забезпечення ОП	Усереднені оцінки
<i>Коефіцієнт вагомості</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>
відповідність до силабуса	44,1	54	57,6	51,90
теоретичний матеріал	33,6	64,8	39,2	45,87
структурованість матеріалу	63	64,8	57,6	61,80
прикладні розв'язаних завдань	44,8	63	50,4	52,73
завдання для самостійного виконання	63	50,4	64	59,13
літературні джерела	63	57,6	72	64,20

Для побудови пелюсткової діаграми за даними таблиці 3.16 враховуються комплексні показники навчальних матеріалів, що слугують відрізками, що



відкладено з початку координат.

Використовуючи значення довжин відрізків, що відповідають критеріям отримано формулу для знаходження пелюсткової діаграми:

$$S_{\text{пд}}^k = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M g_{i,k} \cdot g_{i+1,k} \cdot \beta, \quad k \in K + 1. \quad (3.9)$$

В процесі поділу площі отриманого багатокутника на площу круга, отримано частку якості навчальних матеріалів за оцінками експерта:

$$z_k = \frac{S_{\text{пд}}^k}{\pi r^2}, \quad k \in K + 1 \quad (3.10)$$

де  $r$  – радіус круга,  $z_k$  – частка наявної відповідності навчальних матеріалів заданим критеріям. Як було виокремлено, радіус круга дорівнюватиме 100, оскільки комплексний показник відповідності навчальних матеріалів ( $g_{i,k}$ ) теж дорівнює 100, у разі максимального значення. Незаповнена частина площі сектора свідчить про необхідність покращення освітніх матеріалів за заданим критерієм. На рисунках 3.10-3.13 зафіксовано оцінки відповідності навчальних матеріалів заданим критеріям за допомогою пелюсткових діаграм.

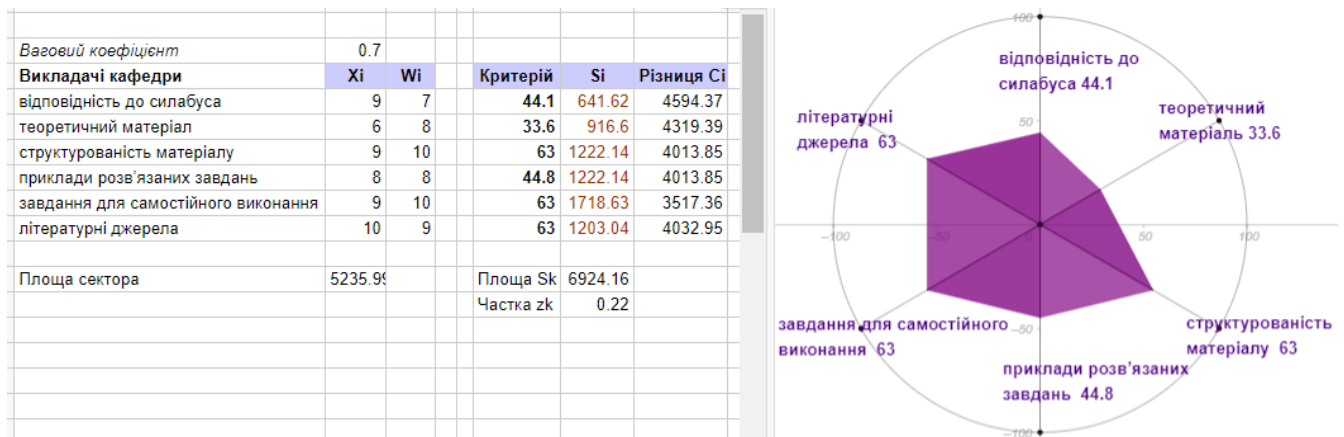


Рис. 3.10. Оцінювання навчальних матеріалів викладачами випускової кафедри

Ваговий коефіцієнт	0.9				
Науково-методична комісія	<b>Xi</b>	<b>Wi</b>	<b>Критерій</b>	<b>Si</b>	<b>Різниця Ci</b>
відповідність до силабуса	10	6	54	1515.2	3720.79
теоретичний матеріал	8	9	64.8	1818.24	3417.75
структурованість матеріалу	9	8	64.8	1767.73	3468.26
приклади розв'язаних завдань	10	7	63	1374.9	3861.09
завдання для самостійного виконання	7	8	50.4	1257.05	3978.93
літературні джерела	8	8	57.6	1346.84	3889.15
Площа сектора	5235.96		Площа Sk	9079.96	
			Частка zk	0.29	



Рис. 3.11. Оцінювання навчальних матеріалів учасниками науково-методичної комісії факультету

Ваговий коефіцієнт	0.8				
Група забезпечення ОП	<b>Xi</b>	<b>Wi</b>	<b>Критерій</b>	<b>Si</b>	<b>Різниця Ci</b>
відповідність до силабуса	9	8	57.6	977.71	4258.28
теоретичний матеріал	7	7	39.2	977.71	4258.28
структурованість матеріалу	8	9	57.6	1257.05	3978.93
приклади розв'язаних завдань	7	9	50.4	1396.73	3839.26
завдання для самостійного виконання	8	10	64	1995.32	3240.67
літературні джерела	9	10	72	1795.79	3440.2
Площа сектора	5235.96		Площа Sk	8400.31	
			Частка zk	0.27	



Рис. 3.12. Оцінювання навчальних матеріалів групою забезпечення ОП

Ваговий коефіцієнт	0.8				
Узагальнені значення	<b>Xi</b>	<b>Wi</b>	<b>Критерій</b>	<b>Si</b>	<b>Різниця Ci</b>
відповідність до силабуса	9.33	7	52.25	1013.56	4222.43
теоретичний матеріал	7	8	44.8	1210.96	4025.03
структурованість матеріалу	8.67	9	62.42	1441.04	3794.94
приклади розв'язаних завдань	8.33	8	53.31	1378.44	3857.55
завдання для самостійного виконання	8	9.33	59.71	1675.47	3560.52
літературні джерела	9	9	64.8	1466.04	3769.95
Площа сектора	5235.96		Площа Sk	8185.51	
			Частка zk	0.26	

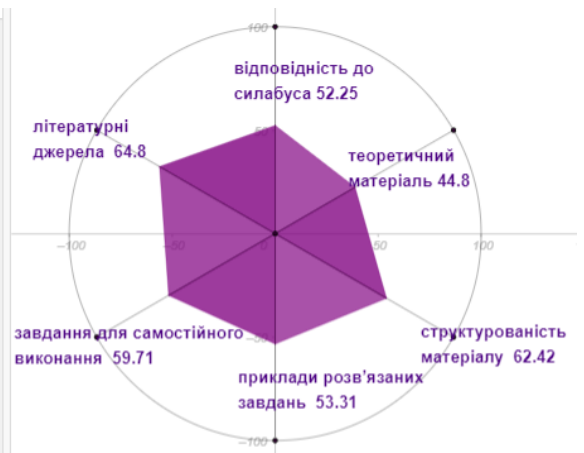


Рис. 3.13. Узагальнені оцінки навчальних матеріалів

За проведеним дослідженням було побудовано ряд пелюсткових діаграм, кожна пелюстка якої відповідає окремому критерію. Значення критеріїв обраховувалися з

використанням узагальнених оцінок експертів, вагових коефіцієнтів критеріїв, а також вагових коефіцієнтів експертів. Описані процедури обчислення площі кожної пелюстки та сектора, в якому вона розташована. Незаповнена частина площі сектора свідчить про необхідність покращення освітніх матеріалів за заданим критерієм.

### **Висновки до розділу 3**

У третьому розділі виконано завдання дисертаційного дослідження, а саме: узагальнено процедури експертного оцінювання ЕНР та освітнього вмісту з використанням формалізму нечіткої логіки, методу аналізу ієрархій та парних порівнянь. Проаналізовано кількісні характеристики експертного оцінювання освітнього вмісту підготовки ІТ-фахівців на основі ОПІ «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» бакалаврського освітнього ступеня. Процес вибору ЕНР та освітнього вмісту проілюстровано з використанням методу аналізу ієрархій. В процесі використання даного методу оцінювалися вісім СКМ, для них було визначено сім критеріїв. Проведено всі необхідні обчислення та отримано найактуальніші альтернативи для використання в навчальному процесі. Досліджено окремі аспекти використання формального апарату теорії нечіткої логіки для заданих критеріїв оцінювання освітнього вмісту з метою формування рейтингового переліку альтернатив. Запропонований метод доцільно використовувати для великої кількості критеріїв. Використання даного методу показано на прикладі оцінювання освітнього вмісту та ЕНР.

Дані дослідження дали підстави стверджувати, що процес оцінювання освітнього вмісту є доволі трудомістким і часовитратним. В переважній більшості ситуацій процеси оцінювання освітнього вмісту виконуються неналежним чином або і взагалі не проводяться. Зроблені висновки були підставою до розроблення інформаційно-технологічного інструментарію покликаного значно вдосконалити, спростити та пришвидшити реалізацію процесів експертного оцінювання ЕНР та освітнього вмісту в експертних освітніх середовищах.

В цьому розділі досліджено компоненти візуалізації оцінювання навчальних матеріалів, суть якої полягає в тому, що результат оцінювання подається множиною

пелюсткових діаграм, побудованих за оцінками окремих експертів із врахуванням важливості кожного з критеріїв оцінювання та авторитетності експертів.

Пророблені дослідження стали основою для використання компонента візуалізації даних на основі пелюсткових діаграм у розробленому інформаційно-технологічному інструментарії для експертного оцінювання ЕНР та освітнього вмісту.

## **РОЗДІЛ 4.**

### **ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОТОТИПУ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ**

У четвертому розділі сформовано структуру прототипу рекомендаційної системи, в якій реалізовані методи, моделі та компоненти інформаційних технологій оцінювання та вибору ЕНР та освітнього контенту для систем електронного навчання. Розглянуто особливості програмної реалізації системи. Подано результати використання запропонованих моделей, методів та компонентів інформаційних технологій, опис яких був наведений у попередніх розділах.

#### **4.1. Функціональне призначення**

Запропоновані в попередніх розділах моделі та методи стали основою для розроблення компонентів інформаційних технологій, які використовуються як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи, яка реалізовує інформаційні технології надання користувачеві найбільш релевантної для нього інформації щодо вибору ЕНР та освітнього вмісту.

Призначення прототипу рекомендаційної системи оцінювання освітнього вмісту та навчальних ресурсів полягає в наданні користувачам персоналізованих рекомендацій щодо вибору найкращих ЕНР та освітнього вмісту в конкретних навчальних ситуаціях. Система спрямована на забезпечення користувачів якісними та релевантними ресурсами, що відповідають їхнім потребам і підвищують ефективність навчання [1].

Сферою застосування компонентів інформаційних технологій, які зібрані в інформаційну систему є навчальний процес. Призначений прототип рекомендаційної системи для експертних середовищ предметних кафедр ЗЗСО, педагогічних рад, циклових комісій, педагогічних колективів кафедр, груп забезпечення ОП, науково-методичних комісій факультетів, науково-методичних рад інститутів та університетів, науково-технічних рад інститутів та університетів, учених рад факультетів, інститутів та університетів, загалом для всіх експертних

спільнот, яким потрібно ухвалювати рішення щодо вибору та оцінювання ЕНР та освітнього контенту.

Функціональні вимоги компонентів інформаційних технологій, які використовуються при побудові прототипу рекомендаційної системи зображено на рисунку 4.1 у вигляді UML діаграми варіантів використання та виокремлено основних акторів у процесі роботи з рекомендаційною системою. UML діаграми є потужним інструментом для візуалізації та спрощення розуміння концептуальної моделі системи. Вони дають змогу описати різні аспекти функціонування прототипу рекомендаційної системи такі, як її структуру, поведінку та взаємодію з користувачами. Зокрема, UML діаграми включають діаграми класів, діаграми послідовності, діаграми діяльності та інші. Використання UML діаграм сприяє більш ефективному процесу розроблення інформаційної системи.

На діаграмі варіантів використання прототипу рекомендаційної системи наявні два актори «Експерт» та «Адміністратор». «Експерт» має авторизацію в системі та повний доступ до всіх функцій та можливостей.

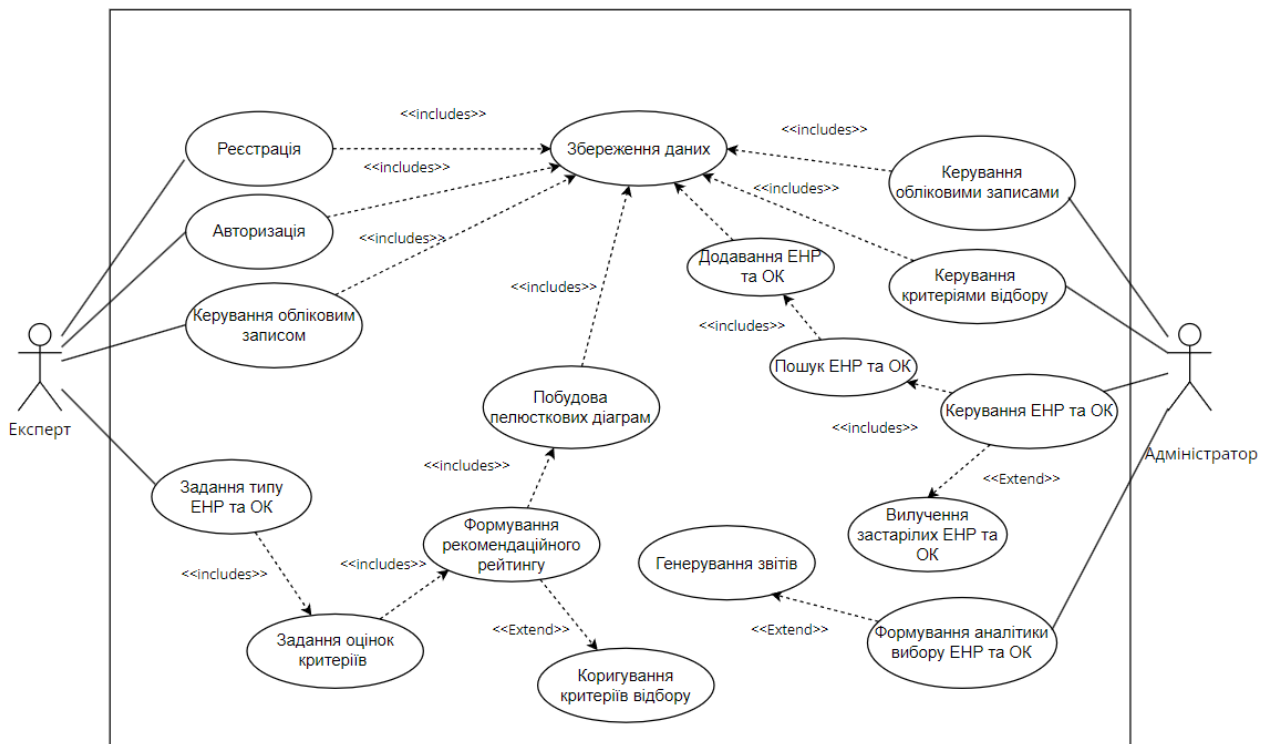


Рис. 4.1. Діаграма варіантів використання прототипу рекомендаційної системи оцінювання освітнього контенту

Для експертів передбачена можливість створення профілю користувача, на основі якого надаються початкові рекомендації, формування запиту для вибору ресурсів та освітнього вмісту, з урахуванням типу та оцінок за кожним критерієм та отримання переліку рекомендованих альтернатив. Крім того, експерт має можливість змінювати параметри власного профілю, тобто керувати своїм обліковим записом.

«Адміністратор» відповідає за налаштування прототипу рекомендаційної системи, керування користувачами, а також має можливість отримувати аналітичні дані про взаємодію користувачів із системою. Множина варіантів використання: «Керування обліковими записами»; «Керування критеріями відбору»; «Керування електронними навчальними ресурсами та освітнім контентом»; «Формування аналітики відбору ЕНР та освітнього контенту».

На рисунку 4.2 показана діаграма послідовності прототипу рекомендаційної системи для вибору та оцінювання навчальних ресурсів та освітнього вмісту.

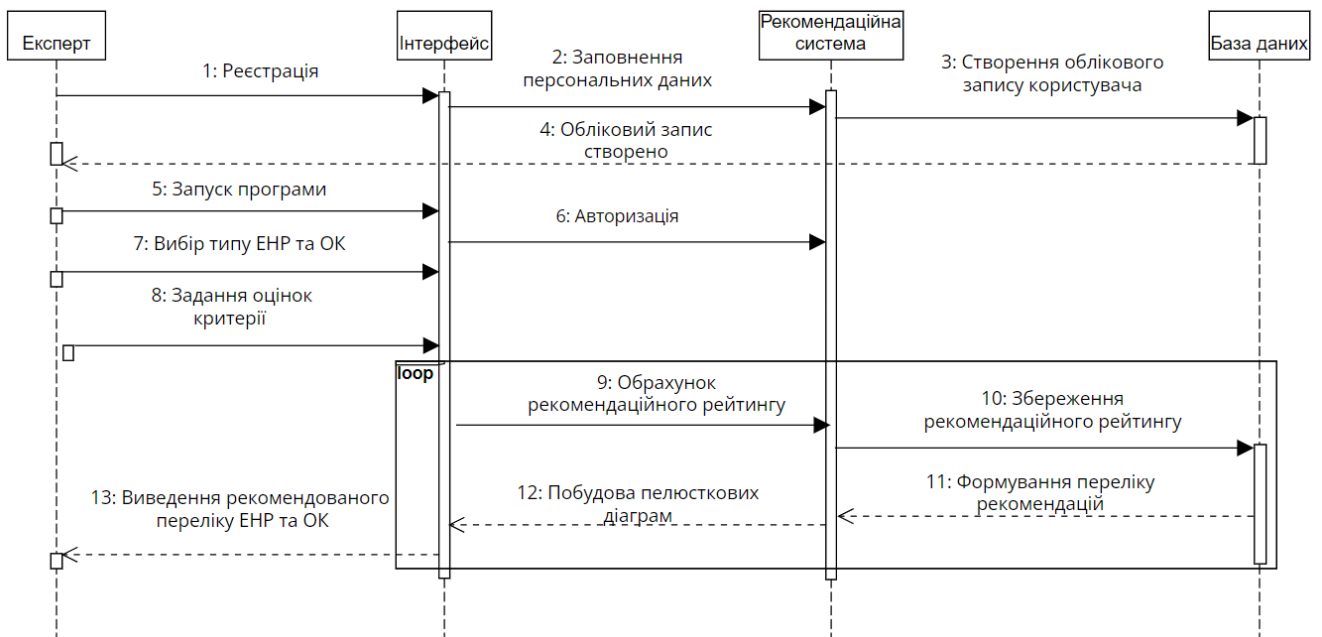


Рис. 4.2. Діаграма послідовності прототипу рекомендаційної системи вибору ЕНР та освітнього вмісту

Під час створення користувачем запиту на рекомендацію відповідно до типу та заданих оцінок за кожним критерієм відбору ЕНР та ОК, контролер перевіряє метадані й описи, наявних у базі даних ресурсів та освітнього вмісту, формує

матрицю попарного порівняння та перетворює дані в нечітку матрицю. Система, використовуючи формалізми нечітких множин формує рекомендаційний рейтинг. Електронні навчальні ресурси та освітній зміст рекомендовані користувачам, якщо мають високі показники за заданими критеріями, особливо з огляду на важливість критеріїв.

Діаграма послідовності відображає взаємодію між експертами, рекомендаційною системою та базою даних під час роботи моделей, методів та компонент інформаційних технологій, які використовуються для побудови прототипу рекомендаційної системи оцінювання ЕНР та освітнього змісту.

#### **4.2. Структурно-функціональна модель прототипу рекомендаційної системи**

Прототип рекомендаційної системи розроблено на основі трирівневої архітектури (рис. 4.3). Це дало змогу розділити систему на взаємопов'язані частини, розподілити між ними системні функції та відокремити інтерфейс користувача від даних.

Трирівнева архітектура включає:

- *рівень відображення* – це рівень, на якому користувач сприймає інформацію;
- *рівень застосувань* – це рівень, на якому розташовані інструменти управління рекомендаційною системою, а також компоненти: встановлення типу ЕНР та ОК, пошуку ЕНР та ОК, відображення результатів та звітів;
- *рівень керування даними* – це рівень, на якому фізично зберігаються дані, з підсистемами визначення типу ЕНР та ОК, аналізу ЕНР та ОК, формування результатів та формування звіту користувача.

**Підсистема визначення типу ЕНР та ОК** дає змогу користувачеві задати тип ЕНР та вибрати критерії, за якими мають відповідати навчальні ресурси. Підсистема включає модуль опрацювання результатів задання типу ЕНР та ОК, базу даних типів навчальних ресурсів та базу даних критеріїв ЕНР та ОК.

**БД типів ЕНР та ОК** призначена для зберігання всіх типів освітніх ресурсів та освітнього змісту.



*БД критеріїв ЕНР та ОК* призначена для зберігання наборів критеріїв, за якими оцінюються електронні навчальні ресурси та освітній вміст.

*Модуль опрацювання результатів задання типів ЕНР та ОК* здійснює опрацювання заданих типів та критеріїв.

***Підсистема аналізу ЕНР та ОК*** складається з OLAP-сховища, баз даних ЕНР та освітнього вмісту, модуля завантаження даних та модуля аналізу ЕНР та ОК.

*OLAP-сховище* містить вихідні дані для аналізу всіх ресурсів та освітнього вмісту, структура даних є багатовимірною і адаптованою для проведення процедур OLAP-аналізу.

Основна функція *модуля завантаження даних* – це формування актуальних даних у сховищі, опрацювання запитів до багатовимірних даних, а також забезпечення зберігання даних.

*Модуль аналізу ЕНР та ОК* здійснює опрацювання результатів багатовимірного аналізу даних щодо функціоналу запропонованих ресурсів та освітнього вмісту.

***Підсистема формування результатів*** призначена для формування рекомендаційного рейтингу ЕНР та візуалізації даних. Підсистема містить модуль обчислення рекомендаційного рейтингу, модуль побудови пелюсткових діаграм та модуль формування результатів.

*Модуль обчислення рекомендаційного рейтингу* здійснює опрацювання даних за заданими критеріями, застосовуючи методи нечіткої логіки.

*Модуль побудови пелюсткових діаграм* здійснює процес візуалізації результатів для кожного вибраного ЕНР та ОК за значенням критеріїв.

*Модуль формування результатів* виводить перелік ЕНР та ОК від найбільш рекомендованого до найменш рекомендованого.

***Підсистема формування звіту*** призначена для формування звітів щодо аналітики запитів ЕНР та ОК. Підсистема містить базу даних профілів користувачів, базу даних запитів користувачів та модуль формування звіту.

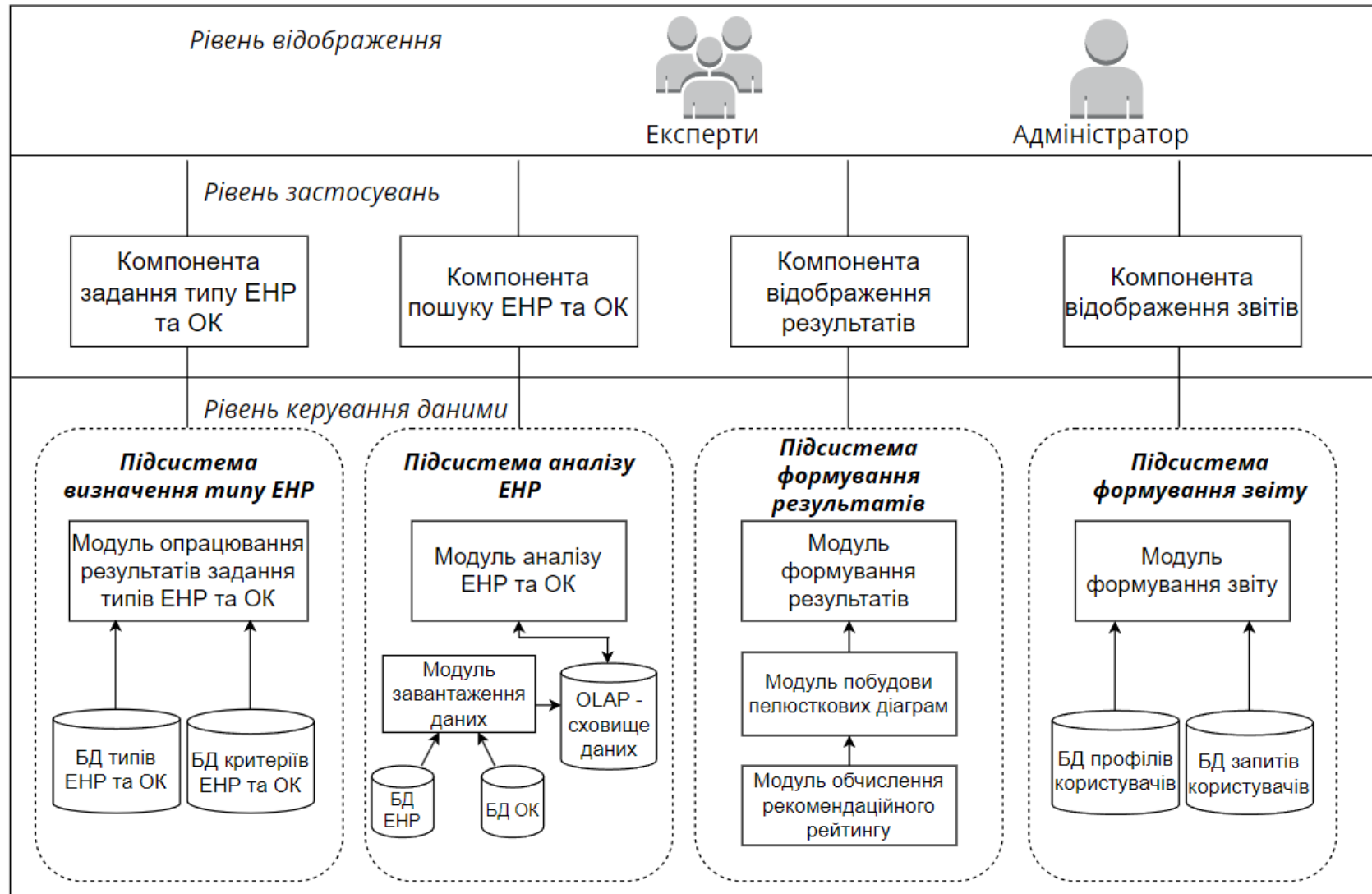


Рис. 4.3. Структура прототипу рекомендаційної системи вибору ЕНР та ОК

На рисунку 4.4 показано діаграму діяльності прототипу рекомендаційної системи.

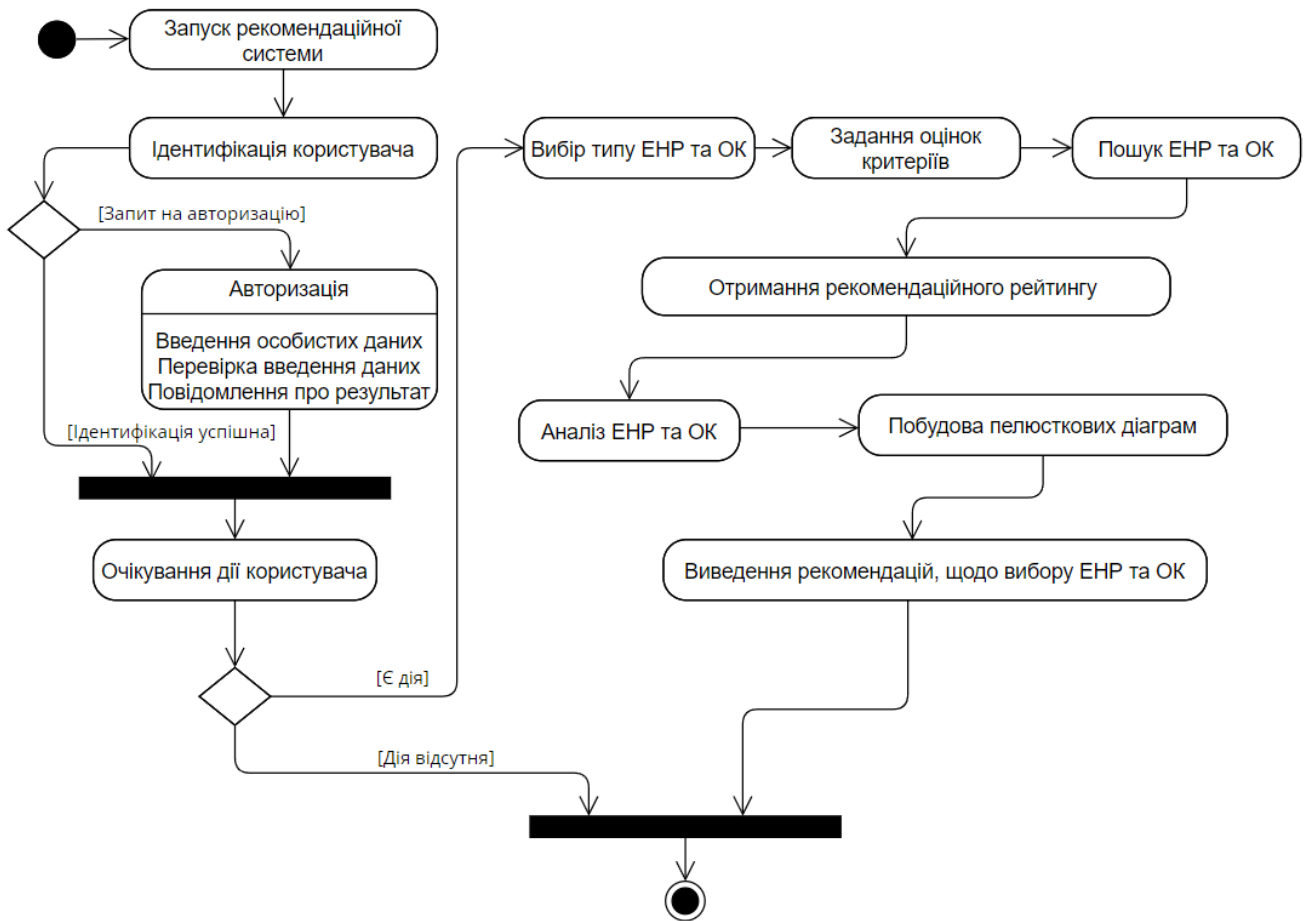


Рис. 4.4. Діаграма діяльності прототипу рекомендаційної системи

Діаграма діяльності показує послідовні етапи дії в рекомендаційній системі, починаючи з вибору експертом типу ЕНР та ОК і закінчуючи побудовою пелюсткової діаграми для кожного рекомендованого ресурсу. Запропонований процес допомагає експертам приймати поінформовані рішення щодо вибору найкращих ресурсів, які відповідають їхнім вимогам та критеріям оцінювання.

### 4.3. Інформаційні технології функціонування прототипу рекомендаційної системи оцінювання ЕНР та освітнього вмісту

Інформаційні технології функціонування прототипу рекомендаційної системи оцінювання ЕНР та освітнього вмісту передбачають використання різних технологій, алгоритмів та методів для збирання, опрацювання та надання персоналізованих рекомендацій користувачам.

Основна ідея прототипу рекомендаційної системи полягає в збиранні експертних оцінок для ЕНР та освітнього вмісту за певними критеріями. На основі цих оцінок система будує рекомендаційний рейтинг ресурсів, впорядкований від найбільш до найменш рекомендованих.

Крім того, система забезпечує візуалізацію даних, створюючи пелюсткову діаграму для кожного ресурсу, де кожна пелюстка відображає значення критерію на основі його важливості. Це дає змогу користувачам оцінити, яким саме аспектам відповідає кожен рекомендований ресурс, і зробити більш обґрунтований вибір.

Методи, моделі та компоненти інформаційних технологій, які використовуються при побудові прототипу рекомендаційної системи зорієнтовані на експертні середовища предметних кафедр ЗЗСО, педагогічних рад, циклових комісій, педагогічних колективів кафедр, груп забезпечення ОП, науково-методичних комісій факультетів, науково-методичних рад інститутів та університетів, науково-технічних рад інститутів та університетів, учених рад факультетів, інститутів та університетів.

Загалом їх функціонування зорієнтоване на потреби освітянських експертних спільнот, яким потрібно ухвалювати фахові рішення щодо вибору та рекомендування для використання ЕНР та освітнього вмісту в системах електронного навчання.

Нижче наведені основні компоненти інформаційних технологій функціонування прототипу рекомендаційної системи:

1. відбір ЕНР та освітнього вмісту;
2. введення експертних оцінок за критеріями;
3. розрахунок рекомендаційних рейтингів;
4. формування списку рекомендованих ресурсів;
5. візуалізація даних;
6. авторизація та організація надання доступу;
7. формування адміністративного інтерфейсу.

### 4.3.1. Відбір електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту

Процес пошуку ЕНР за заданими критеріями здійснюється через інтернет. В системі використовуються такі критерії, як інтерактивність, мультимедійність, можливість модифікації, кросплатформеність, вільне розповсюдження, архітектура, функціональність, кількість охоплених тем, відповідність предметним областям та відповідність контенту освітнім стандартам та інші. Результати пошуку фільтруються, щоб надати найбільш точні та релевантні ресурси за типом ЕНР: ресурси для навчання математики, ресурси для демонстрації навчальних матеріалів тощо.

Після пошуку та відбору ЕНР, система зберігає загальну інформацію про кожен ресурс. Ключові атрибути такі, як назва, опис, покликання та інша метаінформація, пов'язана з кожним ресурсом, зберігаються в базі даних. База даних містить необмежену кількість ЕНР.

Системний адміністратор має можливість оновлювати або вилучати наявні записи про ресурси в базі даних. Це дає можливість підтримувати актуальну й точну інформацію про ресурси.

Крім загальної інформації, система зберігає метадані для кожного ресурсу, які сприяють у вдосконаленні внутрішніх організаційних процесів та покращенні рекомендацій. Метадані включають інформацію про кількість користувачів, що скористалися ресурсом, час доступу, оцінки експертів тощо.

Інтерфейс користувача робить процес пошуку та вибору ресурсів зручним та інтуїтивно зрозумілим. Користувачі використовують фільтри для знаходження найкращих ресурсів.

Для збирання інформації про електронні навчальні ресурси із мережі інтернет використано метод вебскрапінг. Вебскрапінг – це процес автоматичного збирання даних із вебсайтів, використовується для отримання структурованої інформації з вебсайтів такої, як тексти, таблиці, зображення, відео тощо. Він використовується для вилучення структурованої інформації із сайтів. Процес вебскрапінга автоматизовано з використанням програм, які називаються вебскраперами, або ботами.

Основні етапи вебскрапінга зображені на рисунку 4.5:

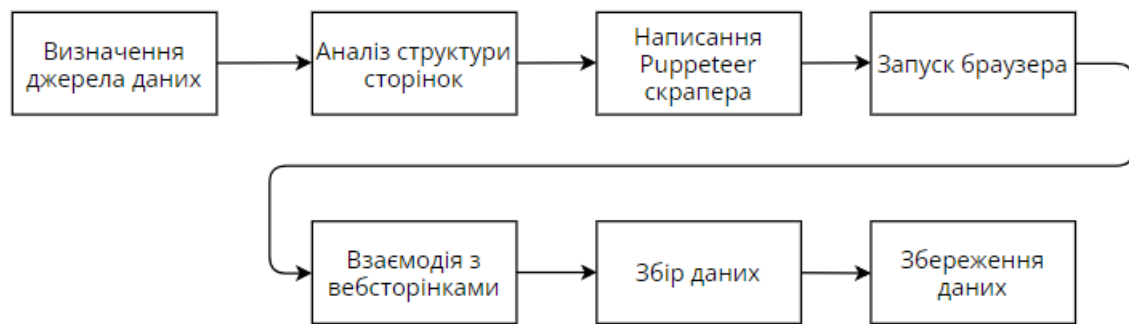


Рис. 4.5. Схема роботи вебскрапінга з використанням Puppeteer

*Етап 1. Визначення джерел даних.* Визначити, з яких вебсайтів потрібно збирати дані. Важливо врахувати правові та етичні аспекти скрапінгу, оскільки не всі вебсайти забезпечують автоматичний збір своїх даних.

Алгоритм визначення джерел даних:

1. Визначення тематики чи галузі, для якої потрібні дані (електронні навчальні ресурси для навчання математики).
2. Вибір вебсайтів, які містять інформацію про електронні навчальні ресурси з обраної тематики (навчальні платформи, університетські сторінки, видавництва, блоги тощо).
3. Проведення аналізу доступності даних. Деякі вебсайти можуть обмежувати доступ або вимагати авторизації.
4. Оцінювання розміру джерела даних. Великий обсяг даних потребує додаткових ресурсів.
5. Перевірка якості та надійності даних.
6. Перевірка етичних аспектів. Варто впевнитися, що авторські права та інші етичні аспекти не порушуються.

*Етап 2. Проведення аналізу структури сторінок.* Проаналізувати структуру та розміщення даних, які потрібно зібрати. Це допомагає визначити, які елементи сторінки потрібно знайти та, як отримати доступ до цих даних.

Алгоритм аналізу структури сторінок:

1. Визначення цільових даних (текстові дані, зображення, покликання, таблиці та інші типи контенту).

2. Перегляд джерела даних. Відкрити джерело даних у веббраузері й дослідити структуру сторінок. Для цього варто скористатися режимом інспектора веббраузера, щоби переглянути HTML-код сторінок та CSS стилі.

3. Вивчення DOM-структури. Переглянути DOM-структуру сторінок для знаходження елементів із потрібними даними.

4. Використання селекторів. Використати CSS-селектори або XPath для вибору конкретних елементів на сторінці з потрібними даними. Селектори сприяють у знаходженні елементів за їхніми атрибутами, класами та іншими характеристиками.

5. Взаємодія зі сторінкою. Протестувати, як сторінка реагує на взаємодію. Варто врахувати, що деякі дані можуть завантажуватися динамічно з використанням JavaScript після відображення сторінки.

6. Опрацювання даних. Розробити скрапер, який збирає і опрацьовує дані зі сторінок.

*Етап 3. Написання Puppeteer скрапера.* Розробити скрапер із використанням Puppeteer, який дозволяє контролювати браузер Chrome, автоматично сканувати вебсторінки, знаходить та отримувати потрібні дані.

Щоб написати скрапер із використанням Puppeteer, потрібно встановити Node.js та бібліотеку Puppeteer.

Написати скрапер можна, використовуючи код:

```
const puppeteer = require('puppeteer');

(async () => {
  try {
    // Відкриття браузера
    const browser = await puppeteer.launch({ headless: true });
    const page = await browser.newPage();

    // Перехід на сторінку джерела даних
    await page.goto('https://example.com');

    // Виконання дій на сторінці (натискання кнопки, заповнення форми тощо)
    await page.click('#button-id');
    await page.type('#input-id', 'your search query');

    // Очікування завантаження даних
    await page.waitForTimeout(3000);
```

```

// Збір даних
const data = await page.evaluate(() => {
  // Виконання JavaScript-коду у контексті сторінки для збору даних
  const elements = document.querySelectorAll('.data-element');
  const dataArray = Array.from(elements).map(element => element.textContent);
  return dataArray;
});

console.log(data);

// Закриття браузера
await browser.close();
} catch (err) {
  console.error('Помилка:', err);
}
})();

```

У цьому випадку використано Puppeteer, щоб відкрити браузер, перейти на сторінку `https://example.com`, виконати необхідні дії на сторінці (наприклад, натиснути кнопку та заповнити поле пошуку), зачекати, коли дані будуть завантажені, і зібрати дані зі сторінки за допомогою `page.evaluate()`.

Після запуску скрапера, результати збирання даних розміщуватимуться у консолі.

*Етап 4. Завантаження браузера.* Скрапер завантажує браузер, для можливості взаємодії з вебсторінками.

Одним із головних компонентів вебскрапера є браузер, який використовується для взаємодії з вебсторінками. Puppeteer керує браузером Chrome та виконує певні дії на сторінці і зчитує дані.

Алгоритм роботи полягає в подальшому:

1. Відкриття браузера. Першим кроком є запуск браузера з використанням Puppeteer. Бібліотека Puppeteer надає метод `puppeteer.launch()`, який уможливорює розкрити новий тип браузера.

```

const puppeteer = require('puppeteer');

(async () => {
  const browser = await puppeteer.launch();
  // Далі можна використовувати змінну browser для управління браузером
})();

```



2. Створення нової сторінки. Після запуску браузера можна створити новий тип сторінки з використанням методу `browser.newPage()`. Нова сторінка уможливіть перехід на різні URL-адреси, виконуючи дії на сторінці та зчитуючи дані.

```
const page = await browser.newPage();
```

3. Взаємодія зі сторінкою. Після створення сторінки є можливість взаємодії з нею, наприклад, перейти на URL-адресу, виконати натискання, заповнити форми, прокрутити сторінку та інші дії.

```
await page.goto('https://example.com');
await page.click('#button-id');
await page.type('#input-id', 'your search query');
```

4. Збирання даних. Puppeteer зчитує дані зі сторінки з використанням методу `page.evaluate()`. Можна виконати JavaScript-код у контексті сторінки для пошуку та виведення потрібних елементів або даних.

```
const data = await page.evaluate(() => {
  const elements = document.querySelectorAll('.data-element');
  const dataArray = Array.from(elements).map(element => element.textContent);
  return dataArray;
});
```

5. Закриття браузера. Після завершення роботи з браузером важливо закрити його, щоб вивільнити ресурси. Використано метод `browser.close()` для закриття браузера.

```
await browser.close();
```

Отже, Puppeteer дає змогу контролювати браузер, взаємодіяти з вебсторінками та зчитувати дані, що слугує в реалізації вебскрапінгу та інших автоматизованих завданнях.

*Етап 5. Взаємодія з вебсторінками.* Скрапер взаємодіє з вебсторінками, виконуючи дії, подібні до дій користувача в браузері, а саме натискання кнопок, заповнення форм, перехід за покликаннями тощо.

Типові дії, які скрапер виконує:

1. Перехід на сторінку (метод `page.goto()`).

2. Натискання на елемент (метод `page.click()`).

3. Заповнення форм (метод `page.type()`).

4. Зчитування даних (метод `page.evaluate()`).

5. Прокручування сторінки (метод `page.evaluate()`).

6. Взаємодія з JavaScript-подіями. Використання Puppeteer дає змогу опрацьовувати JavaScript-події на сторінці такі, як натискання або змінювання значення поля введення.

Загалом, Puppeteer виконує дії подібно до дій користувача в браузері. Це дає змогу скраперу зчитувати та збирати дані з різних вебсторінок, що робить його потужним інструментом для вебскрапінгу та автоматизації дій на вебсторінках.

*Етап 6. Збирання даних.* Скрапер збирає необхідні дані зі сторінок.

Після збирання скрапер виводить дані в консоль, зберігає у файл, завантажує на сервер для опрацювання.

*Етап 7. Збереження даних.* Зібрані дані зберігаються в базі MongoDB у відповідному форматі.

MongoDB – це СУБД, яка використовує концепцію NoSQL. Це дає змогу зберігати неструктуровані або напівструктуровані дані, що є звичайною ситуацією в процесі вебскрапінгу.

Наведено фрагмент збереження зібраних даних в MongoDB з використанням Node.js та Mongoose:

```
const mongoose = require('mongoose');

mongoose.connect('mongodb://localhost:27017/my_database', {
  useNewUrlParser: true,
  useUnifiedTopology: true,
});

// Оголошення схеми документа
const dataSchema = new mongoose.Schema({
  title: String,
  description: String,
  url: String,
  // Інші поля за потреби
});

// Створення моделі на основі схеми
```

```
const DataModel = mongoose.model('Data', dataSchema);

const data = {
  title: 'Sample Title',
  description: 'Sample Description',
  url: 'https://example.com',
};

// Збереження даних у базі даних
const newData = new DataModel(data);
newData.save((err, savedData) => {
  if (err) {
    console.error('Помилка при збереженні даних:', err);
  } else {
    console.log('Дані успішно збережено:', savedData);
  }
});
```

У цьому випадку під час підключення до бази даних MongoDB, визначається схема документа, створюється модель на основі схеми й зібрані дані зберігаються в базі.

Для створення Puppeteer скрапера використано такі інструменти, як Node.js та бібліотеку Puppeteer. Зазначено перелік використаних інструментів:

1. Node.js – середовище виконання JavaScript, яке дає змогу запускати JavaScript-код на сервері. Node.js сприяє використанню Puppeteer для управління браузером та скрапінгу вебсторінок.

2. Puppeteer – бібліотека Node.js, яка сприяє в автоматизації взаємодії з вебсторінками, виконанні дій на сторінках та збиранні даних для подальшого використання.

3. MongoDB – документоорієнтована база даних NoSQL, яка використовується для зберігання зібраних даних.

4. Mongoose – бібліотека Node.js, яка допомагає спростити операції з MongoDB, що дає змогу оголошувати схеми документів та створювати моделі для зберігання та отримання даних.

### 4.3.2. Введення експертних оцінок за критеріями

Експерти мають можливість авторизуватися в системі, щоб отримати доступ до функціоналу оцінювання ресурсів. Виокремлені ролі для експертів дають змогу оцінювати ресурси та зберігати свої оцінки.

Експерти мають змогу вибрати задані критерії оцінювання для кожного електронного ресурсу. Передбачені такі критерії, як інтерактивність, мультимедійність, можливість модифікації, кросплатформеність, вільне розповсюдження, архітектура, функціональність, кількість охоплених тем, відповідність предметним галузям та відповідність контенту освітнім стандартам та інші.

Передбачена можливість зміни критеріїв, що відповідають заданому типу ЕНР чи освітнього вмісту.

Експерти мають можливість оцінювати необхідні ресурси відповідно до вибраних критеріїв. В системі передбачена функція збереження оцінок, заданих кожним екпертом, для подальшого використання в процесі розрахунку рекомендаційного рейтингу.

В системі забезпечується прозорість та надійність процесу оцінювання через збереження історії оцінок, які надаються кожним екпертом. Це дає змогу здійснювати аналіз та перевірку правильності оцінок і забезпечує високу якість рекомендацій.

Системний адміністратор має можливість керувати доступом експертів та надавати їм належний контроль над процесом оцінювання.

Експертне оцінювання є базовим етапом для створення високоякісного рекомендаційного рейтингу, що відповідає потребам користувачів.

Прототип рекомендаційної системи, створений у вигляді кілька сторінкового вебзастосунку використовується як спосіб для введення експертами оцінок за кожним критерієм для кожного ЕНР та освітнього контенту.

Алгоритм роботи прототипу рекомендаційної системи для збирання експертних оцінок за критеріями для кожного електронного навчального ресурсу включає такі етапи:

### 1. Відображення вебзастосунку:

- Користувач (експерт) відкриває вебзастосунок для введення оцінок.
- На сторінці вебзастосунку відображено функціонал для вибору типу електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту.

### 2. Вибір ЕНР та ОК:

- Користувач обирає тип електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту.
- На сторінці вебзастосунку відображається перелік електронних навчальних ресурсів, які потрібно оцінити.

### 3. Введення оцінок:

- На сторінці вебзастосунку відображається перелік критеріїв для оцінювання кожного ресурсу.
- Користувач задає оцінки за кожним з критеріїв від 1 до 9, виражаючи ступінь важливості чи відповідності цього критерію для даного ресурсу.
- Дані про оцінки зберігаються відразу після введення, з метою уникнення втрати даних в разі випадкового закриття вебзастосунку.

### 4. Підсумковий етап:

- Після введення оцінок для всіх потрібних ЕНР, у вебзастосунку передбачена можливість перегляду та підтвердження введених даних.
- Користувач може відредагувати задані оцінки.

### 5. Збереження даних:

- Після підтвердження, задані оцінки зберігаються в базі даних для подальшого опрацювання.
- Збережені оцінки використовуються в прототипі рекомендаційної системи для розрахунку рекомендацій для користувачів.

Оцінки, задані експертами, використовуються системою для розрахунку ступеня відповідності кожного ресурсу критеріям та визначення рекомендацій.

Можливість введення оцінок для кожного критерію і для кожного ЕНР допомагає забезпечити персоналізовані та точні рекомендації для користувачів на основі їхніх уподобань та вимог до навчальних ресурсів.

Для організації вебзастосунку для введення оцінок експертів використано такі засоби:

1. Express.js – вебфреймворк, який дає змогу створювати вебсервери і опрацьовувати HTTP-запити.
2. CSS використано для стилізації вебзастосунку та зроблення його привабливішим для користувачів.
3. Bootstrap використано для створення адаптивного та зручного інтерфейсу.
4. MongoDB використано для збереження оцінок експертів за критеріями.

### **4.3.3. Розрахунок рекомендаційних рейтингів**

Розрахунок рекомендаційних рейтингів для електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту здійснюється на основі оцінок, що надаються експертами за критеріями, та їхньою важливістю.

Основні етапи розрахунку рекомендаційного рейтингу такі:

1. *Використання експертних оцінок.* Система використовує оцінки, отримані від експертів за кожним із критеріїв для ЕНР. Експертні оцінки – це числові дані від 9 до 1, де 9 – це абсолютна відповідність, 1 – немає відповідності.

2. *Визначення важливості критеріїв.* Процес визначення важливості кожного критерію щодо інших здійснюється із використанням методу парних порівнянь. Експерти порівнюють критерії між собою і вказують, який із критеріїв є важливішим за інші.

3. *Нормалізація оцінок.* Експертні оцінки мають різні діапазони значень, тому вони нормалізовані до одного діапазону. Це дає змогу однаково враховувати значення різних критеріїв під час розрахунку рейтингу.

4. *Розрахунок рейтингу.* Рекомендаційний рейтинг розраховується з використанням формалізмів нечіткої логіки, що опрацьовують експертні оцінки та визначають рівень рекомендаційності кожного ресурсу. Використовуючи методи нечіткої логіки можна враховувати не тільки точні числові значення, але і змінні

ступеня відповідності, що є важливим для оцінювання ЕНР із багатьох критеріїв. З використанням нечітких правил та інтерпретації нечітких термів, система генерує рейтинг кожного ресурсу на основі агрегованих експертних оцінок.

5. *Сортування рейтингу.* Отримані результати сортуються у порядку зменшення, тобто від найбільш рекомендованого до найменш рекомендованого ресурсу. Таким способом, користувач отримує перелік ЕНР у вигляді рекомендаційного рейтингу.

Такий алгоритм дає змогу враховувати важливість критеріїв та експертних оцінок, що уможлиблює створення персоналізованих рекомендацій для користувачів з урахуванням їхніх вподобань та потреб. Змінюючи експертні оцінки або важливості критеріїв, рекомендаційний рейтинг також змінюватиметься, що дає змогу адаптувати рекомендації до змінних умов і вимог користувачів.

*Методи, що використано для розрахунку рекомендаційного рейтингу:*

*Метод нечіткої логіки* використовується для розрахунку рекомендаційного рейтингу. З використанням заданого методу забезпечується здійснення оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту, з урахуванням нечітких та неоднозначних аспектів, які часто трапляються в процесі оцінювання. У методі нечіткої логіки використовуються нечіткі множини та правила для опису нечітких залежностей між даними.

Алгоритм використання методу нечіткої логіки для розрахунку рекомендаційного рейтингу виглядає так (рис. 4.6):

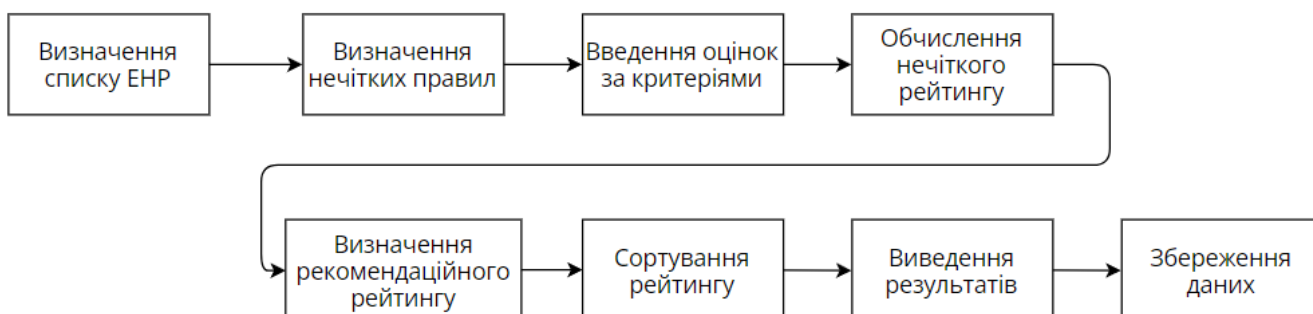


Рис. 4.6. Алгоритм використання методу нечіткої логіки для розрахунку рекомендаційного рейтингу

1. Визначення списку електронних навчальних ресурсів за заданим типом.

2. Визначення нечітких правил, які описують взаємозв'язок між критеріями та їхньою важливістю.

3. Введення оцінок за критеріями для кожного ЕНР, використовуючи нечіткі множини для вираження неоднозначності та нечіткості.

4. Застосування нечітких правил та алгоритмів нечіткої логіки для обчислення нечіткого рейтингу для кожного ЕНР.

5. Агрегація нечітких рейтингів з урахуванням важливості кожного з критеріїв для отримання рекомендаційного рейтингу.

6. Сортування отриманих рейтингів у порядку зменшення для того, щоб отримати рекомендаційний рейтинг.

7. Відображення переліку рекомендованих ЕНР користувачам за їхнім рейтингом.

8. Збереження даних для подальшого моніторингу та аналізу роботи прототипу рекомендаційної системи.

Використання методів нечіткої логіки дає змогу гнучкіше та точніше оцінювати електронні навчальні ресурси та освітній контент з урахуванням неоднозначності та невизначеності в експертних оцінках, що підвищує якість рекомендацій.

#### *Метод парних порівнянь*

Використання методу парних порівнянь для визначення важливості критеріїв передбачає процес порівняння кожного критерію щодо іншого для визначення відносної важливості критеріїв. Такий метод допомагає зрозуміти, які критерії є більш важливими або прийнятними в порівнянні з іншими.

Алгоритм використання методу парних порівнянь для визначення важливості критеріїв включає етапи (рис. 4.7):

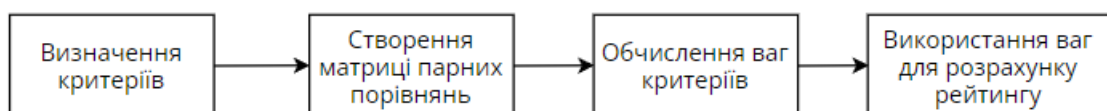


Рис. 4.7. Алгоритм використання методу парних порівнянь

1. Визначення критеріїв, за якими оцінюються ресурси.



2. Створення матриці парних порівнянь, де експерти порівнюють кожен критерій щодо іншого і встановлюють, який із критеріїв вважається важливішим. Результатом є матриця, де кожен елемент подає відносну вагу одного критерію в порівнянні з іншими.

3. Обчислення ваги критеріїв відбувається на основі матриці парних порівнянь обчислюються ваги критеріїв. Цей процес організовано з використанням методів аналізу власних векторів таких, як метод Сааті.

4. Ваги критеріїв використовуються для розрахунку рейтингу ЕНР на основі оцінок, наданих експертами за заданими критеріями.

Використання методу парних порівнянь допомагає погодити думки експертів та врахувати їхню відносну важливість для кожного критерію. Це дає змогу створити об'єктивніші рекомендації для користувачів.

#### **4.3.4. Формування списку рекомендованих ресурсів**

Формування списку рекомендованих ресурсів відбувається на основі розрахунків рейтингу для ЕНР та ОК. Після опрацювання оцінок експертів та визначення важливості критеріїв, застосовано підходи для формування списку рекомендованих ресурсів.

Алгоритм для формування списку рекомендованих ресурсів:

1. Обчислення рейтингу для ЕНР та ОК.
2. Сортування рейтингу.
3. Фільтрування ресурсів.
4. Персоналізація рекомендованих ресурсів.
5. Виведення результатів.

Для організації фільтрування ресурсів у прототипі рекомендаційної системи використано інтерактивні фільтри. Користувач має можливість вибирати фільтри на сторінці вебзастосунку, щоб обмежити перелік рекомендованих ресурсів.

Нижче наведено бібліотеки, які використано для організації фільтрів:

1. Express.js – фреймворк для створення вебдодатків на Node.js. Використано для визначення логіки опрацювання запитів із використанням даних, введених користувачем.

2. *Formidable* – бібліотека для опрацювання форм у Node.js. Використана для отримання та опрацювання даних введених користувачем.

3. *Natural Language Processing (NLP) бібліотеки* використано для опрацювання текстового контенту та аналізу мови.

Функціональність переліку рекомендованих ресурсів допомагає забезпечити зручний та інформативний спосіб для користувачів вибирати найдоцільніші електронні навчальні ресурси відповідно до їхніх потреб.

#### 4.3.5. Візуалізація даних

Для кожного рекомендованого ресурсу передбачено можливість побудови пелюсткової діаграми, яка візуалізує значення кожного критерію оцінювання. Кожна пелюстка діаграми подає певний критерій та його оцінку.

Пелюсткові діаграми є інтерактивними, з наведенням курсора на пелюстку, можна переглянути конкретне значення критерію, що дає змогу користувачам отримати детальнішу інформацію про оцінки кожного критерію.

Метод пелюсткових діаграм слугує швидкому оцінюванню аспектів, у яких ресурс має високий рейтинг (сильні сторони) і низький рейтинг (слабкі сторони), що допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо вибору ресурсів, відповідно до заданих вимог.

Використання методу пелюсткових діаграм є ефективним **методом** візуалізації даних прототипу рекомендаційної системи, оскільки дає змогу подати багатовимірні дані про ресурси та їхні властивості. Кожна вісь діаграми відповідає певному критерію, а значення на осях показують ступінь відповідності кожного рекомендованого ресурсу цьому критерію.

Для побудови пелюсткових діаграм в середовищі Node.js використано такі інструменти:

1. Бібліотека *Chart.js* використана для побудови пелюсткової діаграми. Вона надає широкий вибір налаштувань та можливостей для стилізації діаграм.

2. Бібліотека *Echarts* має вбудовану підтримку для пелюсткових діаграм, а також надає багато налаштувань для стилізації та інтерактивності.

3. Бібліотека *Plotly* забезпечує зручний спосіб створення інтерактивних візуалізацій для даних.

#### 4.3.6. Авторизація та організація надання доступу

Організація авторизації та забезпечення доступу до прототипу рекомендаційної системи є важливим аспектом забезпечення безпеки та контролю над системою.

Основні методи, які використано для забезпечення вказаних процесів:

1. *Реєстрація та авторизація користувачів.* Користувачі мають зареєструватися в системі та створити обліковий запис. Після цього, вони можуть використовувати свої облікові дані для авторизації та входу.

2. *Захист паролів.* Паролі користувачів захищені і зберігаються в зашифрованому вигляді.

3. *Призначення ролей та дозволів.* У системі передбачено різні ролі користувачів такі, як адміністратор, експерт тощо. Кожна роль має свої дозволи на доступ до ресурсів та функцій системи.

4. *JWT (JSON Web Tokens).* JWT використаний для створення токенів аутентифікації, які містять інформацію про користувача та його дозволи. Ці токени використані для забезпечення доступу до системи.

5. *HTTPS.* Використання протоколу HTTPS забезпечує шифрування даних між користувачем та сервером, що забезпечує безпеку передавання інформації.

6. *Захист API.* Якщо використовується API для взаємодії з прототипом рекомендаційної системи, варто забезпечити його захищеність шляхом використання авторизації з токенами, обмеженням доступу та перевіркою джерела запитів.

7. *Журналювання та моніторинг.* Журналювання подій та моніторинг активності користувачів допомагає виявити підозрілу або небажану діяльність.

Використання цих методів допомагає забезпечити високий рівень захищеності прототипу рекомендаційної системи, гарантуючи відповідність із нормативними вимогами та захист персональних даних користувачів.

Для організації реєстрації та аутентифікації користувачів використано такі інструменти:

1. *Passport.js* бібліотека для аутентифікації користувачів в Node.js. Вона підтримує різні стратегії аутентифікації такі, як локальна аутентифікація з використанням імені користувача та пароля, аутентифікація через соціальні мережі (Facebook, Google, Twitter тощо), JWT (JSON Web Tokens) та інші.

2. *bcrypt.js* бібліотека для хешування паролів у Node.js. Вона дає змогу захистити паролі користувачів шляхом генерації солі та застосування хеш-функції.

3. *express-session* – це middleware для збереження інформації про сесії користувачів. Вона дає змогу зберігати дані сесії в сховищі MongoDB.

4. *jsonwebtoken* бібліотека для створення та перевірки JWT (JSON Web Tokens). JWT використано для збереження інформації про аутентифікованого користувача такої, як його ідентифікатор чи роль.

5. Для збереження облікових даних користувачів використано базу даних MongoDB. Вона забезпечує швидкий доступ до даних та можливість структурування інформації про користувачів.

6. RBAC (Role-Based Access Control) бібліотеки. Деякі спеціалізовані бібліотеки, такі як `'rbac'`, `'accesscontrol'` тощо, дають змогу організувати призначення ролей та дозволів згідно з концепцією RBAC. З використанням таких бібліотек визначено ролі, надано їм право доступу до ресурсів та перевірки права користувачів перед виконанням конкретних дій.

Бібліотеки сприяють в ефективному керуванні ролями та дозволами в прототипі рекомендаційної системи й забезпечити безпеку та контроль доступу до ресурсів.

#### 4.3.7. Формування адміністративного інтерфейсу

Тільки користувачі з особливими правами адміністратора мають доступ до адміністративного інтерфейсу.

Адміністратор має можливість виконувати такі дії:

– додавати, редагувати та вилучати критерії оцінювання, які використовуються експертами для оцінювання ресурсів. Це дає можливість

адміністратору додавати нові критерії або адаптувати наявні залежно від потреб системи.

- керувати списком експертів, додавати нових експертів, заблокувати або вилучати облікові записи експертів за потреби. Це дає можливість зберігати актуальний список експертів і контролювати доступ до системи.

- додавати нові електронні навчальні ресурси та освітній контент у систему або вилучати старі, які більше не актуальні, що дає можливість адміністратору підтримувати актуальність та релевантність прототипу рекомендаційної системи.

- керувати правами доступу різних користувачів, забезпечуючи безпеку та конфіденційність даних у системі.

Адміністративний інтерфейс має можливість:

- записувати події та дії адміністратора для налагодження та відстежування дій у системі;

- забезпечувати ефективність роботи адміністратора, будучи зручним та інтуїтивно зрозумілим;

- допомагати адміністраторам легко та ефективно керувати прототипом рекомендаційної системи, маючи можливість налаштовувати та підтримувати систему в актуальному стані та забезпечувати безпеку даних.

Формування адміністративного інтерфейсу у Node.js можливе з використанням різних підходів та засобів. Основною метою адміністративного інтерфейсу є надання можливості адміністраторам керувати та контролювати систему.

Інструменти, що використані для формування адміністративного інтерфейсу прототипу рекомендаційної системи:

1. *Express + Template Engine (Pug, EJS, Handlebars)*. Express – фреймворк для створення вебдодатків у Node.js. Використано шаблонні двигуни, такі як Pug (колишній Jade), EJS або Handlebars, для створення адміністративних сторінок у вигляді шаблонів.

2. *Express + React/Vue/Angular*. Для побудови динамічного адміністративного інтерфейсу використано сучасні фронтенд-фреймворки та бібліотеки, такі як React, Vue або Angular. Express використано як сервер для надання API, а фреймворки

React/Vue/Angular дає можливість побудувати інтерактивний інтерфейс на клієнтській стороні.

Адміністрування є важливою частиною прототипу рекомендаційної системи, оскільки дає змогу забезпечити ефективне управління користувачами, налаштування системи та моніторинг роботи.

#### 4.4. Особливості програмної реалізації

Компоненти інформаційних технологій, які використовуються як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи реалізовано у вигляді кілька сторінкового вебзастосунку, що надає йому ряд переваг:

- насичений функціоналом інтерфейс;
- швидку реакцію інтерфейсу, оскільки всі дії не вимагають доступу до сервера;
- значне зменшення навантаження на сервер;
- індивідуалізацію та швидкість передавання даних.

Програмну реалізацію виконано з використанням наступних інструментів:

**1. Node js** використовується для формування сценаріїв вебзастосунку. Використання Node.js дає можливість веброзробникам писати серверні програми, створювати вебдодатки, розробляти API, опрацьовувати файли, взаємодіяти з базами даних та багато іншого.

Основою Node.js є необлікована модель подій, яка дає змогу опрацьовувати події асинхронно та ефективно. Це означає, що виконання коду не зупиняється, чекаючи завершення певних операцій (наприклад, читання файлу або взаємодії з базою даних), що дає можливість забезпечити високу продуктивність. Node.js використовує деблокуючий ввід/вивід, що дозволяє одночасно опрацьовувати багато запитів без блокування потоків. Це робить Node.js особливо зручним для розроблення високонавантажених додатків, які вимагають опрацювання багатьох запитів одночасно. Node.js сприяє розбиттю програм на модулі, що полегшує управління кодом та сприяє повторному використанню. Велика кількість сторонніх модулів доступна з використанням пакетного менеджера Npm. Node.js має активну спільноту та широке сприйняття поміж розробників, що призводить до появи

багатьох корисних бібліотек, фреймворків та інструментів, що сприяють у розробленні. Node.js доступний для різних операційних систем, таких як Windows, macOS, Linux, що робить його універсальним середовищем для розроблення. Використання Node.js дає змогу розробникам створювати ефективні та масштабовані додатки, особливо ті, які вимагають опрацювання багатьох одночасних запитів. Його використання дає можливість об'єднати фронтенд і бекенд розробку на JavaScript, що спрощує процес розроблення та допомагає забезпечити послідовність коду між клієнтською та серверною частинами додатка.

**2. Express** – це поширений фреймворк на основі Node.js для розроблення вебдодатків та API. Він надає мінімальний набір функцій, що дає можливість веброзробникам створювати швидкі та ефективні вебдодатки з меншим обсягом коду, порівнюючи з ручним розробленням на Node.js.

Використання Express дає змогу визначати шляхи (routes), які відповідають різним URL-адресам та HTTP-запитам (GET, POST, PUT, DELETE тощо). Це сприяє опрацюванню різних запитів та відображенню відповідних сторінок або виконувannya різних дій, залежно від контексту.

Express не має вбудованого шаблонізатора, але він легко інтегрується з відомими шаблонізаторами, такими як Pug (раніше Jade), EJS та Handlebars тощо. Це дає можливість генерувати динамічний HTML з використанням даних із сервера. Використання Express дає можливість надавати статичний контент такий, як стилі CSS, зображення та JavaScript файли, безпосередньо із сервера, спрощуючи їхній доступ із клієнтської сторони. Express є поширеним вибором для розроблення RESTful API, оскільки дає змогу легко визначати маршрути та опрацювати запити на створення, зчитування, оновлення та видалення даних.

Express є простим у використанні та має активну спільноту, що робить його відмінним вибором для початківців та досвідчених веброзробників, які шукають швидкий та ефективний спосіб створення вебдодатків та API на Node.js.

**3. Twig template engine (for HTML)** Twig – це шаблонний двигун (template engine), який використовується для розроблення HTML-шаблонів у додатках на PHP.

Twig забезпечує простий та інтуїтивно зрозумілий синтаксис, який легко читається. Він використовує функції та вирази, щоб динамічно генерувати HTML-код із використанням даних. Завдяки Twig, можна розділити логіку програми в PHP-коді та подання в HTML-шаблонах. Це робить код структурованішим та підтримуваним. Twig підтримує умовні вирази (наприклад, `if/else`) та цикли (наприклад, `for/while`), що дозволяє здійснювати логіку, яка змінюється залежно від умов або обходить масиви даних для генерації багаторазових елементів. Twig має ряд вбудованих фільтрів та можливостей розширення, які дають можливість перетворювати та опрацьовувати дані безпосередньо в HTML-шаблонах. Twig підтримує успадкування шаблонів, дозволяючи створювати батьківські шаблони, які можуть бути успадковані та розширені дочірніми шаблонами. Це допомагає підтримувати рівномірний дизайн та зменшувати дублювання коду.

Використання Twig дає можливість розробникам PHP підтримувати чистоту та створення чіткої диференціації між логікою програми та подання, що покращує загальну якість розробки та зменшує складність. Використання Twig також допомагає уникнути безпекових проблем, пов'язаних із вбудованим PHP в HTML, оскільки Twig забезпечує безпечний спосіб вставлення даних у шаблони.

**4. CSS (Cascading Style Sheets)** – це мова стилів, яка використовується для оформлення та подання зовнішнього вигляду вебсторінок, написаних із використанням мов розмітки таких, як HTML або XML. Використання CSS дає можливість веброзробникам змінювати зовнішній вигляд елементів HTML таких, як текст, фон, розміщення, кольори, шрифти та інші стилі, що сприяють у створенні привабливого та естетичного дизайну вебсторінки.

У CSS використовуються селектори, з метою зазначення HTML елементів або груп елементів, що мають бути стилізовані. Селектори можуть бути базовими (наприклад, назви тегів або класи) або більш специфічними (наприклад, ідентифікатори або комбінації селекторів). Кожен селектор може мати один або кілька стилів, що застосовуються до вибраних елементів. Ці стилі визначаються властивостями CSS такими, як «`color`» (колір тексту), «`background`» (фон), «`font-size`» (розмір шрифту) та багато інших. Кожна властивість має свої значення, які



визначають, який конкретний стиль застосовується. У CSS застосовується принцип каскаду, що означає, що стилі можуть спадати або перевизначатися залежно від їхньої пріоритетності та специфічності селекторів. CSS підтримує імпорт інших CSS-файлів, для зручності управління стилями, а також має механізм спадкування, який дає змогу елементам успадковувати стилі від батьківських елементів.

Використання CSS дає можливість веброзробникам створювати привабливий та привертаючий зовнішній вигляд для вебсайтів, забезпечуючи розділення змісту та подання, що робить код більш підтримуваним та зрозумілим.

**5. MongoDB** – це документоорієнтована база даних, яка входить до категорії NoSQL баз даних. NoSQL означає «Not Only SQL» (не тільки SQL) і належить до сімейства баз даних, які не використовують традиційних структурованих запитів SQL для управління даними.

В основі MongoDB лежить модель документів, де дані зберігаються як JSON-подібні об'єкти, які називаються документами. Документи в MongoDB можуть містити різні поля з різними типами даних, що забезпечує гнучкість у зберіганні та організації даних без жорстких схем. Базова архітектура MongoDB полегшує горизонтальне масштабування на кількох рівнях. Це означає, що дані можна розподіляти між кількома серверами, забезпечуючи кращу продуктивність і масштабованість. База даних MongoDB надає потужну мову запитів, яка дає змогу швидко та ефективно надсилати запити до бази даних. Ці запити можуть містити умови, проєкції, сортування, групування та інші операції для забезпечення точного вилучення даних. MongoDB надає можливість налаштовувати реплікацію даних для забезпечення збереження копій бази даних на декількох серверах. Це забезпечує високу доступність та надійність. MongoDB підтримує індексування для швидкого доступу до даних і швидшого виконання запитів.

MongoDB став популярним у розробленні вебдодатків, аналізі даних, аналітичних системах та інших сценаріях, де важливі гнучкі структури даних і здатність швидко масштабувати та зберігати великі обсяги даних.

**6. Npm (Node Package Manager)** є одним із найпопулярніших менеджерів пакетів у середовищах Node.js та JavaScript. Це дає можливість розробникам легко

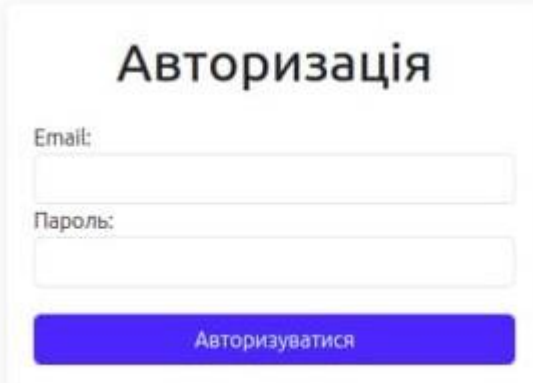
керувати та використовувати сторонні бібліотеки та модулі, розроблені іншими програмістами, а також публікувати власні пакети для використання іншими користувачами.

З використанням Npm можна легко встановлювати, оновлювати та вилучити пакети, використовуючи команди в командному рядку. Під час роботи з Node.js проєкти зазвичай використовують багато пакетів залежностей. Npm розв'язує проблему управління цими залежностями, вказуючи їх у файлі «package.json» та автоматично встановлюючи, коли проєкт розгортається на іншому пристрої. Використання Npm надає вбудований пошук пакетів, що допомагає знаходити бібліотеки та модулі, які є корисними для розвитку проєкту. Публікує свої пакети в Npm-реєстрі, для подальшого використання.

#### 4.4.1. Опис елементів інтерфейсу

Один із найсуттєвіших елементів вебзастосунку – це його інтерфейс, який складається з набору візуальних елементів для зручного сприйняття та розуміння інформації користувачем, будь-то новачок або досвідчений користувач прототипу рекомендаційної системи.

Допуск користувача до роботи з прототипом рекомендаційної системи передбачає виконання процедур авторизації чи реєстрації. Вікно авторизації показано на рисунку 4.8.



The image shows a web form for user authentication. At the top, the title 'Авторизація' (Authorization) is centered. Below the title, there are two input fields. The first is labeled 'Email:' and the second is labeled 'Пароль:' (Password). Below these fields is a prominent blue button with the text 'Авторизуватися' (Authorize) in white.

Рис. 4.8. Вікно авторизації

На загальній сторінці вебзастосунку (рис 4.9) можна обрати тип навчальних ресурсів, критерії, за якими потрібно дослідити ресурси, а також потрібно задати вагу кожного обраного критерію.

Рис. 4.9. Сторінка вибору критеріїв рекомендаційної системи

Процес вибору типу електронних ресурсів чи освітнього вмісту та задання критеріїв описується кодом:

```
app.post("/apply-resource", async (req, res) => {
  try {
    let bulkData = req.body
    let chosenType_of_resource = bulkData.type_of_resource
    let chosenImportance = bulkData.importance
    let chosenCheck = bulkData.check

    for ( let i = 0; i < chosenImportance.length; i++) {
      chosenImportance[i] = parseInt(chosenImportance[i])
    }

    let name_of_each_vertex = []
    for (let i = 0; i < chosenCheck.length; i++) {
      name_of_each_vertex[i] = chosenCheck[i].slice(0, -2)
      chosenCheck[i] = parseInt(chosenCheck[i].slice(-1))
    }
  }
})
```

```
}
```

Запит до бази даних здійснюється командою:

```
const LOST = await Category.find({type: chosenType_of_resource});
```

Для побудови матриць попарних порівнянь використано команди:

```
const matrix3d_forAGn = []
for (let AGn = 0; AGn < 10; AGn++) {
  let matrix = []
  for (let i = 0; i < LOST.length; i++) {
    let line = []
    for (let h = 0; h < LOST.length; h++){
      let result
      let h_rating = LOST[h].params[AGn].rating
      let i_rating = LOST[i].params[AGn].rating
      if (i_rating === h_rating) {
        result = 1
      } else if (i_rating > h_rating) {
        result = i_rating - h_rating
      } else {
        result = 1/(h_rating - i_rating)
      }
      line.push(result)
    }
    matrix.push(line)
  }
  matrix3d_forAGn.push(matrix)
}
```

Отримати нечіткі множини можна застосувавши команди:

```
let Gn_matrix = []
for (let Gn = 0; Gn < matrix3d_forAGn_filtered.length; Gn++) {
  let Gn_line = []
  for (let i = 0; i < LOST.length; i++) {
    let result = 0
    for(let h = 0; h < LOST.length; h++){
      result += matrix3d_forAGn_filtered[Gn][h][i]
    }
    let inverted_result = 1/result
    Gn_line.push(inverted_result)
  }
  Gn_matrix.push(Gn_line)
}
```

Побудова матриці, що слугує для обчислення ваги критеріїв здійснюється з використанням команд:

```

let chosenImportance_filtered = []
for (let i = 0; i < chosenCheck.length; i++) {
  let element = chosenImportance[chosenCheck[i]]
  chosenImportance_filtered.push(element)
}
let weight_matrix = []
for (let i = 0; i < chosenCheck.length; i++) {
  let line = []
  for (let h = 0; h < chosenCheck.length; h++){
    let result
    if (chosenImportance_filtered[i] === chosenImportance_filtered[h]) {
      result = 1
    } else if (chosenImportance_filtered[i] > chosenImportance_filtered[h]) {
      result = chosenImportance_filtered[i] - chosenImportance_filtered[h]
    } else {
      result = 1/(chosenImportance_filtered[h] - chosenImportance_filtered[i])
    }
    line.push(result)
  }
  weight_matrix.push(line)
}

```

Кожен експерт може відстежувати, які категорії були оцінені, які категорії загалом оцінювалися експертом та, які категорії оцінювалися іншими експертами (рис. 4.10).

Всі оцінені категорії						
Операції	<input type="button" value="Оцінити"/>	<input type="button" value="Видалити"/>	<input type="button" value="Оцінити"/>	<input type="button" value="Видалити"/>	<input type="button" value="Оцінити"/>	<input type="button" value="Видалити"/>
Назва	GeoGebra	Wolfram Mathematica	SMathStudio			
Тип	Ресурси для навчання математики	Ресурси для навчання математики	Ресурси для навчання математики			
Інтерактивність	9	7	8			
Мультимедійність	8	9	7			
Можливість модифікації	9	7	8			
Кросплатформеність	9	8	6			
Вільнопоширюваність	9	4	7			
Архітектура	8	7	5			
Функціональність	9	5	8			
Чисельність тем для опрацювання	9	9	8			
Відповідність предметній області	9	7	7			
Відповідність навчального змісту освітнім стандартам	9	7	8			

Категорії, які були оцінені вами						
Операції	<input type="button" value="Оцінити"/>	<input type="button" value="Видалити"/>	<input type="button" value="Оцінити"/>	<input type="button" value="Видалити"/>	<input type="button" value="Оцінити"/>	<input type="button" value="Видалити"/>
Назва	GeoGebra	Wolfram Mathematica	SMathStudio			
Тип	Ресурси для навчання математики	Ресурси для навчання математики	Ресурси для навчання математики			

Рис. 4.10. Сторінка експерта

Адміністратор має можливість працювати з категоріями, зокрема, він може редагувати їх, вилучати та додавати нові.

Ресурси адміністратор додає через панель (рис. 4.11), де задає тип ресурсу та може вписати необхідні ресурси. Якщо ресурс існує в базі, то адміністратор відразу отримує відповідне повідомлення. Якщо ж ресурс додано вперше, то адміністратор отримує повідомлення про успішне додавання ресурсу до бази даних.

Обрати категорію

Ресурси для навчання математики

Maple, Mathematica, MathCAD, Maxima, MatLAB, SMath Studio, SageMath, GeoGebra

Надіслати на перевірку

Будь ласка, вставте системи **по одному** або розділіть назви систем **комами**. Не використовуйте жодні інші символи, крапки, крапки з комою тощо. Приклад:

*WolframAlpha, ChatGPT, AlphaGo*

Успішно додано:

"Maple"  
 "Mathematica"  
 "MathCAD"  
 "Maxima"  
 "MatLAB"  
 "SMath Studio"

Уже існує: "SageMath" "GeoGebra"

Рис. 4.11. Панель додавання ресурсів

Результат роботи прототипу рекомендаційної системи оцінювання освітнього вмісту та ЕНР показано на рисунку 4.12. Ресурси задані в порядку від найвідповіднішого заданим критеріям розміщено у вигляді рекомендаційного рейтингу. Для кожного з ресурсів побудовано пелюсткові діаграми, що дає можливість відстежити відповідність критеріям.

Функціональне призначення прототипу рекомендаційної системи в контексті оцінювання ЕНР являється в забезпеченні об'єктивного вибору найбільш доцільних ресурсів для конкретних навчальних ситуацій. Ця система сприяє зручній та

ефективній взаємодії експертів, які мають власний погляд на оцінювання ресурсів, з інструментарієм, що допомагає об'єктивно враховувати багатоаспектність критеріїв.

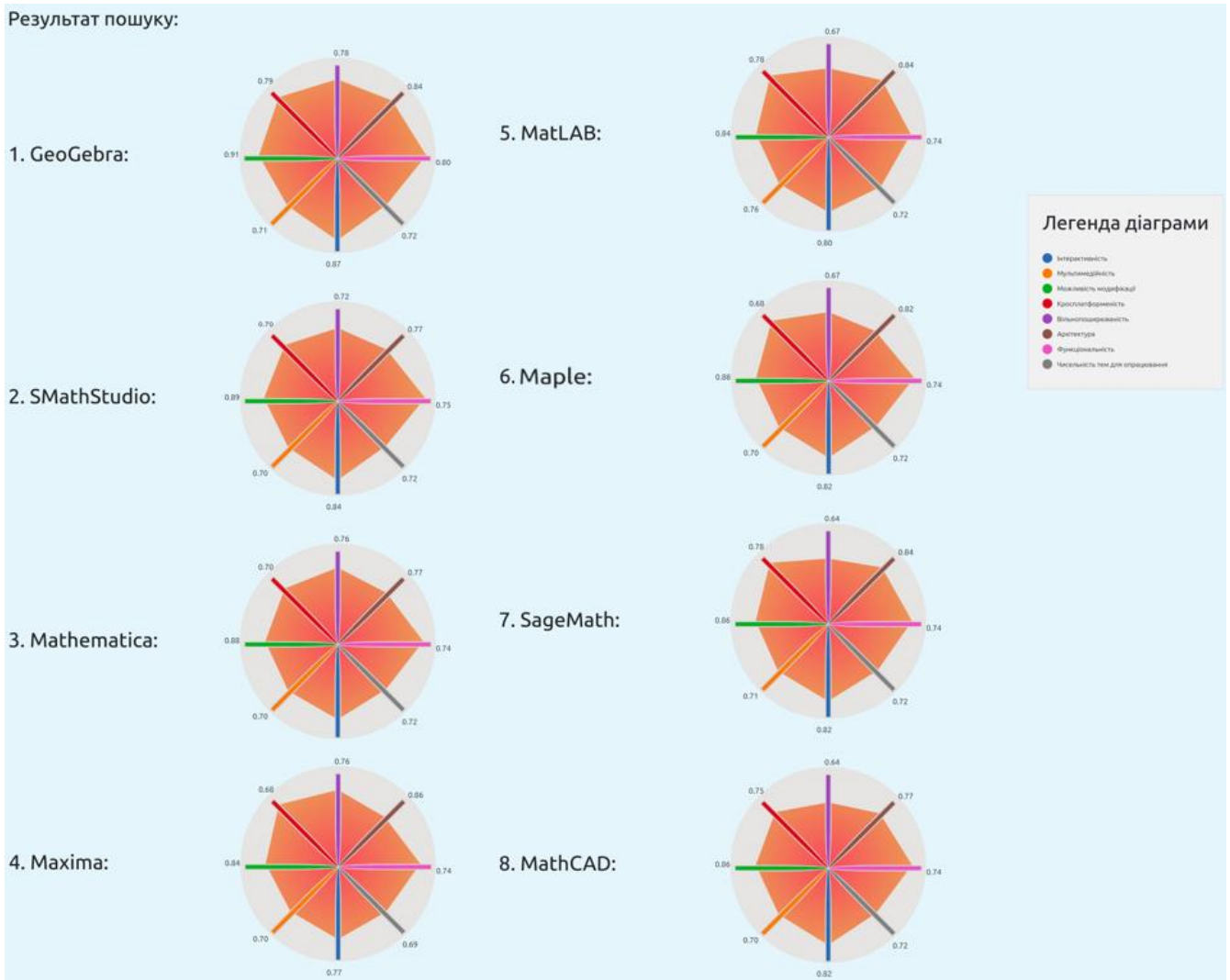


Рис. 4.12. Результат роботи прототипу рекомендаційної системи

За допомогою вибору типу ресурсів, значення оцінок за встановленими критеріями та активізації обчислень, прототип рекомендаційної системи допомагає експертам здійснити відповідальний та обґрунтований вибір найкращих електронних навчальних ресурсів. За допомогою бази даних, прототип рекомендаційної системи здатен зберігати велику кількість ресурсів та пов'язаної з ними інформації, що сприяє ефективному відбору та швидкому доступу до рекомендованих рейтингів. Візуалізація рекомендованих результатів за допомогою пелюсткових діаграм сприяє легкому розумінню та порівнянню різних ресурсів з урахуванням їх характеристик.

#### 4.4.2. Практична апробація прототипу рекомендаційної системи

Для перевірки достовірності результатів функціонування компонентів інформаційних технологій, які використовувались як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи було проведено ряд експериментальних досліджень упродовж 2020-2023 років у Волинському національному університеті імені Лесі Українки, зокрема на факультеті інформаційних технологій і математики. Було залучено кафедру комп'ютерних наук та кібербезпеки та кафедру загальної математики та методики навчання інформатики, а також науково-методичну комісію факультету інформаційних технологій і математики. Експертним спільнотам було запропоновано оцінювання електронних навчальних ресурсів і освітнього контенту з використанням розробленого прототипу рекомендаційної системи.

Одним із прикладів було оцінювання систем комп'ютерної математики. Викладачів кафедри загальної математики та методики навчання інформатики, в кількості 12 осіб обрано експертною спільнотою для проведення цього дослідження. На засіданні кафедри було проінформовано викладачів про специфіку роботи запропонованого інструментарію. Для експертного оцінювання винесено було ряд систем комп'ютерної математики, зокрема GeoGebra, Maple, MathCAD, Mathematica, MatLAB, Maxima, SageMath, SMath Studio, з метою вибору найефективнішої для використання в процесі вивчення курсу «Математичний аналіз та диференціальні рівняння». Викладачі кафедри задавали критеріям значення від 1 до 9, враховуючи важливість критерію для цієї СКМ. Оскільки в кожного з викладачів були свої вимоги до СКМ, одним важлива вільнопоширюваність системи, іншим перелік функціональних можливостей, тому в результаті кожен отримав для себе рейтинговий перелік СКМ, що відповідала їхнім запитам. За результатами проведених досліджень, отримані схвальні відгуки від викладачів кафедри.

Ще один приклад використання розробленого прототипу рекомендаційної системи, що ілюструє оцінювання освітнього контенту на засіданні науково-методичної комісії факультету інформаційних технологій і математики. Для проведення експериментального дослідження учасникам науково-методичної комісії



запропоновано оцінити методичну розробку, подану на рекомендацію до друку. Експертній спільноті запропоновано було оцінити методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу «Комп'ютерна дискретна математика». Для оцінювання задано наступні критерії: відповідність теми до силабуса освітнього компонента; наповнюваність необхідним теоретичним навчальним матеріалом; структурованість матеріалу; наявність прикладів розв'язаних завдань; наявність завдань для самостійного виконання; наявність необхідних літературних джерел, та інші.

Учасникам науково-методичної комісії було проведено інструктаж з використання запропонованого програмного продукту та надано необхідне технічне забезпечення. Експертна спільнота у складі шести осіб оцінювала кожен одиницю освітнього контенту (розроблену практичну роботу) з використанням запропонованого інструментарію. Оскільки учасниками науково-методичної комісії є викладачі різних кафедр, то взято усереднене значення всіх експертних оцінок. В результаті оцінювання було виявлено, що у двох практичних роботах оцінки найнижчі за критеріями: наявність прикладів розв'язаних завдань та наявність необхідних літературних джерел. Це дало змогу учасникам науково-методичної комісії вказати розробнику на необхідність внесення правок до практичних робіт № 2 та №7 за заданими вимогами. За результатами проведеного дослідження було отримано схвальні відгуки від учасників науково-методичної комісії.

#### **Висновки до розділу 4**

У четвертому розділі показано використання моделей та методів інформаційних технологій, що розглядалися в попередніх розділах, для розроблення компонентів інформаційних технологій, які використовуються як основа при побудові прототипу рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту. Наведено алгоритм функціонування прототипу рекомендаційної системи в процесі використання користувачами та розглянуто особливості програмної реалізації системи. Детально описано функціональне призначення прототипу рекомендаційної системи оцінювання та вибору

електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту та вказано сферу застосування.

Сформовано діаграму варіантів використання, де зазначено акторів і передбачені можливості для них. Сформовано діаграму послідовності, що відображає взаємодію між експертами, прототипом рекомендаційної системи та базою даних та діаграму діяльності, що ілюструє послідовні етапи дії в системі оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту. Подано трирівневу архітектуру прототипу рекомендаційної системи, що включає рівень відображення, рівень застосувань, рівень керування даними, кожен з яких має підсистеми, модулі та бази даних. Сформовано діаграму діяльності, що показує послідовні етапи дії рекомендаційної системи, починаючи з вибору експертом типу ЕНР та ОК і закінчуючи побудовою пелюсткової діаграми для кожного рекомендованого ресурсу.

Описано основні компоненти інформаційних технологій функціонування прототипу рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів, що включають відбір електронних навчальних ресурсів; введення оцінок експертів за критеріями; розрахунок рекомендаційного рейтингу; формування переліку рекомендованих ресурсів; візуалізацію даних; реалізацію авторизації та організацію забезпечення доступу; формування адміністративного інтерфейсу. Описано особливості програмної реалізації прототипу рекомендаційної системи.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні проведено огляд та аналіз електронних навчальних ресурсів. Розглянуто широкий спектр літературних вітчизняних та закордонних джерел. Сформовано ключові переваги застосування інформаційних технологій в процесах розроблення та використання електронних навчальних ресурсів. Запропоновано онтологічне подання основних термінів та понять сфери дисертаційного дослідження. Проаналізовано ряд інформаційних технологій, які є корисними під час формування освітнього вмісту в системах електронного навчання, виокремлено етапи його формування. Розглянуто актуальні інформаційні технології сформовані на основі алгоритмів штучного інтелекту, проведено оцінювання їх потенціалу в процесах формування освітнього вмісту для систем електронного навчання. Проаналізовано роль мультиагентних систем в процесі пошуку та видобування освітнього контенту для систем електронного навчання. Досліджено поняття рекомендаційних систем, сформовано структуру рекомендаційної системи вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту для систем електронного навчання.

Проаналізовано специфіку підготовки ІТ-фахівців, зокрема розглянуто цикли загальної та професійної підготовки. Відзначено важливість математичної підготовки, що є фундаментальною основою для майбутніх ІТ-спеціалістів. Проаналізовано підходи та засоби когнітивного моделювання для опису навчального процесу. Зазначено ключові проблеми, які виникають у процесі побудови когнітивної моделі. Виокремлено базові фактори, що впливають на формування ІТ-фахівців. Подано приклад когнітивної карти навчального процесу, проілюстровано графі факторів впливу на майбутніх фахівців, сформовано матриці суміжності графів впливу на майбутніх ІТ-фахівців. Досліджено методи та засоби подання даних та знань у гіпотетичній навчальній системі, яка може використовуватися при підготовці фахівців. Охарактеризовано співвідношення концептів «знання», «інформація» та «дані». Сформовано модель подання даних та знань для математичної підготовки ІТ-фахівців. Сформовано формальні моделі предметних та персональних знань.

Розглянуто процес поширення знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання. Визначено фактори, що впливають на рівень знаннєвого потенціалу. Зафіксовано фактори впливу на вибір тих чи інших електронних навчальних ресурсів. Змодельовано спільноти взаємодії учасників освітнього процесу під час електронного навчання. Виокремлено базові ознаки освітніх спільнот. Показано поширення знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання та процес зростання рівня знаннєвого потенціалу, використовуючи нові навчальні ресурси. Показано процес отримання, передавання та перерозподілу знань, а також виокремлено ряд джерел знань, якими поповнюють знаннєвий потенціал учасники освітнього процесу. Відзначено основні етапи формування знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання.

Проаналізовано кількісні характеристики експертного оцінювання освітнього контенту підготовки ІТ-фахівців на основі ОПП «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» бакалаврського освітнього ступеня. Процес вибору ЕНР та освітнього вмісту проілюстровано з використанням методу аналізу ієрархій. В процесі використання даного методу оцінювалися вісім СКМ, для них було визначено сім критеріїв. Проведено всі необхідні обчислення та отримано найактуальніші альтернативи для використання в навчальному процесі. Досліджено окремі аспекти використання формального апарату теорії нечіткої логіки для заданих критеріїв оцінювання освітнього вмісту з метою формування рейтингового переліку альтернатив. Запропонований метод доцільно використовувати для великої кількості критеріїв. Використання даного методу показано на прикладі оцінювання освітнього вмісту та ЕНР.

Сформовано структуру прототипу рекомендаційної системи, у якій реалізовані інформаційні технології оцінювання та вибору ЕНР та освітнього контенту для систем електронного навчання. Наведено алгоритм функціонування прототипу рекомендаційної системи в процесі використання користувачами та розглянуто особливості програмної реалізації системи. Детально описано функціональне призначення прототипу рекомендаційної системи оцінювання та вибору ЕНР та освітнього наповнення та вказано сферу застосування. Сформовано діаграму

варіантів використання, де зазначено акторів і передбачені можливості для них. Сформовано діаграму послідовності, що відображає взаємодію між експертами, прототипом рекомендаційної системи і базою даних. Подано трирівневу архітектуру прототипу рекомендаційної системи, що включає рівень відображення, рівень застосувань, рівень керування даними, кожен з яких має підсистеми, модулі та бази даних. Сформовано діаграму діяльності, що показує послідовні етапи дії рекомендаційної системи, починаючи з вибору експертом типу ЕНР та ОК і закінчуючи побудовою пелюсткової діаграми для кожного рекомендованого ресурсу. Описано основні компоненти технології функціонування прототипу рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів, що включають відбір електронних навчальних ресурсів; введення оцінок експертів за критеріями; розрахунок рекомендаційного рейтингу; формування переліку рекомендованих ресурсів; візуалізацію даних; реалізацію авторизації та організацію забезпечення доступу; формування адміністративного інтерфейсу. Описано особливості програмної реалізації прототипу рекомендаційної системи. Розроблено прототип рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту. Розроблено методику візуалізації результатів експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів, суть якої полягає в тому, що результат оцінювання подається множиною пелюсткових діаграм, побудованих за оцінками окремих експертів у полярній системі координат із врахуванням важливості кожного з критеріїв оцінювання та авторитетності експертів.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання, сформовано ряд методів, моделей та компонентів інформаційних технологій, які покладено в основу розроблення прототипу рекомендаційної системи вибору електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для освітніх експертних середовищ, яким необхідно ухвалювати рішення щодо вибору електронних навчальних ресурсів та формування якісного освітнього вмісту. В ході виконання дисертаційної роботи було:

1. Проведено аналіз особливостей, переваг та недоліків наявних систем оцінювання електронних навчальних ресурсів; мультиагентних систем та

інформаційних технологій, базованих на основі методів штучного інтелекту, для формування освітнього контенту.

2. Досліджено процеси когнітивного моделювання та побудови моделі подання даних та знань як інформаційного ресурсу в електронній навчальній системі підготовки ІТ-фахівців.

3. Узагальнено модель процесів поширення «знаннєвого потенціалу» в системах електронного навчання, зокрема доповнено множину джерел знань, що впливає на поповнення знаннєвого потенціалу.

4. Удосконалено та апробовано процеси експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього вмісту, зокрема генерації рекомендацій на підставі запропонованих критеріїв з використанням формалізмів нечіткої логіки, методу аналізу ієрархій та парних порівнянь.

5. Розроблено та апробовано моделі, методи та компоненти інформаційних технологій, які використовуються як основа при побудові прототип рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту з компонентою візуалізації даних, зокрема методу пелюсткових діаграм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. V. Pasichnyk, N. Kunanets, V. Yunchyk, M. Khomyak, S. Yatsyuk, V. Muliar and A. Fedonuyk «Model of the Recommender System for the Selection of Electronic Learning Resources», *CEUR Workshop Proc. 5th International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science (MoMLeT+DS 2023)*, vol. 3426, pp. 344-355, 2023.
2. V. Yunchyk and Y. Fedoniuk «Results of developing the recommendation system for electronic educational resource selection», *Manažérska Inform. Vedecký Časopis O Inform.*, vol. 1, no. 1, 2023, [Online]. Available: <https://manazerskainformatika.sk/results-of-developing-the-recommendation-system-for-electronic-educational-resource-selection/>
3. В. Пасічник, В. Юнчик, та А. Федонюк «Добір електронних навчальних ресурсів з використанням рекомендаційної системи», *Тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта»*, in Інформаційні технології, № XII. Луцьк-Світязь: Волинський національний університет імені Лесі Українки, червень. 2023, С. 129–131.
4. V. Yunchyk, A. Fedonuyk, I. Mukutuyk, O. Duda, and S. Yatsyuk «Application of the hierarchy analysis method for the choice of the computer mathematics system for the IT-sphere specialists preparation», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1840, no. 1, p. 012065, Mar. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1840/1/012065.
5. O. Duda, N. Kunanets, V. Pasichnyk, N. Veretenni, A. Fedonuyk, and V. Yunchyk «Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities», *CEUR Workshop Proc. MoMLeTDS 2020*, vol. I, no. 2631, pp. 68–78, 2020.
6. А. Федонюк, І. Микитюк, та В. Юнчик «Використання методу аналізу ієрархій та попарних порівнянь в процесі вибору СКМ», in *Збірник тез IX Міжнародної науково-практичної конференції МІТО-2020*, Луцьк-Світязь: ВНУ імені Лесі Українки, С. 53–59, 2020.

7. V. Yunchyk, A. Fedonuyk, M. Khomyak, and S. Yatsyuk «Cognitive Modeling of the Learning Process of Training IT Specialists», *3rd Int. Workshop Mod. Mach. Learn. Technol. Data Sci. CEUR Workshop Proc.*, vol. I, no. 2917, pp. 141–150, 2021.
8. В. Юнчик, та А. Федонюк, «Порівняльна характеристика функціональних можливостей систем комп'ютерної математики в процесі розв'язування задач», *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі*, №. 6, С. 90–102, 2019, doi: 10.23939/sisn2019.02.090.
9. В. Юнчик, Н. Швейгер, В. Хоменко, та М. Ковальчук, «Проектування електронного освітнього ресурсу для навчання математики», *Збірник тез XI Міжнародної науково-практичної конференції МІТО-2022*, Луцьк-Світязь: ВНУ імені Лесі Українки, С. 175–178, 2022.
10. В. Юнчик та С. Яцюк, «Аналіз функціональних можливостей систем комп'ютерної математики в процесі розв'язування задач», *Together united: науковці проти війни*, Луцьк, С. 246–251, 2022.
11. В. Юнчик, Н. Кунанець, В. Пасічник, та А. Федонюк, «Аналіз штучних інтелектуальних агентів для систем електронного навчання», *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі*, №. 10, С. 41–57, 2021, doi: 10.23939/sisn2021.10.041.
12. В. В. Пасічник, В. Л. Юнчик, Н. Е. Кунанець, та А. А. Федонюк, «Використання нечіткої логіки у процесі експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів», *Науковий вісник НЛТУ України*, №. 32(4), С. 66–76, 2022, doi: 10.36930/40320411.
13. В. Пасічник, В. Юнчик, та А. Федонюк, «Процедури оцінювання якості електронних навчальних ресурсів з використанням пелюсткових діаграм», *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі*, no. 11, pp. 87–102, Jun. 2022, doi: 10.23939/sisn2022.11.087.



14. В. Пасічник, В. Юнчик, Н. Кунанець, та А. Федонюк, «Поширення знаннєвого потенціалу в процесі електронного навчання», *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія Інформаційні системи та мережі*, № 13, С. 361–374, 2023.
15. A. Fedonuyk, V. Yunchyk, T. Cheprasova, and S. Yatsyuk, «The Models of Data and Knowledge Representation in Educational System of Mathematical Training of IT-specialists», in *2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Zbarazh, Ukraine: IEEE, Sep. 2020, pp. 269–272. doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9321899.
16. В. Юнчик, А. Федонюк, С. Яцюк, та Т. Оксентюк, «Особливості представлення даних та знань в навчальних системах», *Збірник тез X Міжнародної науково-практичної конференції МІТО-2021*, Луцьк-Світязь: ВНУ імені Лесі Українки, С. 93–95, 2021.
17. T. Bates and A. Sangrà, «Managing technology in higher education: Strategies for transforming teaching and learning», in *The Jossey-Bass higher and adult education series*. San Francisco, 2011.
18. *Положення про електронні освітні ресурси*. Дата звернення: 10 вер. 2022. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1695-12#Text>
19. C.-L. Lai and G.-J. Hwang, «A self-regulated flipped classroom approach to improving students learning performance in a mathematics course», *Computers & Education*, vol. 100, pp. 126–140, 2016. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.05.006.
20. European Centre for the Development of Vocational Training, Ed., «Terminology of European education and training policy: A selection of 100 key terms», Office for Official Publications of the European Communities, 2008.
21. M. A. Camilleri and A. C. Camilleri, «Digital Learning Resources and Ubiquitous Technologies in Education», *Technology, Knowledge and Learning*, vol. 22, no. 1, pp. 65–82, 2017. DOI: 10.1007/s10758-016-9287-7.
22. I. A. Mastan, D. I. Sensuse, R. R. Suryono, and K. Kautsarina, «Evaluation of distance learning system (e-learning): a systematic literature review», *Jurnal Teknoinfo*, vol. 16, no. 1, pp. 132, 2022. DOI: 10.33365/jti.v16i1.1736.

23. J. M. Spector, *Handbook of research on educational communications and technology* (3rd ed.). Lawrence Erlbaum Associates, 2008.
24. B. Khan, «Managing E-Learning Strategies: Design, Delivery, Implementation and Evaluation», *IGI Global*, 2005. DOI: 10.4018/978-1-59140-634-1.
25. A. G. Picciano, «Theories and Frameworks for Online Education: Seeking an Integrated Model», *Online Learning*, vol. 21, no. 3, 2017. DOI: 10.24059/olj.v21i3.1225.
26. G. V. Davidson-Shivers, K. Rasmussen, and P. R. Lowenthal, *Web-based learning: Design, implementation and evaluation* (Second edition). Springer, 2018.
27. K. Jordan, «Massive open online course completion rates revisited: Assessment, length and attrition», *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, vol. 16, no. 3, 2015. DOI: 10.19173/irrodl.v16i3.2112.
28. A. M. Torres, «Online Teaching Strategies: Lessons Learned from the Transition to Virtual Classroom», *Asia-Pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol. 9, no. 6, pp. 619–628, 2023. DOI: 10.47116/apjcri.2023.06.48.
29. I. Wideasanti, N. A. Ramadhan, M. Alfarizi, A. N. Fairus, A. W. Oktafiani, and D. Thahur, «Utilization of Multimedia Facilities and Internet Media as Effective Learning Tools», *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 6, pp. 148–153, 2023. DOI: 10.29303/jppipa.v9i6.3805.
30. M. Ayu, «Online Learning: Leading e-Learning at Higher Education», *The Journal of English Literacy Education: The Teaching and Learning of English as a Foreign Language*, vol. 7, no. 1, pp. 47–54, 2020. DOI: 10.36706/jele.v7i1.11515.
31. El Gourari, M. Skouri, M. Raoufi, and F. Ouatik, «The Future of the Transition to E-learning and Distance Learning Using Artificial Intelligence», *2020 Sixth International Conference on E-Learning (Econf)*, pp. 279–284, 2020. DOI: 10.1109/econf51404.2020.9385464.
32. M.P. L. Perera, «A Review: Artificial Intelligent Approach for Enhancing Adaptability in an Adaptive E-Learning Environment», *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 10, no. 4, pp. 37–42, 2021. DOI: 10.35940/ijeat.D2297.0410421.

33. J. A. N. Ansari and N. A. Khan, «Exploring the role of social media in collaborative learning the new domain of learning», *Smart Learning Environments*, vol. 7, no. 1, p. 9, 2020. DOI: 10.1186/s40561-020-00118-7.
34. C. Li, J. Guo, G. Zhang, Y. Wang, Y. Sun, and R. Bie, «A Blockchain System for E-Learning Assessment and Certification», *2019 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)*, pp. 212–219, 2019. DOI: 10.1109/SmartIoT.2019.00040.
35. H. Crompton and D. Burke, «The use of mobile learning in higher education: A systematic review», *Computers & Education*, vol. 123, pp. 53–64, 2018. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.04.007.
36. O. Oborska, M. Teliatynskyi, D. Dosyn, V. Lytvyn, and S. Kostenko, «An Intelligent System Based on Ontologies for Determining the Similarity of User Preferences», *Proc. 7th Int. Conf. Comput. Linguist. Intell. Syst.*, vol. III, no. 3403, pp. 283–292, 2023.
37. V. M. Bradley, «Learning Management System (LMS) Use with Online Instruction», *International Journal of Technology in Education*, vol. 4, no. 1, p. 68, 2020. DOI: 10.46328/ijte.36.
38. G. Stebbings, C. Mackintosh, A. Burden, and D. Sims, «Improving Student Progression in Distance Learning Using Synchronous Webinars», in *L. S. Agrati et al. (Eds.), Bridges and Mediation in Higher Distance Education*, vol. 1344, pp. 315–323, Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-67435-9\_24.
39. B. J. Beatty, Z. Merchant, and M. Albert, «Analysis of Student Use of Video in a Flipped Classroom», *TechTrends*, vol. 63, no. 4, pp. 376–385, 2019. DOI: 10.1007/s11528-017-0169-1.
40. R. Elcullada Encarnacion, A. A. Galang, and B. J. Hallar, «The Impact and Effectiveness of E-Learning on Teaching and Learning», *International Journal of Computing Sciences Research*, vol. 5, no. 1, pp. 383–397, 2021. DOI: 10.25147/ijcsr.2017.001.1.47.

41. R. C. Clark and R. E. Mayer, *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (Fourth edition). Wiley, 2016. DOI:10.1002/9781119239086
42. C. Shepherd, *Digital learning content: A designer's guide*. Onlignment, 2012.
43. J. Konert, «Interactive Multimedia Learning: Using Social Media for Peer Education in Single-Player Educational Games», *Springer International Publishing*, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-10256-6.
44. S. Rama Devi, T. Subetha, S. L. Aruna Rao, and M. K. Morampudi, «Enhanced Learning Outcomes by Interactive Video Content—H5P in Moodle LMS», in V. Suma et al. (Eds.), *Inventive Systems and Control* Vol. 436, pp. 189–203. Springer Nature Singapore, 2022. DOI: 10.1007/978-981-19-1012-8\_13.
45. D. M. Scott, *The new rules of marketing & PR: How to use social media, online video, mobile applications, blogs, news releases, and viral marketing to reach buyers directly* (Fifth edition). John Wiley & Sons, Inc., 2015.
46. T. Joosten, *Social media for educators: Strategies and best practices* (First edition). Jossey-Bass, 2012.
47. S. Moghavvemi, A. Sulaiman, N. I. Jaafar, and N. Kasem, «Social media as a complementary learning tool for teaching and learning: The case of youtube», *The International Journal of Management Education*, vol. 16, no. 1, pp. 37–42, 2018. DOI: 10.1016/j.ijme.2017.12.001.
48. R. Chugh and U. Ruhi, «Social media in higher education: A literature review of Facebook», *Education and Information Technologies*, vol. 23, no. 2, pp. 605–616, 2018. DOI: 10.1007/s10639-017-9621-2.
49. H. Kilinc and H. Altinpulluk, «Discussion Forums as a Learning Material in Higher Education Institutions», *International Journal of Higher Education Pedagogies*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2021. DOI: 10.33422/ijhep.v2i1.25.
50. H. Friedman and L. W. Friedman, «Using Social Media Technologies to Enhance Online Learning», *The Journal of Educators Online*, vol. 10, no. 1, 2013. DOI: 10.9743/JEO.2013.1.5.

51. S. Ennouamani and Z. Mahani, «An overview of adaptive e-learning systems», 2017 *Eighth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, pp. 342–347, 2017. DOI: 10.1109/INTELCIS.2017.8260060.
52. D. Koutsantonis, K. Koutsantonis, N. P. Bakas, V. Plevris, A. Langousis, and S. A. Chatzichristofis, «Bibliometric Literature Review of Adaptive Learning Systems», *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12684, 2022. DOI: 10.3390/su141912684.
53. A. Ezzaim, A. Dahbi, N. Assad, and A. Haidine, «AI-Based Adaptive Learning State of the Art», in J. Kacprzyk, M. Ezziyyani, & V. E. Balas (Eds.), *International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development*, Vol. 637, pp. 155–167. Springer Nature Switzerland, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-26384-2\_14.
54. E. Jando, H. Meyliana, A. N. Hidayanto, H. Prabowo, H. L. H. S. Warnars, and S. Sasmoko, «Personalized E-learning Model: A systematic literature review», 2017 *International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, pp. 238–243, 2017. DOI: 10.1109/ICIMTech.2017.8273544.
55. T. Bates, *Teaching in a digital age*. SFU Document Solutions, Simon Fraser University, 2015.
56. D. Laurillard, *Teaching as a design science: Building pedagogical patterns for learning and technology*. Routledge, 2012.
57. S. A. D. Popenici and S. Kerr, «Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education», *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, vol. 12, no. 1, p. 22, 2017. DOI: 10.1186/s41039-017-0062-8.
58. W. L. Johnson and J. C. Lester, «Face-to-Face Interaction with Pedagogical Agents, Twenty Years Later», *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 26, no. 1, pp. 25–36, 2016. DOI: 10.1007/s40593-015-0065-9.
59. К. Певень, Н. Хміль, та Н. Макогончук, «Вплив штучного інтелекту на зміну традиційних моделей навчання та викладання: аналіз технологій для забезпечення ефективності індивідуальної освіти», *Перспективи та інновації науки*, № 11(29), С. 306–316, 2023. DOI: 10.52058/2786-4952-2023-11(29)-306-316.

60. Cognii: Artificial Intelligence for Education. Дата звернення: 13 липня 2023. Online. URL: <https://www.cognii.com/>
61. CТИ: Content Technologies Inc. Дата звернення: 13 липня 2023. Online. URL: <https://contenttechnologiesinc.com/>
62. Learn without limits. Дата звернення: 13 липня 2023. Online. URL: <https://www.coursera.org/>
63. Duolingo: Безкоштовний, веселий та ефективний спосіб вивчення мови! Дата звернення: 13 липня 2023. Online. URL: <https://uk.duolingo.com/>
64. ALEKS Uses Machine Learning. Дата звернення: 13 липня 2023. Online. URL: [https://www.aleks.com/about\\_aleks](https://www.aleks.com/about_aleks)
65. Brightspace: So Much More Than a Learning Management System. Дата звернення: 13 липня 2023. Online. URL: <https://www.d2l.com/brightspace/>
66. ChatGPT. Дата звернення: 10 серпня 2023. Online. URL: <https://chat.openai.com/>
67. OpenAI, OpenAI GPT. Дата звернення: 10 серпня 2023. Online. URL: <https://openai.com/research/gpt>
68. K. Zhang and A. B. Aslan, «AI technologies for education: Recent research & future directions», *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 2, 100025, 2021. DOI: 10.1016/j.caeai.2021.100025.
69. R. Socher, M. Ganjoo, H. Sridhar, O. Bastani, C. D. Manning, and A. Y. Ng, *Zero-Shot Learning Through Cross-Modal Transfer*. pp. 935–943, 2013. DOI: 10.48550/ARXIV.1301.3666.
70. P. Smutny and P. Schreiberova, «Chatbots for learning: A review of educational chatbots for the Facebook Messenger», *Computers & Education*, vol. 151, 103862, 2020. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103862.
71. S. S. Sohail, F. Farhat, Y. Himeur, M. Nadeem, D. Ø. Madsen, Y. Singh, S. Atalla, and W. Mansoor, «Decoding ChatGPT: A taxonomy of existing research, current challenges, and possible future directions», *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 35, no. 8, 101675, 2023. DOI: 10.1016/j.jksuci.2023.101675.

72. M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, S. Khan, and I. H. Khan, «Unlocking the opportunities through ChatGPT Tool towards ameliorating the education system», *BenchCouncil Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations*, vol. 3, no. 2, 100115, 2023. DOI: 10.1016/j.tbench.2023.100115.
73. К. Мамчур, «Особливості використання ChatGPT для розвитку професійної компетентності науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів», *Військова освіта*, С. 154–160, 2023. DOI: 10.33099/2617-1783/2023-47/154-160.
74. T. B. Brown et al., *Language Models are Few-Shot Learners*, 2020. DOI: 10.48550/ARXIV.2005.14165.
75. A. Vaswani et al., *Attention Is All You Need*, 2017. DOI: 10.48550/ARXIV.1706.03762.
76. Y. Wu et al., *Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation*, 2016. DOI: 10.48550/ARXIV.1609.08144.
77. B. D. Lund and T. Wang, «Chatting about ChatGPT: How may AI and GPT impact academia and libraries?», *Library Hi Tech News*, vol. 40, no. 3, pp. 26–29, 2023. DOI: 10.1108/LHTN-01-2023-0009.
78. Р. Вовнянка, «Методи та засоби планування дій спеціалізованих інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу», Національний університет «Львівська політехніка», 2017. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1431-/dysvovniankarv.pdf>.
79. А. О. Бережний, М. Ю. Сорока, та Н. А. Сало, «Методи рішення завдань планування поведінки агентів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень», *Збірник наукових праць харківського національного університету повітряних сил*, №. 4(62), С. 18–24, 2019. DOI: 10.30748/zhups.2019.62.02.
80. В. Бочок та Н. Федорова, «Багатоагентні системи та проблеми їх оптимізації», *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*, №. 1(2), С. 131–137, 2023. DOI: 10.32782/2663-5941/2023.2.1/21.

81. Є. Я. Демченко, «Методи рішення завдань планування поведінки агентів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень», у *Science, Engineering and Technology: Global Trends, Problems and Solutions*, С. 25–29, 2020. DOI: 10.30525/978-9934-588-79-2-1.5.
82. О. Коноваленко та В. Брусенцев, «Мультиагентні системи управління та підтримки прийняття рішень», *Вісник національного технічного університету «ХПИ»*, №. 1, С. 18–27, 2019. DOI: 10.20998/2079-0775.2019.1.03.
83. В. Круглик та А. Маринов, «Використання інтелектуальних програмних агентів для створення адаптивного середовища електронного навчання на базі LMS MOODLE», *Цифрова трансформація та диджитал технології для сталого розвитку всіх галузей сучасної освіти, науки і практики*, С. 306–308, 2023.
84. А. Лозинський, В. Теслюк, А. Зелінський, та О. Нарушинська, «Аналіз сучасного стану мультиагентних систем», *Моделювання та інформаційні технології*, №. 81, С. 156–166, 2017.
85. Ю. Кубрак, Д. Плечистий, та В. Романішин, «Принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту», *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, №. 48, С. 76–82, 2022. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2022-48-12.
86. El Fazazi, M. Elgarej, M. Qbadou, та K. Mansouri, «Design of an Adaptive e-Learning System based on Multi-Agent Approach and Reinforcement Learning», *Engineering, Technology & Applied Science Research*, no 11(1), pp. 6637–6644, 2021. DOI: 10.48084/etasr.3905.
87. E. I. Zaytsev, R. F. Khalabiya, I. V. Stepanova, та L. V. Bunina, «Multi-Agent System of Knowledge Representation and Processing», *Proceedings of the Fourth International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI 19)*, no. 1156, pp. 131–141, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-50097-9\_14.



88. M. Ali Hussein та H. K. M. Al-Chalabi, «Pedagogical Agents in an Adaptive E-learning System», *SAR Journal - Science and Research*, pp. 24–30, 2020. DOI: 10.18421/SAR31-04.
89. M. Nadrljanski, D. Vukic, та D. Nadrljanski, «Multi-agent systems in e-learning», *41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pp. 990–995, 2018. DOI: 10.23919/MIPRO.2018.8400181.
90. A. N. Schvetsov, S. U. Rzheutskaya, A. P. Sergushicheva, та A. A. Sukonschikov, «Architecture of intellectual agent-oriented educational complex for training of technical specialists», *Open Education*, № 22(3), pp. 14–24, 2018. DOI: 10.21686/1818-4243-2018-3-14-24.
91. Р. Бойко та Д. Ук, «Поняття та властивості агента в багатоагентних інформаційних системах», *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: матеріали її міжнародної науково-технічної конференції*, С. 136–137, 2015.
92. Д. Самодурова, «Інтелектуальні агенти та мультиагентні системи у виробництві», *Економічний вісник Донбасу*, № 2 (56), С. 179–186, 2019. DOI: 10.12958/1817-3772-2019-2(56)-179-186.
93. О. Симоненко, Я. Уманець, В. Романюк, та О. Сова, «Аналіз можливостей використання інтелектуальних агентів для побудови системи управління вузлами радіомереж класу MANET», *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*, № 1, С. 76–84, 2013.
94. О. Огнєвий, М. Заворотний, та А. Огнева, «Методи створення мультиагентних систем управління інформаційними ресурсами у реальному часі», *Вісник Хмельницького національного університету*, № 4, С. 106–110, 2019.
95. В. В. Литвин, «Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології», *Радіоелектроніка Інформатика Управління*, № 2, С. 120–126, 2009.

96. A. Esteban, A. Zafra, та C. Romero, «Helping university students to choose elective courses by using a hybrid multi-criteria recommendation system with genetic optimization», *Knowledge-Based Systems*, no 194, pp. 105385, 2020. DOI: 10.1016/j.knosys.2019.105385.
97. A. Cañas, J. Santos, L. Anido-Rifón, та R. Perez-Rodriguez, «A Recommender System for Non-traditional Educational Resources: A Semantic Approach», *Journal of Universal Computer Science*, no 21(2), pp. 306–325, 2015.
98. H. Ko, S. Lee, Y. Park, та A. Choi, «A Survey of Recommendation Systems: Recommendation Models, Techniques, and Application Fields», *Electronics*, no 11(1), pp. 141, 2022. DOI: 10.3390/electronics11010141.
99. B. Ojokoh, M. Omisore, O. Samuel, та T. Ogunniyi, «A fuzzy logic based personalized recommender system», *International Journal of Computer Science and Information Technology & Security*, no 2(5), pp 1008–1015, 2012.
100. O. Artemenko, N. Kunanets, та V. Pasichnyk, «E-tourism recommender systems: A survey and development perspectives», *Econtechmod*, no 6(2), pp. 91–95, 2017.
101. F. Wang, Y. Huang, та Q. Ma, «Personalized Recommendation System of College Students' Employment Education Resources Based on Cloud Platform», *W. Fu & G. Sun (Eds.), E-Learning, e-Education, and Online Training* (Vol. 454, pp. 318–333). Springer Nature Switzerland, 2022. DOI: 10.1007/978-3-031-21164-5\_25.
102. J. Lin, H. Pu, Y. Li, та J. Lian, «Intelligent Recommendation System for Course Selection in Smart Education», *Procedia Computer Science*, no 129, pp. 449–453, 2018. DOI: 10.1016/j.procs.2018.03.023.
103. J. Shu, X. Shen, H. Liu, B. Yi, та Z. Zhang, «A content-based recommendation algorithm for learning resources», *Multimedia Systems*, no 24(2), pp. 163–173, 2018. DOI: 10.1007/s00530-017-0539-8.
104. Z. Xu та S. Jiang, «Study on Personalized Recommendation Algorithm of Online Educational Resources Based on Knowledge Association», *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, pp. 1–9. DOI: 10.1155/2022/2192459.
105. H. Slimani, O. Hamal, N.-E. El Faddouli, S. Bennani, та N. Amrous, «Semantic recommendation system of digital educational resources», *Proceedings of the 12th*

- International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications*, pp. 1–6, 2018. DOI: 10.1145/3289402.3289513.
106. A. Morales, J. Gonzalez, K. Alquerque, J. Reyes, та S. Sanchez, «Recommendation system with graph-oriented databases for repository of open educational resources», *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, no 1154(1), pp. 012021, 2021. DOI: 10.1088/1757-899X/1154/1/012021.
107. P. Dwivedi та K. K. Bharadwaj, «E-Learning recommender system for a group of learners based on the unified learner profile approach», *Expert Systems*, no 32(2), pp. 264–276, 2015. DOI: 10.1111/exsy.12061.
108. J. K. Tarus, Z. Niu, та G. Mustafa, «Knowledge-based recommendation: A review of ontology-based recommender systems for e-learning», *Artificial Intelligence Review*, no 50(1), pp. 21–48, 2018. DOI: 10.1007/s10462-017-9539-5.
109. О. Пурський та О. Харченко, «Використання рекомендаційних систем на основі методів Machine Learning у рамках вивчення дисципліни «Електронна торгівля» *Новітні комп'ютерні технології*, № 16, С. 147–151, 2018.
110. X. Xie та X. Zhang, «Research on educational resource recommendation system based on MRLG Rec», *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 2022. DOI: 10.2478/amns.2021.2.00287.
111. М. Негрей та Т. Гнот, «Компаративний аналіз ефективності рекомендаційних систем в маркетингу», *Вісник хмельницького національного університету*, № 5, С. 278–286, 2017.
112. Є. Мелешко, С. Семенов, та В. Хох, «Дослідження методів побудови рекомендаційних систем в мережі інтернет», *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, № 1(47), С. 131–136, 2018. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.1.131.
113. Y. Liu, «Personalized Recommendation Service of Educational Media Resources Based on Multi-dimensional Feature Fusion», *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, no 18(07), pp. 131–146, 2023. DOI: 10.3991/ijet.v18i07.39233.

114. V. Thongchotchat, Y. Kudo, Y. Okada, and K. Sato, «Educational Recommendation System Utilizing Learning Styles: A Systematic Literature Review», *IEEE Access*, no 11, pp. 8988–8999, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3238417.
115. L. Chernova and L. Chernova, «Cognitive modeling of knowledge management mechanisms in the training of specialists», *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no 4(14), pp. 86–93, 2020. DOI: 10.30837/ITSSI.2020.14.086.
116. Г. Карнаухова та М. Саєнсус, «Управління слабоструктурованими системами: Когнітивний підхід», *Науковий вісник одеського національного економічного університету*, № 4, С. 34–46, 2017.
117. О. Ткаченко, «Когнітивне моделювання складних систем», *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*, № 2(1), С. 11–19, 2019. DOI: 10.31866/2617-796x.2.1.2019.175650.
118. A. V. Teploukhov, O. A. Chikova, and I. Sartakov, «Cognitive modeling of the quality management system of distance learning of pupils in the digital educational environment», *Journal of Pedagogical Innovations*, no 3, pp. 64–76, 2021. DOI: 10.15293/1812-9463.2103.06.
119. S. Embretson, «Understanding examinees' item responses through cognitive modeling of response accuracy and response times», *Large-Scale Assessments in Education*, no 11(1), pp. 9, 2023. DOI: 10.1186/s40536-023-00158-8.
120. M. Malhotra and T. R. G. Nair, «Evolution of Knowledge Representation and Retrieval Techniques», *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, no 7(7), pp. 18–28, 2015. DOI: 10.5815/ijisa.2015.07.03.
121. С. Гогонянц, О. Заболотний, А. Клочко, та Є. Руденко, «Моделі проектування знань експертно-навчальної системи підготовки військових фахівців», *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, № 40(1), С. 137–142, 2021. DOI: 10.33099/2311-7249/2021-40-1-137-142.
122. P. Dadure, P. Pakray, and S. Bandyopadhyay, «Challenges and Opportunities in Knowledge Representation and Reasoning», *J. Wang (Ed.), Encyclopedia of Data*

- Science and Machine Learning*, pp. 2464–2477, IGI Global, 2022. DOI: 10.4018/978-1-7998-9220-5.ch148.
123. L. Muhammad, E. Garba, N. Oye, and G. Wajiga, «Modeling Techniques for Knowledge Representation of Expert System: A Survey», *Journal of Applied Computer Science & Mathematics*, no 13(2), pp. 39–44, 2019. DOI: 10.4316/JACSM.201902006.
  124. V. V. Pasichnyk, A. Y. Bomba, M. V. Nazaruk, and N. E. Kunanets, «The dynamics simulation of knowledge potentials of agents including the feedback», *Journal of Physics: Conference Series*, no 1840(1), pp. 012020, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1840/1/012020.
  125. A. Bomba, M. Nazaruk, N. Kunanets, and V. Pasichnyk, «Modeling the Dynamics of Knowledge Potential of Agents in the Educational Social and Communication Environment», in *N. Shakhovska & M. O. Medykovsky (Eds.), Advances in Intelligent Systems and Computing IV*, pp. 17–24, Springer International Publishing, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-33695-0\_2.
  126. A. Bomba, T. Lechachenko, & M. Nazaruk, «Modeling the Dynamics of “Knowledge Potentials” of Agents Including the Stakeholder Requests», in *Z. Hu, S. Petoukhov, I. Dychka, & M. He (Eds.), Advances in Computer Science for Engineering and Education IV*, pp. 75–88, Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-80472-5\_7.
  127. Н. Кунанець, В. Ленько, В. Пасічник, та Ю. Щербина, «Персональні бази даних та знань віртуальних дослідницьких спільнот», *Науковий вісник НЛТУ України*, № 27(6), С. 185–191, 2017. DOI: 10.15421/40270638.
  128. J. Raudeliuniene, «Organizational Knowledge Potential: Peculiarities of Formation Strategic Decisions», *Journal of System and Management Sciences*, no 12, pp. 548–560, 2022. DOI: 10.33168/JSMS.2022.0632.
  129. E. Ioannidis, N. Varsakelis, and I. Antoniou, «Intelligent Agents in Co-Evolving Knowledge Networks», *Mathematics*, № 9(1), С. 103, 2021. DOI: 10.3390/math9010103.

130. А. Бомба, В. Пасічник, та М. Назарук, «Побудова дифузійноподібної моделі інформаційного процесу поширення знаннєвого потенціалу», *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології*, № 800, С. 35–44, 2014.
131. B. Nguyen, A. B. Radnejad, A. Verbeke, and A. Zoirou, «ICT knowledge transfer in complex organizations: Investigating antecedents of potential absorptive capacity», *Journal of Information Technology Case and Application Research*, no 24(3), pp. 184–223, 2022. DOI: 10.1080/15228053.2022.2072162.
132. X. Li and B. Zhang, «Workflow-based Knowledge Flow Modeling and Research: Combination of Knowledge and Workflow», у *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Application Engineering*, pp. 1–6, 2019. DOI: 10.1145/3331453.3362051.
133. B. Yang and M. Yang, «Research on enterprise knowledge service based on semantic reasoning and data fusion», *Neural Computing and Applications*, no 34(12), pp. 9455–9470, 2022. DOI: 10.1007/s00521-021-06382-z.
134. Yu. Budaretskiy, Yu. Shchavinskiy, V. Kuznetsov, and S. Nikolayev, «Application of the method of analysis of hierarchies to assess the software of complexes of automation means», *Military Technical Collection*, no 25, pp. 3–12, 2021. DOI: 10.33577/2312-4458.25.2021.3-12.
135. T. V. Divina, E. A. Petrakova, and A. V. Cherskov, *Applying the hierarchy analysis method to evaluate learning outcomes*, 040071, 2022. DOI: 10.1063/5.0104789.
136. T. Kyrylych and Y. Povstenko, «Multi-Criteria Analysis of Startup Investment Alternatives Using the Hierarchy Method», *Entropy*, no 25(5), pp. 723, 2023. DOI: 10.3390/e25050723.
137. М. Усов, «До питання застосування методу аналізу ієрархій», *Вісник національного технічного університету ХПІ*, № (24), С. 144–147, 2019. DOI: 10.20998/2519-4461.2019.24.144.
138. О. Олецкий та О. Тригуб, «Про застосування методу аналізу ієрархій для автоматизованого оцінювання студентських робіт», *Наукові записки НаУКМА*.

- Комп'ютерні науки*, № 3, С. 127–131, 2020. DOI: 10.18523/2617-3808.2020.3.127-131.
139. Д. С., Гребенюк та В. В. Давидов «Метод первинного виділення хмарних обчислювальних ресурсів на основі аналізу ієрархій», *Системи управління, навігації та зв'язку. збірник наукових праць*, № 3(61), С. 80–85, 2020. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.3.080.
140. K. Vlasenko, S. Volkov, I. Sitak, I. Lovianova, and D. Bobylev, «Usability analysis of on-line educational courses on the platform “Higher school mathematics teacher”», *E3S Web of Conferences*, no 166, 10012, 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202016610012.
141. I. I. Skripina, T. V. Zaitseva, and N. P. Putivtseva, «Analysis and selection of a mathematical model using the hierarchy analysis method», *Research Result. Information Technologies*, no 6(2), 2021. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-2-0-6.
142. L. J. Muhammad, E. J. Garba, N. D. Oye, G. M. Wajiga, and A. B. Garko, «Fuzzy rule-driven data mining framework for knowledge acquisition for expert system», *Translational Bioinformatics in Healthcare and Medicine*, pp. 201–214, Elsevier, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-323-89824-9.00017-3.
143. А. М. Куц, «Метод представлення експертної інформації засобами нечіткої логіки та отримання групової оцінки думок експертів», *Technology Audit and Production Reserves*, № 2(22), С. 17–21, 2015. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40778.
144. Ю. Грицюк та В. Далявський, «Використання пелюсткових діаграм для візуалізації результатів експертного оцінювання якості програмного забезпечення», *Науковий вісник НЛТУ України*, № 28(9), С. 95–104, 2018. DOI: 10.15421/40280919.
145. M. Waldner, A. Diehl, D. Gracanin, R. Splechtna, C. Delrieux, and K. Matkovic, «A Comparison of Radial and Linear Charts for Visualizing Daily Patterns», *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, pp. 1–1, 2019. DOI: 10.1109/TVCG.2019.2934784.

146. М. Мар'єнко та Коваленко, «Штучний інтелект та відкрита наука в освіті», *Physical and Mathematical Education.*, № 38 (1), С. 48–53, 2023. DOI: 10.31110/2.
147. Т. Підгорна та І. Твердохліб, «Особливості підготовки майбутніх учителів до впровадження інтегративного підходу в освітній процес», *Ukrainian Educational Journal*, № 3, С. 132–143, 2023. DOI: 10.32405/2411-1317-2023-3-132-143.
148. В. Биков, С. Литвинова, та О. Мельник, «Ефективність навчання з використанням електронних освітніх ігрових ресурсів у початковій школі», *Інформаційні технології та засоби навчання*, № 62(6), С. 34, 2017. DOI: 10.33407/itlt.v62i6.1937.
149. О. Малихін, Н. Арістова, та В. Рогова, «Застосування онлайн-дошки Міро в закладах загальної середньої освіти в умовах змішаного навчання», *Ukrainian Educational Journal*, № 1, С. 52–58, 2023. DOI: 10.32405/2411-1317-2023-1-52-58.
150. М. Шишкіна та Ю. Носенко, «Перспективні технології з елементами штучного інтелекту для професійного розвитку педагогічних кадрів», *Physical and Mathematical Education*, № 38(1), С. 66–71, 2023. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-1-010.
151. Т. Kovaliuk, О. Chaikovska «Educational Programs And Professional Standards In The It Field As Factors Of Development Of It Education». *Сучасні інформаційні системи*. Т. 2, № 2, С. 53-60. 2018. doi: 10.20998/2522-9052.2018.2.09.
152. О. Верес та Я. Левус, «Рекомендаційна система планування дозвілля в умовах карантину», *Вісник Національного університету «Львівська Політехніка» Інформаційні системи та мережі*, 2022, №11, С. 127–144



## ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. РОЗРАХУНКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ  
НАВЧАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЗА МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Таблиця 1.

Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм «навчальні матеріали»

Альтернативи	GeoGebra	Maple	MathCAD	Mathematica	MatLAB	Maxima	SageMath	SMath Studio
GeoGebra	1,00	4,00	7,00	2,00	6,00	7,00	3,00	3,00
Maple	0,25	1,00	3,00	0,33	2,00	3,00	0,50	0,50
MathCAD	0,14	0,33	1,00	0,20	0,50	1,00	0,25	0,25
Mathematica	0,50	3,00	5,00	1,00	4,00	5,00	2,00	2,00
MatLAB	0,17	0,50	2,00	0,25	1,00	2,00	0,33	0,33
Maxima	0,14	0,33	1,00	0,20	0,50	1,00	0,25	0,25
SageMath	0,33	2,00	4,00	0,50	3,00	4,00	1,00	1,00
SMath Studio	0,33	2,00	4,00	0,50	3,00	4,00	1,00	1,00
Сума	<b>2,86</b>	<b>13,16</b>	<b>27,00</b>	<b>4,98</b>	<b>20,00</b>	<b>27,00</b>	<b>8,33</b>	<b>8,33</b>

Таблиця 2.

## Ваги альтернатив за критерієм «навчальні матеріали»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra	Сума	Вага альтернативи
Maple	0,076	0,066	0,111	0,111	0,100	0,060	0,060	0,087	0,672	<b>0,084</b>
Mathematica	0,228	0,201	0,185	0,185	0,200	0,240	0,240	0,175	1,654	<b>0,207</b>
MathCAD	0,025	0,040	0,037	0,037	0,025	0,030	0,030	0,050	0,274	<b>0,034</b>
Maxima	0,025	0,040	0,037	0,037	0,025	0,030	0,030	0,049	0,273	<b>0,034</b>
MatLAB	0,038	0,050	0,074	0,074	0,050	0,040	0,040	0,058	0,424	<b>0,053</b>
SMath Studio	0,152	0,100	0,148	0,148	0,150	0,120	0,120	0,115	1,054	<b>0,132</b>
SageMath	0,152	0,100	0,148	0,148	0,150	0,120	0,120	0,115	1,054	<b>0,132</b>
GeoGebra	0,304	0,402	0,259	0,259	0,300	0,360	0,360	0,350	2,594	<b>0,324</b>
Сума	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>8,000</b>	<b>1,000</b>

Таблиця 3.

## Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм «он-лайн режим»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra
<b>Maple</b>	1,00	0,25	7,00	7,00	1,00	3,00	3,00	0,25
<b>Mathematica</b>	4,00	1,00	9,00	9,00	4,00	5,00	5,00	1,00
<b>MathCAD</b>	0,14	0,11	1,00	1,00	0,14	0,20	0,20	0,11
<b>Maxima</b>	0,14	0,11	1,00	1,00	0,14	0,20	0,20	0,11
<b>MatLAB</b>	1,00	0,25	7,00	7,00	1,00	3,00	3,00	0,20
<b>SMath Studio</b>	0,33	0,20	5,00	5,00	0,33	1,00	1,00	0,17
<b>SageMath</b>	0,33	0,20	5,00	5,00	0,33	1,00	1,00	0,17
<b>GeoGebra</b>	4,00	1,00	9,00	9,00	5,00	6,00	6,00	1,00
<b>Сума</b>	<b>10,94</b>	<b>3,12</b>	<b>44,00</b>	<b>44,00</b>	<b>11,94</b>	<b>19,40</b>	<b>19,40</b>	<b>3,01</b>

Таблиця 4.

## Ваги альтернатив за критерієм «он-лайн режим»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra	Сума	Вага альтернативи
<b>Maple</b>	0,091	0,080	0,159	0,159	0,084	0,155	0,155	0,083	0,966	<b>0,121</b>
<b>Mathematica</b>	0,366	0,320	0,205	0,205	0,335	0,258	0,258	0,332	2,278	<b>0,285</b>
<b>MathCAD</b>	0,013	0,035	0,023	0,023	0,012	0,010	0,010	0,037	0,163	<b>0,020</b>
<b>Maxima</b>	0,013	0,036	0,023	0,023	0,012	0,010	0,010	0,037	0,163	<b>0,020</b>
<b>MatLAB</b>	0,091	0,080	0,159	0,159	0,084	0,155	0,155	0,066	0,949	<b>0,119</b>
<b>SMath Studio</b>	0,030	0,064	0,114	0,114	0,028	0,052	0,052	0,055	0,508	<b>0,063</b>
<b>SageMath</b>	0,030	0,064	0,114	0,114	0,028	0,052	0,052	0,057	0,509	<b>0,064</b>
<b>GeoGebra</b>	0,366	0,320	0,205	0,205	0,419	0,309	0,309	0,332	2,465	<b>0,308</b>
<b>Сума</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>8,000</b>	<b>1,000</b>

Таблиця 5.

## Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм «мобільний додаток»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra
<b>Maple</b>	1,00	0,13	1,00	0,33	0,17	0,17	1,00	0,11
<b>Mathematica</b>	8,00	1,00	8,00	5,00	2,00	2,00	8,00	0,50
<b>MathCAD</b>	1,00	0,13	1,00	0,33	0,17	0,17	1,00	0,11
<b>Maxima</b>	3,00	0,20	3,00	1,00	0,33	0,33	3,00	0,17
<b>MatLAB</b>	6,00	0,50	6,00	3,00	1,00	1,00	6,00	0,25

<b>SMath Studio</b>	6,00	0,50	6,00	3,00	1,00	1,00	6,00	0,25
<b>SageMath</b>	1,00	0,13	1,00	0,33	0,17	0,17	1,00	0,11
<b>GeoGebra</b>	9,00	2,00	9,00	6,00	4,00	4,00	9,00	1,00
<b>Сума</b>	<b>35,00</b>	<b>4,58</b>	<b>35,00</b>	<b>18,99</b>	<b>8,83</b>	<b>8,84</b>	<b>35,00</b>	<b>2,50</b>

Таблиця 6

## Ваги альтернатив за критерієм «мобільний додаток»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra	Сума	Вага альтернативи
<b>Maple</b>	0,029	0,027	0,029	0,017	0,019	0,019	0,029	0,044	0,213	<b>0,027</b>
<b>Mathematica</b>	0,229	0,218	0,229	0,263	0,226	0,226	0,229	0,200	1,820	<b>0,228</b>
<b>MathCAD</b>	0,029	0,028	0,029	0,017	0,019	0,019	0,029	0,044	0,214	<b>0,027</b>
<b>Maxima</b>	0,086	0,044	0,086	0,053	0,037	0,037	0,086	0,067	0,495	<b>0,062</b>
<b>MatLAB</b>	0,171	0,109	0,171	0,158	0,113	0,113	0,171	0,100	1,108	<b>0,138</b>
<b>SMath Studio</b>	0,171	0,109	0,171	0,158	0,113	0,113	0,171	0,100	1,108	<b>0,138</b>
<b>SageMath</b>	0,029	0,027	0,029	0,017	0,019	0,019	0,029	0,044	0,213	<b>0,027</b>
<b>GeoGebra</b>	0,257	0,437	0,257	0,316	0,453	0,452	0,257	0,400	2,830	<b>0,354</b>
<b>Сума</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>8,000</b>	<b>1,000</b>

Таблиця 7.

## Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм «ліцензія»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra
<b>Maple</b>	1,00	0,33	0,20	0,14	0,50	0,14	0,14	0,14
<b>Mathematica</b>	3,00	1,00	0,25	0,14	0,00	0,14	0,14	0,14
<b>MathCAD</b>	5,00	4,00	1,00	0,14	5,00	0,14	0,14	0,14
<b>Maxima</b>	7,00	7,00	7,00	1,00	7,00	1,00	1,00	1,00
<b>MatLAB</b>	2,00	0,33	0,20	0,14	1,00	0,14	0,14	0,14
<b>SMath Studio</b>	7,00	7,00	7,00	1,00	7,00	1,00	1,00	1,00
<b>SageMath</b>	7,00	7,00	7,00	1,00	7,00	1,00	1,00	1,00
<b>GeoGebra</b>	7,00	7,00	7,00	1,00	7,00	1,00	1,00	1,00
<b>Сума</b>	<b>39,00</b>	<b>33,66</b>	<b>29,65</b>	<b>4,56</b>	<b>34,50</b>	<b>4,56</b>	<b>4,56</b>	<b>4,56</b>

Таблиця 8.

## Ваги альтернатив за критерієм «ліцензія»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	Sage Math	GeoGebra	Сума	Вага альтернативи
Maple	0,026	0,010	0,007	0,031	0,014	0,031	0,031	0,031	0,180	<b>0,023</b>
Mathematica	0,077	0,030	0,008	0,031	0,000	0,031	0,031	0,031	0,238	<b>0,030</b>
MathCAD	0,128	0,119	0,034	0,031	0,145	0,031	0,031	0,031	0,548	<b>0,069</b>
Maxima	0,179	0,208	0,236	0,219	0,203	0,219	0,219	0,219	1,703	<b>0,213</b>
MatLAB	0,051	0,010	0,007	0,031	0,029	0,031	0,031	0,031	0,220	<b>0,027</b>
SMath Studio	0,179	0,208	0,236	0,219	0,203	0,219	0,219	0,219	1,703	<b>0,213</b>
SageMath	0,179	0,208	0,236	0,219	0,203	0,219	0,219	0,219	1,703	<b>0,213</b>
GeoGebra	0,179	0,208	0,236	0,219	0,203	0,219	0,219	0,219	1,703	<b>0,213</b>
Сума	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>8,000</b>	<b>1,000</b>

Таблиця 9.

## Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм «підтримка мов»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra
Maple	1,00	0,33	0,25	0,33	1,00	0,14	1,00	0,11
Mathematica	3,00	1,00	0,33	2,00	3,00	0,20	3,00	0,14
MathCAD	4,00	3,00	1,00	4,00	4,00	0,33	4,00	0,33
Maxima	3,00	0,50	0,25	1,00	3,00	0,25	3,00	0,14
MatLAB	1,00	0,33	0,25	0,33	1,00	0,14	1,00	0,11
SMath Studio	7,00	5,00	3,00	4,00	7,00	1,00	7,00	0,50
SageMath	1,00	0,33	0,25	0,33	1,00	0,14	1,00	0,11
GeoGebra	9,00	7,00	3,00	7,00	9,00	2,00	9,00	1,00
Сума	<b>29,00</b>	<b>17,49</b>	<b>8,33</b>	<b>18,99</b>	<b>29,00</b>	<b>4,21</b>	<b>29,00</b>	<b>2,44</b>

Таблиця 10.

## Ваги альтернатив за критерієм «підтримка мов»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	Sage Math	GeoGebra	Сума	Вага альтернативи
Maple	0,034	0,019	0,030	0,017	0,034	0,034	0,034	0,045	0,249	<b>0,031</b>
Mathematica	0,103	0,057	0,040	0,105	0,103	0,048	0,103	0,057	0,618	<b>0,077</b>

<b>MathCAD</b>	0,138	0,172	0,120	0,211	0,138	0,078	0,138	0,135	1,129	<b>0,141</b>
<b>Maxima</b>	0,103	0,029	0,030	0,053	0,103	0,059	0,103	0,057	0,538	<b>0,067</b>
<b>MatLAB</b>	0,034	0,019	0,030	0,017	0,034	0,034	0,034	0,045	0,249	<b>0,031</b>
<b>SMath Studio</b>	0,241	0,286	0,360	0,211	0,241	0,238	0,241	0,205	2,023	<b>0,253</b>
<b>SageMath</b>	0,034	0,019	0,030	0,017	0,034	0,034	0,034	0,045	0,249	<b>0,031</b>
<b>GeoGebra</b>	0,310	0,400	0,360	0,369	0,310	0,475	0,310	0,409	2,944	<b>0,368</b>
<b>Сума</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>8,000</b>	<b>1,000</b>

Таблиця 11.

### Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм «відкритий код»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra
<b>Maple</b>	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	0,17	0,11
<b>Mathematica</b>	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	0,17	0,11
<b>MathCAD</b>	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	0,17	0,11
<b>Maxima</b>	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	3,00	1,00
<b>MatLAB</b>	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	0,17	0,11
<b>SMath Studio</b>	1,00	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	0,17	0,11
<b>SageMath</b>	6,00	6,00	6,00	0,33	6,00	6,00	1,00	0,33
<b>GeoGebra</b>	9,00	9,00	9,00	1,00	9,00	9,00	3,00	1,00
<b>Сума</b>	<b>29,00</b>	<b>29,00</b>	<b>29,00</b>	<b>2,88</b>	<b>29,00</b>	<b>29,00</b>	<b>7,85</b>	<b>2,88</b>

Таблиця 12.

### Ваги альтернатив за критерієм «відкритий код»

Альтернативи	Maple	Mathematica	MathCAD	Maxima	MatLAB	SMath Studio	SageMath	GeoGebra	Сума	Вага альтернативи
<b>Maple</b>	0,034	0,034	0,034	0,039	0,034	0,034	0,021	0,038	0,270	<b>0,034</b>
<b>Mathematica</b>	0,034	0,034	0,034	0,038	0,034	0,034	0,022	0,038	0,270	<b>0,034</b>
<b>MathCAD</b>	0,034	0,034	0,034	0,038	0,034	0,034	0,022	0,038	0,270	<b>0,034</b>
<b>Maxima</b>	0,310	0,310	0,310	0,347	0,310	0,310	0,382	0,347	2,628	<b>0,329</b>
<b>MatLAB</b>	0,034	0,034	0,034	0,038	0,034	0,034	0,022	0,038	0,270	<b>0,034</b>
<b>SMath Studio</b>	0,034	0,034	0,034	0,038	0,034	0,034	0,022	0,038	0,270	<b>0,034</b>
<b>SageMath</b>	0,207	0,207	0,207	0,115	0,207	0,207	0,127	0,115	1,391	<b>0,174</b>
<b>GeoGebra</b>	0,310	0,310	0,310	0,347	0,310	0,310	0,382	0,347	2,628	<b>0,329</b>
<b>Сума</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>8,000</b>	<b>1,000</b>

**ДОДАТОК Б.**  
**АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ**



**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Ректор Волинського національного  
університету імені Лесі Українки

професор Анатолій ЦЬОСЬ

**АКТ**

**впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Юнчик Валентини Леонідівни за темою «Інформаційні технології  
формування освітнього контенту для систем електронного навчання»,  
виконаного за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» на  
здобуття наукового ступеня доктор філософії**

Цим актом підтверджуємо впровадження (апробацію та використання) результатів наукових розвідок Юнчик Валентини Леонідівни. Дисертантка впродовж 2020-2023 років виконала цикл досліджень, пов'язаних з розробленням компонентів інформаційних технологій, що імплементовані у прототипі рекомендаційної системи оцінювання електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту для систем електронного навчання.

Засвідчуємо, що апробація основних результатів та наукових рекомендацій, сформульованих Юнчик В.Л., проведена на базі факультету інформаційних технологій і математики Волинського національного університету імені Лесі Українки, який є базовим структурним підрозділом, де зосереджена підготовка бакалаврів та магістрів за спеціальностями 12 освітньої галузі – Інформаційні технології.

Дисертанткою проведено апробаційні цикли щодо методик оцінювання електронних навчальних ресурсів, а саме систем комп'ютерної математики з використанням методів нечіткої логіки, аналізу ієрархій та попарних порівнянь, а також інформаційно-технологічних втілень зазначених методів. Характерною особливістю розроблених та запрограмованих дисертанткою компонентів

інформаційних технологій є сформований оригінальний графічний інтерфейс, який забезпечує подання результатів комп'ютерних розрахунків у формі віялових діаграм, що є доволі зручним унаочненням вироблених системою рекомендацій.

Апробування автоматизованих методик, запропонованих дисертанткою, оцінювання якості освітнього контенту проводилося на рівні науково-педагогічних колективів випускових кафедр та науково-методичної комісії факультету і загалом підтвердило коректність наукових висновків, зроблених дисертанткою та ефективність запропонованих методик.

Дисертантка передала до науково-методичної бібліотеки факультету результати своїх наукових розвідок у формі відбитків наукових статей за своїм авторством (співавторством), опублікованих як у вітчизняних фахових виданнях, так і наукових виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних. Передані дисертанткою програмні модулі, які складають базис прототипу відповідної рекомендаційної системи, а також повний текст рукопису дисертаційної роботи.

Декан факультету інформаційних  
технологій і математики  
канд. пед. наук, доцент

Світлана ЯЦЮК

Заступник голови науково-методичної  
комісії факультету, заступник декана  
з наукової та грантової діяльності  
канд. пед. наук, доцент

Ольга ШВАЙ

Завідувач кафедри загальної математики  
та методики навчання інформатики,  
канд. фіз.-мат. наук, доцент

Марія ХОМЯК



ПІДПИС *С.Сенюк, О.Швай, М.Хом'як*  
ЗАСВІДЧУЮ  
Вчений секретар університету  
«06» 11 2023 р. *Сенюк С.С.*



## АКТ

*щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження Юнчик Валентини  
Леонідівни «Інформаційні технології формування освітнього контенту для систем  
електронного навчання» у відокремленому структурному підрозділі «Золочівський  
фаховий коледж Національного університету  
«Львівська політехніка»*

Цим актом ми підтверджуємо проведення апробаційних та тестових випробувань і дослідного використання в Золочівському фаховому коледжі НУ «Львівська політехніка» компонентів інформаційних технологій, розроблених Юнчик Валентиною Леонідівною, в процесі виконання нею дисертаційного дослідження за темою «Інформаційні технології формування освітнього контенту для систем електронного навчання», що проводилось впродовж 2020-2023 років за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Апробація запропонованих дисертанткою методів та розроблених нею програмно-алгоритмічних засобів проводилась на базі освітнього контенту та освітніх методичних матеріалів, які використовуються в процесі підготовки фахових молодших бакалаврів за спеціальностями «Інженерія програмного забезпечення» та «Комп'ютерні науки». Процедури експертного оцінювання якості освітнього контенту реалізовувались за авторськими методиками, запропонованими Юнчик В.Л., з використанням компонентів інформаційних технологій, які складають основу прототипу відповідної рекомендаційної системи. В процесах оцінювання, підготовки та ухвалення відповідних рішень щодо якості освітнього контенту брали участь викладачі циклової комісії природничо-математичних та комп'ютерних дисциплін Золочівського фахового коледжу НУ «Львівська політехніка». Практична апробація методики підтвердила правильність та коректність проектних рішень та використання адекватного математичного та програмно-алгоритмічного інструментарію, покладеного в їхню основу.

Ми плануємо продовжити творчу співпрацю з Валентиною Леонідівною Юнчик з метою подальшого розширення бази практичного використання комп'ютерних методик оцінювання якості освітнього контенту для систем електронного навчання професійних бакалаврів як за ІТ профілем, так і за спеціальностями юридичного та економічного спрямування, котрі культивуються в нашому фаховому коледжі.

Директор коледжу,  
к.т.н.



Голова циклової комісії, природничо-математичних  
та комп'ютерних дисциплін  
к.т.н.

*(Handwritten signature of Yuriy Bolubash)*  
*(Handwritten signature of Roman Vovnyanka)*

Юрій БОЛЮБАШ

Роман ВОВНЯНКА

## АКТ

### про апробацію та використання результатів дисертаційного дослідження Юнчик Валентини Леонідівни на кафедрі інформатики та фізико-математичних дисциплін ДВНЗ "Ужгородський національний університет"

Цей акт підтверджує практичну апробацію та використання результатів дисертаційної роботи Юнчик Валентини Леонідівни «Інформаційні технології формування освітнього контенту для систем електронного навчання», поданої на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» на кафедрі інформатики та фізико-математичних дисциплін Ужгородського національного університету. Апробація проводилась впродовж 2022-2023 років науково-педагогічним колективом кафедри у формі процедур експертного оцінювання освітнього контенту, підготовленого викладачами кафедри навчальних дисциплін «Інноваційні інформаційні технології» та «Проектування та адміністрування систем баз даних та сховищ даних», що викладаються для студентів магістерського рівня за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології». Процедури експертного оцінювання освітнього контенту реалізовувались з використанням компонентів інформаційних технологій, які розроблені та реалізовані дисертанткою у формі прототипу відповідної рекомендаційної системи. Зазначена апробація підтвердила корисність та ефективність запропонованого Юнчик В.Л. підходу щодо оцінювання якості освітнього контенту навчальних дисциплін при підготовці ІТ фахівців за ОПП «Управління ІТ проектами».

Кафедра інформатики та фізико-математичних дисциплін планує продовжити використання розроблених дисертанткою методів та інформаційно-технологічних засобів при ухваленні рішень щодо рівня та якості електронних навчальних ресурсів та освітнього контенту з метою підвищення якості підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології».

Дисертанткою передано для використання в науково-дослідній роботі кафедри та педагогічній практиці викладачів:

- методики оцінювання якості освітнього контенту та електронних навчальних ресурсів;
- програмно-алгоритмічні компоненти прототипу рекомендаційної системи оцінювання якості освітнього контенту;
- матеріали наукових публікацій, в яких висвітлені результати досліджень Юнчик В.Л..

**Завідувач кафедри  
інформатики та фізико-математичних  
дисциплін, к.т.н., доцент**

**к.ф.-м.н., доцент**

**Василь Кут**

**Василь Морохович**

*Сидоренко В. В. Морохович з запискою*  
*Лар. ВДЮ*



ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової роботи  
Тернопільського національного  
технічного університету ім. І. Пулюя

Павло МАРУЩАК

.2023 року

**АКТ**

**Цим актом ми підтверджуємо апробацію та практичне використання результатів дисертаційного дослідження Юнчик Валентини Леонідівни на тему «Інформаційні технології формування освітнього контенту для систем електронного навчання» в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя**

Розроблена дисертанткою методика оцінювання якості освітнього контенту та електронних навчальних ресурсів, яка знайшла своє практичне втілення в ряді інформаційних технологій, покладених в основу прототипу відповідної рекомендаційної системи, апробувалась та практично використана в ряді структурних підрозділів ТНТУ ім. І. Пулюя впродовж 2023 року.

По-перше. З використанням розроблених Юнчик В.Л. інструментів проведено інформаційно-технологічне оцінювання навчального контенту (матеріали лекцій, методичні розроблення до практичних та лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електронні місто та регіон», яка викладається для студентів магістерського рівня за спеціальностями 122 «Комп'ютерні науки», 281 «Державне управління та адміністрування»; матеріали лекцій та методичні розроблення до лабораторних занять з навчальної дисципліни «Основи комп'ютерних технологій» для студентів бакалаврського рівня за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»).

По-друге. В науково-дослідній лабораторії «Розумне місто Тернопіль» був апробований інформаційно-технологічний комплекс, розроблений Юнчик В.Л. на предмет формування та колективного оцінювання якості текстових матеріалів, які були сформовані з використанням Інтернет-ресурсів за тематикою та профілем наукових розвідок, які проводяться співробітниками лабораторії.

По-третє. Групою співробітників мережної академії CISCO при ТНТУ ім. І. Пулюя, реалізовано процедури експертного оцінювання ряду навчальних матеріалів, які використовуються в навчальному процесі викладачами академії з використанням запропонованих дисертанткою підходів, методів та програмно-алгоритмічних засобів.

У всіх вищенаведених ситуаціях апробація результатів наукових досліджень Юнчик В.Л. підтвердила їх працездатність, практичну корисність та позитивну результативність від їх використання. Передані дисертанткою науково-методичні матеріали планується в подальшому використовувати в роботі колективів науково-дослідної лабораторії «Розумне місто Тернопіль» та мережної академії CISCO, які функціонують на базі ТНТУ ім. І.Пулюя, як у навчальній, так і науково-дослідній роботі.

Результати дисертаційного дослідження Юнчик В.Л. планується використовувати в процесах підготовки нових навчальних курсів, постановки циклів лабораторних робіт та практичних занять ряду випускових кафедр ТНТУ ім. І.Пулюя, зокрема, кафедри комп'ютерних наук та кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Завідувач кафедри  
комп'ютерних наук  
к.т.н., доцент

Ігор БОДНАРЧУК

Завідувач кафедри  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій  
к.т.н., доцент

Андрій МИКИТИШИН

Завідувач науково-дослідної  
лабораторії «Розумне місто  
Тернопіль»  
к.т.н., доцент

Олексій ДУДА

Керівник програми мережної  
академії CISCO при ТНТУ  
ім. І.Пулюя  
к.т.н., доцент

Сергій МАРЦЕНКО