

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПОЛЯКОВ МИКИТА ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 004.6; 004.8; 004.9; 004.75

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНКИ
СПЕЦІАЛЬНИХ ЗДІБНОСТЕЙ ПІДЛІТКІВ**

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

М.О.Поляков

Науковий керівник **Теренчук Світлана Анатоліївна**,
кандидат фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційних
технологій проектування та прикладної математики Київського національного
університету будівництва і архітектури

АНОТАЦІЯ

Поляков М.О. Інтелектуальна інфокомунікаційна система оцінки спеціальних здібностей підлітка. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2025.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню завдання надання підліткам кваліфікованої науковообґрунтованої інтерактивної підтримки щодо вибору професії.

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

вперше розроблено:

– математичну модель оцінки міри інтересу і професійних здібностей підлітка за результатами багаторівневої професійно-орієнтованої комп'ютерної гри, що на відміну від існуючих, дозволяє в нормувати оцінку професійних здібностей за факторами «час» і «кількість спроб»;

– концептуальну модель інтелектуальної інформаційно-комунікаційної системи оцінки професійних здібностей підлітків, здатної в реальному часі формувати рекомендаційний висновок щодо доцільності вибору професії за оцінками параметрів взаємодії підлітка з професійно-орієнтованою комп'ютерною грою;

– модель багатошарового перцептрона, що інтегрується з існуючими багаторівневими комп'ютерними іграми і здатна в реальному часі формувати рекомендаційний висновок щодо доцільності вибору професії підлітком за оцінками міри інтересу, часу і кількості спроб, використаних при виконанні завдань цих ігор;

удосконалено:

– процес професійної орієнтації особистості в напрямку впровадження інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей, що в режимі реального часу формує висновок за результатами комп'ютерної гри;

набули подальшого розвитку:

- концепція створення гібридних систем, що засновані на знаннях і моделях штучного інтелекту в напрямку застосування штучних нейронних мереж для обробки даних і підвищення надійності моделі нейронної мережі за рахунок зворотного зв'язку з експертами;
- підхід до застосування в профорієнтаційній роботі з підлітками нейронних мереж, що на відміну від існуючих, дозволяють масштабувати кількість рівнів гри, не залучаючи надмірних людських ресурсів.

Основний зміст дисертаційної роботи.

Запропоновано концептуальну модель інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітків, яка має мікросервісну архітектуру зі значним потенціалом до розширення, здатна зберігати копії даних у хмарних сховищах і підтримує можливість асинхронної генерації результатів гри користувача в професійно-орієнтованій грі до завершення усіх рівнів. Формування рекомендаційного висновку сформульовано як задачу класифікації результату гри за даними щодо міри інтересу, часу і кількості спроб проходження усіх рівнів гри. Запропоновано математичну модель оцінки міри інтересу і професійних здібностей за результатами гри, що формується зі співвідношень параметрів взаємодії користувача і фахівця з грою. Оцінки результатів фахівця вважаються еталонними і використовуються для нормалізації даних. Для формування рекомендаційного висновку в реальному часі запропоновано використовувати багатошаровий перцептрон з двома послідовними прихованими шарами з 32 і 16 вузлів, що інтегрується з існуючими багаторівневими комп'ютерними іграми.

За результатами дослідження розроблено:

- концептуальну модель інтелектуальної інфокомунікаційної системи для оцінки спеціальних здібностей підлітка, яка здатна надавати рекомендаційний висновок в реальному часі;
- математичну модель, згідно з якою рекомендаційний висновок класифікується за оцінками здібностей і міри інтересу до професійної діяльності, що відтворюється в комп'ютерній грі;

– модель нейромережі, яка може бути впроваджена в процес профорієнтації за умови збільшення навчальної вибірки і застосування деякий час в тестовому режимі для донавчання.

У першому розділі «Аналіз процесу професійної ідентифікації підлітків» досліджено проблеми, з якими стикаються підлітки в процесі професійної ідентифікації, і сучасні методи профорієнтаційної роботи, яка ведеться з підлітками в різних країнах; показано переваги і виявлено недоліки існуючих офлайн методів та онлайн платформ, що використовуються для професійної ідентифікації особистості; показано, що ігровий підхід до профорієнтації підлітків дозволяє створювати спеціальні середовища, в яких увага підлітка спрямовується не на формальну оцінку відповідності спеціальності, а на безпосереднє знайомство з професійною діяльністю у цікавій ігровій формі; розглядається поняття гейміфікації як сучасного феномену, що може підвищити ефективність процесу професійної орієнтації; показані потенційні переваги використання ігрових механік у професійному самоототожненні.

У другому розділі «Формалізація процесу підтримки рішення підлітка щодо вибору спеціальності» формалізовано процес підтримки прийняття рішення підлітка щодо вибору спеціальності на основі тестування з використанням комп'ютерних ігрових завдань професійного спрямування і процес формування портрету підлітка в просторі вимог до профілю фахівця різних спеціалізацій; описано процес формування бази даних ігор на основі наявних професійних ігор; показано яким чином комп'ютерні ігри можуть симулювати професійну діяльність і відображати здатність виконувати операційну діяльність спеціалістів різних професій; сформовано критерії оцінки характерних якостей підлітків, які відображають інтерес до професійної діяльності та спеціальні здібності, які в різній мірі потрібні для набуття знань, умінь і навичок, що найкраще відповідають вимогам до профілю фахівця різних спеціалізацій з урахуванням кваліфікаційних вимог до випускників; запропоновано математичну модель, згідно з якою формується висновок щодо здатності підлітка до набуття знань, умінь та навичок за певною спеціальністю на основі виконання рівнів комп'ютерних ігор професійного спрямування різного ступеня складності.

У третьому розділі «Розробка інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітка» визначено вимоги до системи, що розробляється; надано план розробки інтелектуальної інфокомунікаційної системи, яка буде формувати рекомендаційний висновок щодо вибору професії на основі оцінки результатів виконання завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри; запропоновано концептуальну модель системи; показано поступове перетворення інформації з «сирих» ігрових подій на рекомендаційний висновок, який можуть переглянути різні актори; проведено детальний аналіз сучасних технологій, які можуть бути застосовані при розробці системи, і обґрунтовано вибір технологій для написання її функціоналу; детально описано структуру бази даних для зберігання інформації, що необхідна для коректної роботи системи; розроблено архітектуру системи на базі наявного апаратно-програмного забезпечення; розглянуто технології, які можуть бути використані під час створення інфокомунікаційної системи для забезпечення побудови мікросервісної архітектури, здатної розширюватися і забезпечувати зберігання копій даних у хмарі; описано взаємодію компонентів системи і взаємодію користувачів з системою.

У четвертому розділі «Впровадження моделі нейронної мережі в систему оцінки спеціальних здібностей підлітка» обґрунтовано вибір типу нейронної мережі для генерації рекомендаційного висновку, щодо спеціальності на основі виконання завдань комп'ютерної гри, та рішення щодо застосування контрольованого навчання; запропоновано архітектуру моделі нейронної мережі та її налаштування; показано, що багат шаровий перцептрон з двома послідовними прихованими шарами із 32 і 16 вузлів може навчитися правильній класифікації результатів гри не тільки за критерієм «час проходження рівня», а і враховує «кількість спроб» виконання завдання; сформовано навчальну вибірку для тренування моделі; на прикладі конкретної гри, експериментально показано здатність навченої моделі генерувати рекомендаційний висновок; розглянуто методи покращення роботи існуючої моделі нейронної мережі; визначено стратегії вдосконалення роботи моделі; описані морально-етичні виклики і ключові управлінські умови, що мають бути враховані під час проведення гейміфікованого тестування спеціальних здібностей підлітків.

Ключові слова: багатошаровий перцептрон, гейміфікація, експертна оцінка, інформаційна система, інформаційна технологія, мікросервісна архітектура, нейронна мережа, освітній простір, оцінка в реальному часі, рекомендаційний висновок, професійна самоідентифікація, цифрова освіта, штучний інтелект.

ABSTRACT

Poliakov M. Intelligent infocommunication system for assessing an adolescent's special abilities. – Qualifying scientific work presented as a manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 126 "Information systems and technologies". - Kyiv National University of Construction and Architecture. - Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to addressing the critical challenge of providing adolescents with qualified, scientifically grounded, and interactive support in choosing a future profession.

Scientific novelty of the obtained results. The scientific novelty of the dissertation consists in the fact that:

developed for the first time:

- a mathematical model for assessing an adolescent's degree of interest and professional abilities based on the results of a multi-level profession-oriented computer game which, unlike existing approaches, enables the assessment of professional abilities to be normalised with respect to the factors of “time” and “number of attempts”;

- a conceptual model of an intelligent infocommunication system for assessing adolescents' professional abilities, capable of generating in real time a recommendatory conclusion on the advisability of choosing a particular profession based on interaction parameters recorded while an adolescent plays a profession-oriented computer game;

- a multilayer perceptron model that integrates with existing multi-level computer games and, in real time, produces a recommendatory conclusion for an adolescent's career choice using the estimated degree of interest, the time spent, and the number of attempts required to complete the game tasks;

improved:

- a career-guidance process that introduces an intelligent infocommunication system for assessing special abilities, which generates a real-time conclusion from the results of a computer game;

further advanced:

- a concept for building hybrid systems that combine knowledge-based approaches with artificial-intelligence models, specifically artificial neural networks, in order to process data and increase neural-network reliability through expert feedback;
- an approach to using neural networks in career-guidance work with adolescents which, unlike existing methods, allows the number of game levels to be scaled without engaging excessive human resources.

Main content of the dissertation.

A conceptual model of an intelligent infocommunication system for assessing adolescents' special abilities is proposed, which adopts a microservice architecture with considerable scalability potential, supports data replication in cloud storage, and enables user-game results in a profession-oriented game to be generated asynchronously before all levels are completed. Generation of the recommendatory conclusion is framed as a classification task that uses the degree of interest, the completion time, and the number of attempts across all game levels. A mathematical model is proposed for assessing the degree of interest and professional abilities from the game results, constructed from the ratios of the user's and the expert's interaction parameters with the game. The expert's result assessments are regarded as reference values and are used to normalise the data. To generate the recommendatory conclusion in real time, a multilayer perceptron with two consecutive hidden layers of 32 and 16 nodes is proposed, integrated with existing multilevel computer games.

Based on the results of the study, the following have been developed:

- a conceptual model of an intelligent infocommunication system for assessing an adolescent's special abilities, capable of delivering a real-time recommendatory conclusion;
- a mathematical model by which the recommendatory conclusion is classified according to both the estimated abilities and the degree of interest in the professional activity reproduced in the computer game;
- a neural-network model that can be introduced into the career-guidance process, provided the training set is expanded and the system is operated in a test mode for further fine-tuning.

Chapter 1, “Analysis of the adolescent career-identification process”, examines the challenges adolescents face in establishing a professional identity and reviews contemporary career-guidance practices applied to adolescents in different countries; highlights the advantages and uncovers the shortcomings of existing offline methods and online platforms used for individual career identification; demonstrates that a game-based approach enables the creation of special environments in which adolescents focus not on a formal evaluation of “fit” but on direct, engaging exposure of professional activities presented in a game-like format; presents the concept of gamification as a modern phenomenon that can increase the effectiveness of the career-orientation process; shows the potential benefits of employing game mechanics in the process of professional self-identification.

Chapter 2, “Formalisation of the decision-support process for an adolescent’s choice of speciality”, formalises the decision-support process for adolescents selecting a speciality based on testing with profession-oriented computer-game tasks and formalises the procedure for constructing an adolescent’s profile within the space of specialist-profile requirements for various specialisations; describes the creation of the game database derived from existing professional games; shows how computer games can simulate professional activities and reflect the ability to perform the operational tasks of specialists in different fields; establishes criteria for evaluating adolescents’ characteristic qualities that capture both their interest in professional activity and the special abilities required, to varying degrees, for acquiring the knowledge, skills and competences that best match the specialist-profile requirements of different specialisations while taking into account graduate qualification standards; proposes a mathematical model by which a conclusion is generated on an adolescent’s capacity to acquire the knowledge, skills and competences of a given speciality, based on performance across profession-oriented computer-game levels of varying complexity.

Chapter 3, “Development of an infocommunication system for assessing an adolescent’s special abilities”, specifies the requirements that the system being developed; presents a development roadmap for an intelligent infocommunication system that will generate a recommendatory conclusion on career choice by assessing the results obtained in profession-oriented computer game tasks; presents a conceptual model of the system;

demonstrates the step-by-step transformation of raw game events into a recommendatory conclusion accessible to multiple actors; provides a detailed review of contemporary technologies that could be employed in developing the system and justifies the choice of those used to implement its functionality; describes in detail the database structure required for the system's correct operation; develops the system architecture on the basis of existing hardware and software; examines technologies suitable for creating a microservice architecture capable of horizontal scaling and ensuring the storage of data copies in the cloud; explains the interactions both among system components and between users and the system.

Chapter 4, “Implementation of the neural-network model in the adolescent special-abilities assessment system”, substantiates the choice of a neural-network type for generating a recommendatory conclusion on speciality selection based on computer-game task performance and justifies the use of supervised learning; proposes the architecture of the neural-network model together with its hyper-parameter settings; shows that a multilayer perceptron with two successive hidden layers of 32 and 16 nodes can learn to classify game outcomes not only by the criterion of level-completion time but also by accounting for the number of attempts taken; constructs a training dataset for fitting the model; experimentally demonstrates, using a concrete game example, the trained model's ability to produce a recommendatory conclusion; examines methods for improving the existing neural-network model; identifies strategies for improving the model's performance; describes the moral-ethical challenges and key managerial conditions that must be observed during gamified testing of adolescents' special abilities.

Keywords: artificial intelligence, digital education, educational space, expert assessment, gamification, information system, information technology, microservice architecture, multilayer perceptron, neural network, professional self-identification, real-time assessment, recommendatory conclusion.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та у виданнях України,
які включено до міжнародних наукометричних баз*

1. Riabchun, Y., Sereda, D., Zozulia, N., & Poliakov, M. Formation of engineering competences of higher education graduate specialists in knowledge field 13 «Mechanical engineering». *Girnichi, budivelni, Dorozhni Ta meliorativni Mashini*, Kyiv, 2022, № 99, pp. 49-55, DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2022.99.0501> (Фахове видання «Б», ISSN (print): 2312-6590, ISSN (online): 2709-6149)

2. Poliakov, M., & Yeremenko, B. Info-Communication System of the Electronic Estimation of Adolescents' Special Abilities. *Management of Development of Complex Systems*, Kyiv, 2024, № 58, pp. 139-145, DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.58.139-145> (Фахове видання «Б», Index Copernicus)

3. Poliakov, M., Yeremenko, B., Poltorachenko, N., Riabchun, Y. Gamification of decision support process for adolescents' career choice. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025, Vol.1, №3(133), p. 28-36. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.322428> (**Scopus**, ISSN: 1729-3774)

*Наукові праці, що представлені як тези доповіді у міжнародних
науково-технічних конференціях*

4. Terenchuk S., Riabchun Yu., Poltorachenko N., Poliakov M., Levashenko V., Information technology of adolescents' professional self-identification. *3rd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS-2022)*. 23-25 March 2022, p. 208-217. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3156/paper14.pdf> (**Scopus**, ISSN:16130073)

5. Poliakov M., Mezzane D., Terenchuk S., Riabchun Y., Rusnak P., Biloshchytska S., Gamefication of Youth's Career Guidance Self-Identification, *2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Nur-Sultan, Kazakhstan, 28-30 April 2022, p. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.9945751> (**Scopus**, ISBN: 978-166546790-2)

6. Poliakov M., Stetsyk O. Yeremenko B., Modeling of the System for the Electronic Estimation of Adolescents' Special Abilities, *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Astana, Kazakhstan, 15-17 May 2024, p. 577-582, DOI: <https://doi.org/10.1109/SIST61555.2024.10629625> (**Scopus**, ISBN: 979-835037486-5)

Тези доповідей наукових та науково-практичних конференцій

7. Poliakov M., Terenchuk S., Modeling of the Intelligent Infocommunication System for the Adolescent's Special Abilities Estimation, *ACeSYRI-International Workshop on Modern Experience for PhD students and Young Researchers*, November 14-18, 2022, p. 49-50, book of abstract, Zilina, Slovakia. URL: <https://ki.fri.uniza.sk/ACeSYRI2022/Abstracts.pdf>

ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПРОФЕСІЙНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПІДЛІТКІВ	25
1.1. Проблеми професійної ідентифікації особистості	25
1.2. Офлайн методи профорієнтаційної роботи з підлітками	29
1.3. Онлайн тестування підлітків	32
1.4. Гра, як інструмент навчання та оцінки здібностей.....	36
1.5. Геймифікація профорієнтаційного процесу	38
1.6. Досвід попередніх розробок	43
Висновки до розділу 1	46
РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМКИ РІШЕННЯ ПІДЛІТКА ЩОДО ВИБОРУ СПЕЦІАЛЬНОСТІ.....	47
2.1. Гейміфікація тестування спеціальних здібностей підлітків	47
2.2. Параметри оцінки інтересу та спеціальних здібностей підлітків	55
2.3. Формування рекомендаційного висновку	57
Висновки до розділу 2	64
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗДІБНОСТЕЙ ПІДЛІТКА	65
3.1. Вимоги до інфокомунікаційної системи.....	65
3.2. План розробки системи оцінки спеціальних здібностей підлітка	68
3.3. Концептуальна модель системи.....	71
3.4. Вибір технологій для побудови архітектури	73
3.4.1. Архітектурна модель системи	73
3.4.2. Веб фреймворк	74
3.4.3. Черга повідомлень	76

	14
3.4.4. Комунікація з клієнтом.....	77
3.4.5. Задачі в фоновому режимі.....	80
3.4.6. Сховище даних для резервних файлів	81
3.4.7. База даних.....	86
3.5. Побудова архітектури системи	89
3.5.1. Структура бази даних	89
3.5.2. Взаємодія компонентів системи	92
3.6. Моніторинг та масштабування системи	95
Висновки до розділу 3	97
РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ В СИСТЕМУ ОЦІНКИ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗДІБНОСТЕЙ ПІДЛІТКА.....	98
4.1. Вибір нейронної мережі для вирішення задачі профорієнтації підлітка	98
4.2. Модель нейронної мережі	104
4.3. Формування тренувального набору даних для нейронної мережі.....	107
4.4. Експериментальна перевірка здатності нейромережі формувати надійний рекомендаційний висновок	109
4.5. Стратегії вдосконалення роботи моделі	115
4.6. Управлінські вимоги.....	118
4.7. Перспектива подальших розробок	123
Висновки до розділу 4.....	125
ВИСНОВКИ	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	127
ДОДАТКИ.....	140

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідження сучасного освітнього середовища і аналіз психосоціальних факторів, що пов'язанні з участю підлітків в освіті та зайнятості, виявляють втрату інтересу до навчання у здобувачів освіти всіх вікових категорій. Однією з основних причин зниження мотивації є відсутність чіткого розуміння мети навчання, як отримані знання і навички стануть у пригоді в майбутній професійній діяльності здобувача освіти.

Наразі існують різні методи та інструменти підтримки рішення щодо вибору професії, але переважна більшість із них довготривалі або супроводжуються ризиками недбалого ставлення до профорієнтації з боку підлітків через нерозуміння чи втрату інтересу до самого процесу. Тому останніми роками посилюється пошук нових методів організації профорієнтаційної діяльності, що сприяють гармонійному розвитку особистості. Використання ігрових технологій в системах оцінювання дозволяє створити інтерактивну цікаву атмосферу, що сприяє підвищенню мотивації здобувачів освіти. При цьому гра допомагає проявити природні особистісні якості і спеціальні здібності. Діагностика цих характеристик на основі завдань професійної комп'ютерної гри не тільки дає можливість сучасним підліткам, активно випробувати себе в різних сферах діяльності, але й допомагає визначити їхні спеціальні здібності, які в різній мірі потрібні при виконанні операційної діяльності.

Таким чином, з огляду на потребу закладів освіти адаптуватися до запитів сучасних підлітків і допомагати їм визначатися з професією за умов обмеженого офлайн спілкування, та потребу в інтерактивних, але недорогих системах оцінювання професійних здібностей, наукові дослідження, що спрямовані на гейміфікацію кар'єрних стратегій з використанням професійно орієнтованих комп'ютерних ігор, є актуальними, своєчасними та економічно доцільними.

Робота зосереджена на вирішенні проблеми гейміфікації професійного самоототожнення підлітків. Основна ідея роботи полягає в створенні інтелектуальної інфокомунікаційної системи зі значним потенціалом до розширення, що здатна зберігати копії даних у хмарних сховищах і підтримує можливість асинхронної

генерації результатів професійно-орієнтованої гри до завершення усіх рівнів. При цьому рекомендаційний висновок щодо доцільності вибору формується попередньо навченим багатошаровим перцептроном за накопиченими даними результатів виконання завдань усіх рівнів гри. Таким чином роботу спрямовано на отримання практичної цінності, врахування вартості розробки та імплементації запропонованої системи в профорієнтаційну діяльність закладів освіти. Це особливо актуально в теперішніх реаліях воєнного часу, що накладає додаткові обмеження і на вартість проекту, і на офлайн спілкування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукова робота відповідає напрямку, визначеному у Законі України «Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні» (2020 р.), відповідає завданням Концепції державної системи професійної орієнтації населення, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2008 р. № 842, щодо підвищення ефективності діяльності закладів освіти з професійної орієнтації підлітків і молоді, що навчаються, та формування компетентностей для успішної самореалізації в суспільстві.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 126 – Інформаційні системи та технології.

Дисертаційне дослідження виконане на кафедрі інформаційних технологій проектування та прикладної математики факультету автоматизації і інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури та пов'язана із планами науково-дослідних робіт кафедри.

Результати дослідження впроваджено в навчальний процес в межах дисциплін на спеціальності 122 та 126 факультету автоматизації і інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури.

Зокрема, в навчальні програми дисциплін:

– «Теорія алгоритмів» для магістрів спеціальності «Інформаційні системи та технології. Штучний інтелект. Когнітивні технології» (ІСТ-ШІКТм-23, ІСТм-23) кафедри управління проєктів і кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики;

– «Інформаційні технології представлення обробки та розпізнавання зображень» для магістрів спеціальності «Інформаційні системи та технології» (ІСТМ-23) кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики;

– «Прикладна теорія графів» для магістрів спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» (АКІТМ-24) кафедри автоматизації технологічних процесів.

Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні результати проведених досліджень, які мають істотне значення для галузі знань 12 – Інформаційні технології.

Мета дослідження полягає в створенні концептуальної моделі інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітків, здатної в реальному часі формувати рекомендаційний висновок щодо доцільності вибору професії за оцінками параметрів взаємодії підлітка з професійно-орієнтованою комп'ютерною грою.

Для досягнення поставленої мети було виділено такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан процесу професійної ідентифікації підлітків і підходи до вирішення нагальних проблем.

2. Визначити критерії оцінки, які доцільно використовувати при оцінюванні спеціальних здібностей підлітків в процесі виконання завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри.

3. Розробити і представити в аналітичному вигляді математичну модель процесу оцінки професійних здібностей для формування рекомендаційного висновку штучною нейронною мережею.

4. Розробити концептуальну модель інтелектуальної інфокомунікаційної системи, яка буде формувати рекомендаційний висновок щодо вибору професії на основі оцінки результатів виконання завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри.

5. Запропонувати модель нейронної мережі, здатної інтегруватися з існуючими багаторівневими комп'ютерними іграми і надавати оцінку міри належності висновку до певного класу.

6. Експериментально перевірити здатність запропонованої нейронної мережі формувати надійний рекомендаційний висновок.

Об'єкт дослідження – процеси професійного ототожнення підлітків і формування рекомендаційного висновку щодо вибору професії, технології проектування інфокомунікаційних систем.

Предмет дослідження – математичні моделі і нейронні мережі, що здатні вирішувати задачі багатофакторного прогнозування і нечіткої класифікації в інтелектуальних системах підтримки рішення, та комп'ютерні професійно-орієнтовані ігри.

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

вперше розроблено:

– математичну модель оцінки міри інтересу і професійних здібностей підлітка за результатами багаторівневої професійно-орієнтованої комп'ютерної гри, що на відміну від існуючих, дозволяє в нормувати оцінку професійних здібностей за факторами «час» і «кількість спроб»;

– концептуальну модель інтелектуальної інформаційно-комунікаційної системи оцінки професійних здібностей підлітків, здатної в реальному часі формувати рекомендаційний висновок щодо доцільності вибору професії за оцінками параметрів взаємодії підлітка з професійно-орієнтованою комп'ютерною грою;

– модель багатоваріантного перцептрона, що інтегрується з існуючими багаторівневими комп'ютерними іграми і здатна в реальному часі формувати рекомендаційний висновок щодо доцільності вибору професії підлітком за оцінками міри інтересу, часу і кількості спроб, використаних при виконанні завдань цих ігор;

удосконалено:

– процес професійної орієнтації особистості в напрямку впровадження інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей, що в режимі реального часу формує висновок за результатами комп'ютерної гри;

набули подальшого розвитку:

– концепція створення гібридних систем, що засновані на знаннях і моделях штучного інтелекту в напрямку застосування штучних нейронних мереж для обробки даних і підвищення надійності моделі нейронної мережі за рахунок зворотного зв'язку з експертами;

– підхід до застосування в профорієнтаційній роботі з підлітками нейронних мереж, що на відміну від існуючих, дозволяють масштабувати кількість рівнів гри, не залучаючи надмірних людських ресурсів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наданні підліткам інтерактивної підтримки рішення щодо вибору професії в режимі реального часу, а фахівцям профорієнтаційних служб ефективного інструменту консультативної роботи з використанням адаптивної моделі на основі професійно-орієнтованих ігор.

Розподілена архітектура системи, що поєднує масштабовані технології Kafka, Redis, FastAPI, Celery, PostgreSQL, разом із використанням Websocket-з'єднань є значним внеском у сферу комп'ютерних наук та інженерії.

Запропонована система може бути використана:

– при оцінюванні професійних здібностей за результатами комп'ютерних ігрових завдань у спеціальних профорієнтаційних центрах;

– при тренуванні професійних навичок, адже при виконанні завдань, що відтворюють діяльність спеціалістів певної галузі у підлітка формуються певні навички та фізіологічні, психічні і психологічні якості, що сприятимуть успішному оволодінню професією.

Профорієнтаційна робота з об'єктивною оцінкою результатів виконання комп'ютерних ігрових завдань професійного спрямування в реальному часі, на відміну від анкетного тестування, є одним із шляхів:

– вирішення соціальної проблеми плинності кадрів, що спричиняє дисбаланс попиту і пропозицій на ринку праці та зростання витрат на навчання і перенавчання фахівців різних галузей;

– зменшення залучення людських ресурсів в процес профорієнтаційної роботи і пов'язаний з цим довготривалий прибуток за рахунок економії коштів на проведення профорієнтаційних заходів, а також навчання і заробітну плату кар'єрних консультантів;

– отримання екологічного прибутку завдяки економії паперу, що досі не виправдано масово використовується в рекламній діяльності закладів освіти;

– отримання економічного прибутку за рахунок використання існуючих професійно-орієнтованих ігор.

Основний зміст дисертаційної роботи.

Запропоновано концептуальну модель інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітків, яка має мікросервісну архітектуру зі значним потенціалом до розширення, здатна зберігати копії даних у хмарних сховищах і підтримує можливість асинхронної генерації результатів гри користувача в професійно-орієнтованій грі до завершення усіх рівнів. Формування рекомендаційного висновку сформульовано як задачу класифікації результату гри за даними щодо міри інтересу, часу і кількості спроб проходження усіх рівнів гри. Запропоновано математичну модель оцінки міри інтересу і професійних здібностей за результатами гри, що формується зі співвідношень параметрів взаємодії користувача і фахівця з грою. Оцінки результатів фахівця вважаються еталонними і використовуються для нормалізації даних. Для формування рекомендаційного висновку в реальному часі запропоновано використовувати багатошаровий перцептрон з двома послідовними прихованими шарами з 32 і 16 вузлів, що інтегрується з існуючими багаторівневими комп'ютерними іграми.

За результатами дослідження розроблено:

– концептуальну модель інтелектуальної інфокомунікаційної системи для оцінки спеціальних здібностей підлітка, яка здатна надавати рекомендаційний висновок в реальному часі;

– математичну модель, згідно з якою рекомендаційний висновок класифікується за оцінками здібностей і міри інтересу до професійної діяльності, що відтворюється в комп'ютерній грі;

– модель нейромережі, яка може бути впроваджена в процес профорієнтації за умови збільшення навчальної вибірки і застосування деякий час в тестовому режимі для донавчання.

У першому розділі «Аналіз процесу професійної ідентифікації підлітків» досліджено проблеми, з якими стикаються підлітки в процесі професійної ідентифікації, і сучасні методи профорієнтаційної роботи, яка ведеться з підлітками в різних країнах; показано переваги і виявлено недоліки існуючих офлайн методів та онлайн платформ, що використовуються для професійної ідентифікації особистості; показано, що ігровий підхід до профорієнтації підлітків дозволяє створювати спеціальні середовища, в яких увага підлітка спрямовується не на формальну оцінку відповідності спеціальності, а на безпосереднє знайомство з професійною діяльністю у цікавій ігровій формі; розглядається поняття гейміфікації як сучасного феномену, що може підвищити ефективність процесу професійної орієнтації; показані потенційні переваги використання ігрових механік у професійному самоототожненні.

У другому розділі «Формалізація процесу підтримки рішення підлітка щодо вибору спеціальності» формалізовано процес підтримки прийняття рішення підлітка щодо вибору спеціальності на основі тестування з використанням комп'ютерних ігрових завдань професійного спрямування і процес формування портрету підлітка в просторі вимог до профілю фахівця різних спеціалізацій; описано процес формування бази даних ігор на основі наявних професійних ігор; показано яким чином комп'ютерні ігри можуть симулювати професійну діяльність і відображати здатність виконувати операційну діяльність спеціалістів різних професій; сформовано критерії оцінки характерних якостей підлітків, які відображають інтерес до професійної діяльності та спеціальні здібності, які в різній мірі потрібні для набуття знань, умінь і навичок, що найкраще відповідають вимогам до профілю фахівця різних спеціалізацій з урахуванням кваліфікаційних вимог до випускників; запропоновано

математичну модель, згідно з якою формується висновок щодо здатності підлітка до набуття знань, умінь та навичок за певною спеціальністю на основі виконання рівнів комп'ютерних ігор професійного спрямування різного ступеня складності.

У третьому розділі «Розробка інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітка» визначено вимоги до системи, що розробляється; надано план розробки інтелектуальної інфокомунікаційної системи, яка буде формувати рекомендаційний висновок щодо вибору професії на основі оцінки результатів виконання завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри; запропоновано концептуальну модель системи; показано поступове перетворення інформації з «сирих» ігрових подій на рекомендаційний висновок, який можуть переглянути різні актори; проведено детальний аналіз сучасних технологій, які можуть бути застосовані при розробці системи, і обґрунтовано вибір технологій для написання її функціоналу; детально описано структуру бази даних для зберігання інформації, що необхідна для коректної роботи системи; розроблено архітектуру системи на базі наявного апаратно-програмного забезпечення; розглянуто технології, які можуть бути використані під час створення інфокомунікаційної системи для забезпечення побудови мікросервісної архітектури, здатної розширюватися і забезпечувати зберігання копій даних у хмарі; описано взаємодію компонентів системи і взаємодію користувачів з системою.

У четвертому розділі «Впровадження моделі нейронної мережі в систему оцінки спеціальних здібностей підлітка» обґрунтовано вибір типу нейронної мережі для генерації рекомендаційного висновку, щодо спеціальності на основі виконання завдань комп'ютерної гри, та рішення щодо застосування контрольованого навчання; запропоновано архітектуру моделі нейронної мережі та її налаштування; показано, що багат шаровий перцептрон з двома послідовними прихованими шарами із 32 і 16 вузлів може навчитися правильній класифікації результатів гри не тільки за критерієм «час проходження рівня», а і враховує «кількість спроб» виконання завдання; сформовано навчальну вибірку для тренування моделі; на прикладі конкретної гри, експериментально показано здатність навченої моделі генерувати рекомендаційний висновок; розглянуто методи покращення роботи існуючої моделі нейронної мережі;

визначено стратегії вдосконалення роботи моделі; описані морально-етичні виклики і ключові управлінські умови, що мають бути враховані під час проведення гейміфікованого тестування спеціальних здібностей підлітків.

Ключові слова: багат шаровий перцептрон, гейміфікація, експертна оцінка, інформаційна система, інформаційна технологія, мікросервісна архітектура, нейронна мережа, освітній простір, оцінка в реальному часі, рекомендаційний висновок, професійна самоідентифікація, цифрова освіта, штучний інтелект.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 робіт. Основні результати досліджень викладені в 3 статтях у друкованих виданнях, включених до переліку фахових видань України та 4 роботах, що представлені як тези доповіді на міжнародних науково-технічних конференціях.

Особистий внесок здобувача. Основні результати та положення, що є змістовною основою дисертації, отримані автором самостійно. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертації використано лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої роботи здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи висвітлені та обговорені на наступних конференціях:

1. 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan, 28–30 April 2022. doi: [10.1109/SIST54437.2022.9945751](https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.9945751)

2. 2022 3rd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS-2022). URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3156/paper14.pdf>

3. ACeSYRI – International Workshop on Modern Experience for PhD students and Young Researchers, November 14-18, 2022, Zilina, Slovakia. URL: <https://ki.fri.uniza.sk/ACeSYRI2022/Abstracts.pdf>

4. 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Astana, Kazakhstan, 28–30 April 2024. doi: [10.1109/SIST61555.2024.10629625](https://doi.org/10.1109/SIST61555.2024.10629625)

В повному обсязі дисертація доповідалась на науковому семінарі кафедри інформаційних технологій, кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, 2025 рік).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 142 сторінки, у тому числі, основна частина складає 112 сторінок. Основна частина, крім тексту, включає 8 таблиць і 28 рисунків.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПРОФЕСІЙНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПІДЛІТКІВ

У розділі досліджено проблеми, з якими стикаються підлітки в процесі професійної ідентифікації, і сучасні методи профорієнтаційної роботи, яка ведеться з підлітками в різних країнах; показано переваги і виявлено недоліки існуючих офлайн методів та онлайн платформ, що використовуються для професійної ідентифікації особистості; показано, що ігровий підхід до профорієнтації підлітків дозволяє створювати спеціальні середовища, в яких увага підлітка спрямовується не на формальну оцінку відповідності спеціальності, а на безпосереднє знайомство з професійною діяльністю у цікавій ігровій формі; розглядається поняття гейміфікації як сучасного феномену, що може підвищити ефективність процесу професійної орієнтації; показані потенційні переваги використання ігрових механік у професійному самоототожненні.

1.1. Проблеми професійної ідентифікації особистості

Перехід від навчання у середній школі до навчання, що передбачає вибір професійного шляху потребує прийняття рішень, пов'язаних із професійною ідентифікацією. Однак дослідження видання [1] показує, що 42% підлітків зазначили, що рідко мають у школах заходи з допомоги у виборі професії; 31% поділився, що їх не проводять узагалі; 74% вказали, що потребують такої інформації та заходів. До того ж в дослідження зазначено, що більшість опитаних не можуть прийняти рішення самостійно, а саме 72% респондентів радяться з родиною у питаннях вибору професії, 62% шукають самостійно інформацію в інтернеті й лише 7% спілкуються з профорієнтологами або психологами.

Професійне самовизначення випускників шкіл часто відбувається спонтанно під впливом різних випадкових чинників: впливу батьків, порад друзів і загальної ситуації в країні. Водночас існують суперечності між вимогами щодо персоналу та

уявленнями випускників про майбутні професії [2]. Наявність таких чинників під час вибору майбутньої професії зумовлює потребу в розробці неупереджених інформаційно-комунікаційних систем, які здатні надавати підтримку рішень щодо професійної самоідентифікації без тиску на осіб, що приймають рішення.

Проведені дослідження сучасних методів і засобів виявлення здібностей і досягнень абітурієнтів [3, 4] засвідчили, що досі немає єдності думок у визначенні психологічного змісту процесу професійної ідентифікації, а головне місце в практиці психодіагностики посідають тести інтелекту, здібностей і досягнень.

Дослідження сучасного освітнього середовища і аналіз психосоціальних факторів, що пов'язанні з участю підлітків в освіті та зайнятості [5], виявили втрату інтересу до навчання у здобувачів освіти всіх вікових категорій.

Підліток – особа віком від 10 до 19 років (табл. 1.1), яку на цьому віковому етапі інтенсивний біопсихосоціальний розвиток відрізняє і від дитини, і від дорослого [6].

Таблиця 1.1

Вікові особливості розвитку підлітків

Підетап	Вік	Ключові особливості розвитку
Рання адолесценція [7]	10–13 pp.	Початок пубертату, швидке соматичне зростання, перші коливання настрою, поступовий перехід від конкретного до абстрактнішого мислення.
Середня адолесценція [8]	14–16 pp.	Пік пубертатних змін, посилений інтерес до груп ровесників, експерименти з ідентичністю та ролевими моделями, зростання ризикованої поведінки.
Пізня адолесценція [9]	17–19 pp.	Стабілізація фізичного розвитку, формування стійкої професійної й особистісної ідентичності, перехід до автономних рішень і довгострокового планування.

Однією з основних причин зниження мотивації є відсутність чіткого розуміння мети навчання, як здобуття знань і навичок, що знадобляться здобувачу освіти в

майбутній професійній діяльності. При цьому самооцінка і прагнення підлітків визначаються як дві з основних сфер поведінкових проблем, що потребують додаткових досліджень.

В той же час в [10, 11] показано, що інтерес до майбутньої професійної діяльності підвищує інтерес до набуття знань і навичок за спеціальністю, що суттєво підвищує конкурентоспроможність випускників. З іншого боку проблема професійної орієнтації підлітків залишається актуальною для фахівців різних галузей.

Науково обґрунтоване розв'язання питань профорієнтації є відповіддю на соціальне замовлення держави щодо відбору, підготовки та подальшого закріплення кадрів у вибраній професійній діяльності.

Водночас світовий ринок праці стрімко розвивається внаслідок:

- насичення ринку праці фахівцями певних спеціальностей;
- змін у кваліфікаційних вимогах до спеціалістів;
- появи нових професій.

Профорієнтація як система науково обґрунтованих заходів спрямована на підготовку до свідомого вибору професії з урахуванням соціально-економічної ситуації на ринку праці. Водночас такий вибір передбачає усвідомлення власних ідеалів, інтересів, прагнень, переконань, цінностей, професійних планів і здібностей, а також спеціальних здібностей, які в різній мірі потрібні при виконання різної операційної діяльності.

Професійні здібності – сукупність знань, навичок і компетенцій, що безпосередньо забезпечують ефективне виконання трудових ролей та можуть розвиватися впродовж кар'єри [12].

Спеціальні здібності – домен-специфічні (часткові) природжені (музичний слух, швидкість реакції, схильність до ризиків) або рано сформовані нахили (просторове мислення, опанування різних мов), що зумовлюють високі результати у вузьких видах діяльності й відокремлюються від загального інтелекту [13].

Професійне самовизначення зазвичай реалізується у чотири етапи [14]:

1. Дитяча гра – етап, на якому дитина виконуючи різні види діяльності, переймає певні елементи поведінки, що асоціюються з професійними образами;

2. Підліткова фантазія – етап, на якому підліток уявляє себе в тій чи іншій привабливій професії;

3. Оцінювання професійних сфер – етап, на якому підліток робить попередній вибір професійної діяльності, спираючись на самооцінку особистих здібностей і цінностей;

4. Прийняття рішення – етап, на якому визначаються майбутня кваліфікація, обсяг передбачуваної роботи, конкретний вибір спеціальності.

Таким чином, професійне самоототожнення, як правило, значно ускладнюється через відсутність у підлітка практичного досвіду роботи, чіткого розуміння адекватності власних здібностей різним професіям. Тому в різних центрах профорієнтації застосовуються різні форми роботи, що спрямовані на професійне виховання та підтримку прийняття рішень щодо вибору професії.

Головна проблема вибору полягає в тому, що більшість підлітків без досвіду роботи не мають чіткого уявлення про діяльність, що виконується в різних професійних сферах і не можуть самостійно оцінити відповідність своїх особистісних якостей вимогам профілю спеціаліста у великому обсязі надлишкової та часто суперечливої інформації.

Проведення профорієнтаційної роботи на етапі підліткової фантазії дає змогу:

- оцінити та розвинути власні здібності;
- співставити свої здібності, уподобання та уявлення про майбутню роботу з реальними видами діяльності у різних професійних сферах;
- набуті додаткових умінь і навичок.

Оскільки підлітки, як правило, не достатньо усвідомлюють свої інтереси і здібності до виконання певної операційної діяльності, у різних країнах розробляються спеціальні методи профорієнтації для оцінювання особистісних якостей осіб цієї вікової групи. Як правило, ці методи відображають соціально-економічні потреби держави в кадрах і особливості попиту на ринку праці. Це означає, що професійна ідентифікація є важливим питанням самоактуалізації і особистісному самовизначенні, а вдосконалення процесу профорієнтації сприяє вирішенню важливої соціальної проблеми покращення якості майбутнього життя людини.

Для надання підліткам кваліфікованої підтримки щодо вибору професії в різних країнах проводяться різні профорієнтаційні заходи і розробляються онлайн сервіси.

1.2. Офлайн методи профорієнтаційної роботи з підлітками

Аналіз світового досвіду профорієнтаційної роботи з підлітками показав, що метод, який застосовується в Японії і базується на тесті Фукуями (F-тест), заслуговує на особливу увагу [15–17].

Свідомий вибір майбутньої діяльності на основі F-тесту передбачає професійні випробування осіб віком 12–14 років, починаючи з сьомого класу і протягом трьох років учням пропонується випробувати свої сили у 48 спеціальностях у 16 професійних напрямках, що відображають японський ринок праці.

Набутий професійний досвід підлітків фіксується в F-тесті, який забезпечує збирання інформації про професії і глибокий самоаналіз здібностей.

Отже, F-тест:

- дає змогу психологам і педагогам кількісно оцінювати готовність підлітків до свідомого вибору професійного шляху і надавати їм підтримку у прийнятті кар’єрного рішення [16];

- допомагає підготуватися до свідомого вибору професії на основі реального досвіду [18];

- на основі індексу самооцінювання розробляти індивідуальний план навчання.

Фінляндія – ще одна країна, чия профорієнтаційна практика заслуговує на особливу увагу. У цій країні професійна самоідентифікація особистості «прив’язана» до усвідомлення відповідальності перед суспільством, у якому комплекс соціально-економічних чинників зумовив значно вищий попит на фахівців із професійною, ніж вищою освітою. Водночас у Фінляндії на державному рівні діють програми, які зобов’язують компанії надавати учням старших класів робочі місця на літо.

Профорієнтаційні курси в цій країні починаються з сьомого класу й включають етап ознайомлення з трудовою діяльністю.

Упродовж цього етапу:

- семикласники працюють у реальних виробничих умовах від 1 до 3 тижнів;
- у восьмому класі учні вивчають питання побудови кар'єри;
- у дев'ятому класі до підтримки у виборі професії долучаються працівники відділів кадрів підприємств і служб зайнятості.

Після дев'ятого класу всі учні повинні вибрати свій професійний шлях. У тих випадках, коли учні не можуть визначитися зі спеціальністю, їм надається ще один рік, упродовж якого з випускниками шкіл працюють професійні консультанти. Робота консультантів спрямована на усвідомлення індивідуального вибору шляху, бажань і можливостей з урахуванням потреб держави в кадрах. Наприкінці періоду «вибору шляху» фінські випускники шкіл отримують право подавати документи до професійних навчальних закладів.

Якщо шлях так і не обрано, учні влаштовуються на роботу на певний період, щоб усвідомити відповідальність і залученість до процесу, в якому бере участь усе працездатне населення країни [19].

Для інформаційної підтримки підлітків фіні активно використовують Інтернет, де надають учням відповіді на всі їхні запитання.

Такий підхід сприяє:

- створенню умов для кращого самопізнання через онлайн тестування;
- розширенню доступу до інформації про ринок праці, престиж і затребуваність професій, можливості працевлаштування;
- отриманню консультацій щодо вибору майбутньої професії та планування професійної кар'єри на основі онлайн тестування.

Таким чином, якщо підліток не може визначитися з вибором професії, доцільно спиратися на підтримку експертів під час ухвалення рішення. Експерти формують рекомендації щодо вибору спеціальності, базуючись на моделях підлітка за професією і прогнозуванні можливих показників якості освіти за фахом [20, 21].

Модель підлітка за професією охоплює такі характеристики учня, як: психологічні особливості, зацікавленість у діяльності, рівень початкових знань, навчальні результати з окремих дисциплін і самооцінка навчальних досягнень із певних предметів.

На основі моделі підлітка експерти створюють модель фахівця в певній сфері й надають рекомендації щодо доцільності вибору конкретної спеціальності. Однак залучення експертів значно ускладнює організацію підтримки прийняття рішень в умовах обмеженого офлайн спілкування, адже потребує індивідуальної комунікації. Крім цього, оцінювати зацікавленість у діяльності, з якою підліток раніше не стикався, особливо складно.

В Швеції найбільша увага приділяється учням середньої школи, з 7 по 9 класи і старшій середній школі (гімназії). Кар'єрні консультанти проводять індивідуальні співбесіди з учнями (рис. 1.1 а) і надають інформацію під час виступів у класах чи іншими каналами.



Рисунок 1.1. Офлайн робота з професійної орієнтації [22, 23]

Існує два підходи:

– «Широкий» підхід наголошує на «кар'єрній освіті» в ширшому сенсі й передбачає, що відповідальність за підготовку учнів до професійного життя лежить не тільки на кар'єрних консультантах, а й на інших учителях та адміністрації школи.

– «Вузький» підхід зосереджується на безпосередньому консультуванні (інтерв'ю, інформаційні сесії) і є зрозумілим та зручним для учнів.

У Швеції цілі професійного ототожнення задекларовані у навчальних планах і шкільні програми формують у учнів кар'єрні компетентності. Проте хоча документи наголошують, що профорієнтація має бути інтегрованою у весь навчальний процес, фактично вона найчастіше залишається справою винятково кар'єрного консультанта.

Учителі часто не беруть активної участі в цьому процесі, оскільки:

- не мають достатньої підготовки у галузі кар'єрної освіти;
- не впевнені, хто, коли й за що відповідає під час упровадження такої освіти;
- не мотивовані виконувати додаткові обов'язки.

Також кар'єрні консультанти часто змушені працювати одразу в декількох школах і не мають змоги повноцінно охопити усіх учнів. Самі консультанти та їхні профспілки вказують, що ресурсів замало, щоб забезпечити якісне консультування та виконати задекларовані навчальними планами цілі. Серед інших проблем є нарікання з боку роботодавців і деяких політиків, що учні мало орієнтуються на реальні потреби ринку праці, і надто мало молоді йде на професійні (в т.ч. робітничі) спеціальності, тоді як ринок відчуває нестачу кваліфікованих працівників [24].

Заходи, що спрямовані на ознайомлення з професійною діяльністю (ярмарки професій і дні відкриття дверей) проводять і заклади освіти України (рис. 1.1, б). Але такі заходи теж передбачають залучення великої кількості працівників в неробочий час і потребують певних зусиль для організації зустрічі підлітків з фахівцями.

На відміну від використання засобів профорієнтаційної підтримки, що потребують залучення спеціалістів з кар'єрного консультування, застосування онлайн сервісів надає можливість підлітку здійснити самооцінку своїх знань і здібностей.

1.3. Онлайн тестування підлітків

Усі ефективні методи передбачення успішної реалізації особистості в тій чи іншій діяльності базуються на аналізі результатів тестування спеціальних здібностей особистості й враховують інтереси та види діяльності людини, які вона може виконувати за різних умов. Наразі в Інтернеті існують різноманітні анкети самооцінки і тести для оцінювання відповідності психічних, психологічних і фізіологічних якостей особистості кваліфікаційним вимогам спеціалістів різних професій, що створює умови для кращого самопізнання через онлайн тестування.

Анкети самооцінки, що пропонують онлайн сервіси, враховують перспективу підлітків на основі оцінки їхніх здібностей і компетентностей, при умові правильно підібраних питань. Також, на відміну від використання засобів профорієнтаційної

підтримки, що потребують залучення спеціалістів з кар'єрного консультування, застосування онлайн сервісів надає можливість підлітку здійснити самооцінку своїх знань і здібностей. Проте здебільшого ці тести орієнтовані саме на випускників шкіл, які достатньо усвідомлюють свої інтереси, прагнення та професійні плани [25–28].

У підлітків такі особистісні якості зазвичай ще недостатньо сформовані, тому результати тестів можуть бути ненадійними. Крім того, усвідомлення неспроможності однозначно відповісти на питання тесту може призвести до посилення внутрішніх суперечностей. Це, своєю чергою, викликає негативну емоційну напругу й психологічний дискомфорт.

Також у відкритому доступі розміщені тести психологічних якостей і спеціальних здібностей особистості, які:

- з одного боку, дозволяють визначити професійні якості та отримати рекомендації щодо доцільності вибору певної професії;
- з іншого боку, не враховують перспективи працевлаштування і потреби суспільства у майбутньому.

Для оцінки психологічних якостей підлітків розробляються профорієнтаційні методики на основі тестування спеціальних здібностей особистості. Водночас існує низка нюансів, що пов'язані з вимогами до самих тестів, серед яких: сучасність; адаптація до конкретного регіону; здатність враховувати майбутній попит на вже існуючі професії; здатність враховувати перспективи появи нових професій.

Лідером на ринку професійної орієнтації молоді в Європі є комплекс «Magellano» [29], який не потребує встановлення додаткового програмного забезпечення й охоплює широкий спектр спеціальностей (рис. 1.2, а).



Рисунок 1.2. Magellano (а) [29], SAT тест (б) [30], Дія.Освіта (в) [31]

В основі «Magello» лежить методика, що враховує сучасні вимоги і зорієнтована на майбутнє, проте цей комплекс пристосовано до вимог європейських університетів.

SAT Reasoning Test (рис. 1.2, б). – стандартизований тест для вступу до коледжів у США [32], який розроблявся з метою оцінки готовності до навчання в коледжі. SAT Reasoning Test складається з трьох розділів: текстового аналізу, математики та письма.

В Україні для виявлення здібностей до опанування певної спеціальності на базі американських і шведських тестів SAT створено і адаптовано до використання в Україні UkrSAT. UkrSAT, як один із способів відбору до закладів вищої освіти, доповнює предметні компетентності абітурієнтів на основі предметних тестів. Проте, цей тест зорієнтований саме на вступників до закладів вищої освіти.

У [27] розглядається тест загальної освітньої компетентності, концепція якого базується на системі ключових компетентностей у закладах вищої освіти в Україні, при цьому:

- набуття ключових компетентностей визначено основною метою загальної середньої освіти та важливою передумовою для саморозвитку і самореалізації особистості, необхідною для успішного навчання;

- методика, що лежить в основі тесту загальної освітньої компетентності, не враховує інтересу до професії, а також не відображає актуальності спеціальності й перспектив працевлаштування.

Ще однією платформою для отримання профорієнтаційної підтримки методом онлайн тестування є Дія.Освіта [31]. Це тестування (рис. 1.2, в). базується на психологічній типології Юнга, що пояснює як люди сприймають світ і ухвалюють рішення через чотири дихотомії: екстраверсія/інтроверсія; сенсорика/інтуїція; логіка/емоції; організованість/гнучкість.

Тест, орієнтовна тривалість проходження якого ~30 хв, має рекомендаційний характер, містить 94 запитання і показує як людина приймає рішення і сприймає навколишній світ.

У [33, 34] досліджується інформаційна система ідентифікації здібностей вступників «Абітурієнт», яка розроблялась для прогнозування успішності в професійній діяльності осіб у різних галузях на базі карти рекомендованих професій. Однак результати діагностики за методикою, що складає основу цієї системи, лише

приблизно вказують на сферу професійної діяльності, не розв'язуючи проблему невизначеності у виборі конкретної спеціальності.

Таким чином, дослідження наявних систем тестування психологічних якостей, професійних і спеціальних здібностей показало, що для забезпечення обґрунтованої підтримки підлітка у виборі майбутньої спеціальності потрібний аналіз результатів тестування. Проте отримані дані, створені на різних теоретичних засадах, є неоднорідними й не завжди узгоджуються між собою. Спроба підлітка самостійно узагальнити такі результати може не лише ускладнити вибір спеціальності, а й посилити внутрішні суперечності, що пов'язані з необхідністю прийняття рішення в умовах невизначеності. Окрім того підтримка рішення щодо вибору професії передбачає оцінку спеціальних здібностей, що визначаються набором компетентностей випускника закладу освіти, і потребує залучення викладачів цих закладів і спеціалістів галузі [35].

Суттєвим недоліком анкетного онлайн оцінювання здібностей підлітків вважається втрата інтересу до самого процесу оцінювання внаслідок тривалості обробки результатів, відсутності швидкого зворотного зв'язку і недостатньої адаптивності онлайн сервісів, які наразі використовуються [36]:.

Серед інших проблем, які досі потребують вирішення [35]:

- зазвичай суб'єктивний характер відповіді підлітків на питання анкет;
- ризик помилки через нечітку уяву майбутньої професійної діяльності;
- відсутність механізмів самооцінки інтересів і здібностей, що надають можливість знизити рівень нечіткої невизначеності в режимі реального часу.

Профорієнтаційна робота з об'єктивною оцінкою результатів виконання комп'ютерних ігрових завдань професійного спрямування в реальному часі, на відміну від анкетного тестування, є одним із шляхів:

- створення сприятливих інтерактивних умов для усвідомлення професійних інтересів і здібностей без зайвого тиску сторонніх осіб і стресу від відповідальності за рішення, що приймається в умовах невизначеності;
- подолання невизначеності, що пов'язана з нечіткою уявою про майбутню професію і відсутністю чіткої оцінки здібностей до виконання професійної діяльності.

1.4. Гра, як інструмент навчання та оцінки здібностей

Гра є одним зі способів самореалізації та пошуку моделі самоствердження, що відбувається через умовне конструювання реальності. У ході гри яскраво проявляються особливості мислення й уяви підлітка, його емоційність, активність і потреба у спілкуванні. Аналіз феномену гри свідчить, що вона дає змогу відтворити певний досвід через імітацію відповідних ситуацій та, таким чином, реалізувати інтерес до різних видів діяльності. Саме тому гейміфікація освіти стала об'єктом активного дослідження, а гру розглядають як особливий вид людської діяльності.

Головна мета освітніх ігор [37, 38] – сформувати у майбутніх фахівців здатність поєднувати теоретичні знання з практичною діяльністю, адже гра є певним видом діяльності в умовах, спрямованих на відтворення та засвоєння соціального досвіду.

Професійно-орієнтована гра є видом діяльності в умовах, що спрямовані на відтворення і засвоєння певних знань, навичок і соціального досвіду (рис. 1.3) [23].

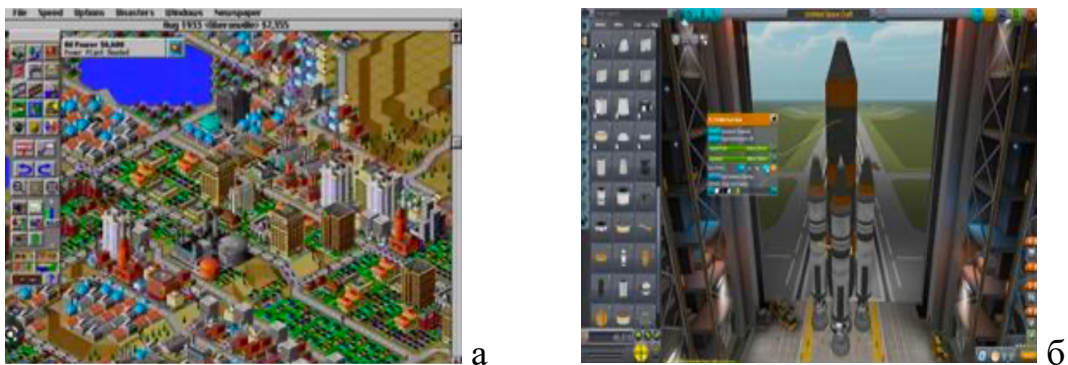


Рисунок 1.3. Елементи гри SimCity (а) та Kerbal Space Program (б) [23]

Дослідження [37, 39] підтверджують мотиваційний ефект і когнітивний потенціал комп'ютерних ігор, що дає змогу стимулювати пізнавальні й розвиткові функції. Комп'ютерні ігри впливають як на здатність особистості до навчання, так і на її соціальну адаптацію. Водночас використання гри на кожному етапі розвитку особистості має свої завдання й наслідки [21, 40].

Таким чином, комп'ютерні ігри впливають і на здатність до навчання і на соціальну адаптацію **особистості**.

Попит на когнітивне вдосконалення й розвиток комп'ютерних технологій спонукав ігрову індустрію до створення навчальних програм, орієнтованих на розвиток і вдосконалення навичок.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій свідчить, що новітні комп'ютерні технології дозволяють не лише оцінювати результати навчальних ігор, а й:

- фіксувати риси особистості, які проявляються в процесі гри;
- відображати ступінь зацікавленості у певній професії;
- визначати здатність навчатися у відповідній галузі.

В суспільстві сформувалася й стрімко розвивається перспективна галузь «Інформаційні технології в освіті».

До неї належать такі питання, як відкрита освіта; дистанційна освіта; інформаційні освітні середовища; інтелектуальні освітні системи.

Активне впровадження комп'ютерних та інтернет технологій в освітній процес сприяє швидкому розвитку явища віртуального тестування.

Ця галузь розвивається на межі педагогіки і психології та передбачає використання інтелектуальних та інфокомунікаційних систем і технологій для контролю рівня знань, умінь і навичок та оцінювання спеціальних здібностей людей різного віку.

Ігрова технологія являє собою цілісний освітній комплекс, що охоплює частину навчального процесу й об'єднана єдиним змістом. Вона послідовно містить ігри й завдання, що спрямовані на формування вмінь визначати основні, характерні ознаки об'єктів, порівнювати й протиставляти їх.

Ігрова технологія дедалі більше впроваджується в процес оцінки природних здібностей дітей і підлітків, адже професійно орієнтовані комп'ютерні ігри можуть виявити [41-43]:

- зацікавленість у тій чи іншій оперативній діяльності;
- природні здібності до виконання певних оперативних дій.

Ще одним із найважливіших досягнень сучасності є інтелектуальні електронні системи оцінювання, які не лише автоматизують процес перевірки знань студентів

[44, 45], а й надають можливості для оцінювання професійних здібностей за допомогою наявних професійно орієнтованих комп'ютерних ігор [3, 37, 46–48].

Застосування ігрових завдань у профорієнтації дозволяє підлітку:

- познайомитись з реальними умовами і характером роботи, що значно зменшує невизначеність і створює сприятливі умови для професійної самоідентифікації [42];
- усвідомити власні інтереси через отримання досвіду віртуальної професійної діяльності [21, 49];
- значно знизити емоційне напруження в процесі вибору майбутньої професії.

У грі проявляються як спеціальні, так і професійні здібності. Це уможливорює формування портрету майбутнього фахівця за результатами виконання ігрових завдань і надання обґрунтованої рекомендації щодо доцільності вибору професії.

Таким чином, зменшується частка невизначеності, що пов'язана з уявленнями про діяльність фахівців різних професій, і зростають шанси зробити правильний вибір. Це означає, що за умови вдалого добору ігор, які адекватно відтворюють оперативну діяльність спеціалістів у різних галузях, підліток зможе самостійно зрозуміти, яка професія йому подобається більше. Проте залишається велика кількість підлітків, які не можуть зробити вибір із низки прийнятних альтернатив. Саме тому в цьому дисертаційному дослідженні розглядаються питання розробки інтелектуальної інфокомунікаційної системи, здатної надавати підліткам підтримку у виборі майбутньої професії на основі діагностики міри інтересу до різної діяльності, що відтворюється в грі, і спеціальних здібностей особистості, які в цій грі проявляються.

1.5. Гейміфікація профорієнтаційного процесу

Попри використання поняття «гейміфікація» в науковій літературі з 2010 року, трактування цього терміну поки не усталене [50].

В роботах, що спрямовані на дослідження потенціалу гейміфікації щодо розширення традиційного навчання шляхом застосування ігрової діяльності у реальному світі, гейміфікація розглядається як:

– частинне рішення проблеми зниження мотивації шляхом залучення учнів сучасних шкіл до відеоігрової діяльності в умовах онлайн навчання [51, 52];

– оновлення навчальної парадигми з перевагою інтерактивного навчання і тренуванні певних навичок шляхом упровадження ігор, ігрових технік та ігрових практик з освітньою метою [53–55].

– реалізація компетентного підходу здобувачів освіти профільних класів закладів середньої [56] і вищої освіти [57], що сприяє виробленню вміння працювати в команді та вносить елемент цікавості в професійно-освітню діяльність.

Проте застосування ігрових технологій для оцінки професійних здібностей особистості в цих роботах не розглядається, оскільки передбачає не лише визначення рівню знань і навичок з використанням відеоігрової діяльності.

Для оцінки професійних здібностей через ігровий процес потрібно формалізувати такі поведінкові характеристики особистості, як стратегія вирішення завдань під час гри. Наразі ця проблема лишається невирішеною через нестачу підходів до аналізу ігрових даних, що дозволить інтерпретувати результати гри підлітка як достовірний показник професійних здібностей особистості.

В цій роботі поняття гейміфікація розглядається як застосування ігрових елементів і принципів дизайну ігор у неігрових контекстах задля підвищення мотивації та залученості користувачів [58].

В дослідженні [59] описано комп'ютерні системи професійної орієнтації (CACGS), що не вимагають особистих консультацій і можуть зменшити витрати на оплату праці кар'єрних консультантів (рис. 1.1).

Наразі CACGS вже використовуються для вирішення питань планування кар'єри. Проте ці системи не вирішують повністю питання профорієнтації, оскільки планування кар'єри потребує довготривалого відстеження результатів рішень, прийнятих на етапі вибору професії. Для підвищення мотивації в [59] запропоновано ігрове навчання, яке спрямоване на покращення саморозуміння та заохочення молодих людей до професійної підготовки, яка їм сподобається. Таким чином, у [59] зроблено спробу відтворити цікаву і ефективну систему профорієнтації, яка може замінити консультування та коучинг, перетворивши їх на ігри, що допоможе молодим

людям через гру усвідомити свою майбутню кар'єру за допомогою ігор. Проте в роботі не описано, яким чином CACGS можна використовувати для підтримки рішень, якщо особа не може здійснити вибір із множини прийнятних альтернатив.

В роботі [60] описано процес оцінки здібностей до роботи в сфері логістики на основі порівнянні успішності виконання професійно-орієнтованих комп'ютерних ігрових завдань до і після навчання. Такий підхід надає змогу вирішити проблему плинності кадрів в одній сфері діяльності якщо вибір діяльності уже зроблено. Але при цьому лишаються поза увагою інші професії, до яких у підлітка можуть бути більший інтерес і кращі здібності.

Одним із найпопулярніших прикладів використання гейміфікації в освітньому процесі є платформа Kahoot [61-67], що вирізняється простотою використання й високим рівнем залученості учнів завдяки системі рейтингу, таймеру і візуально привабливому інтерфейсу (рис. 1.4).

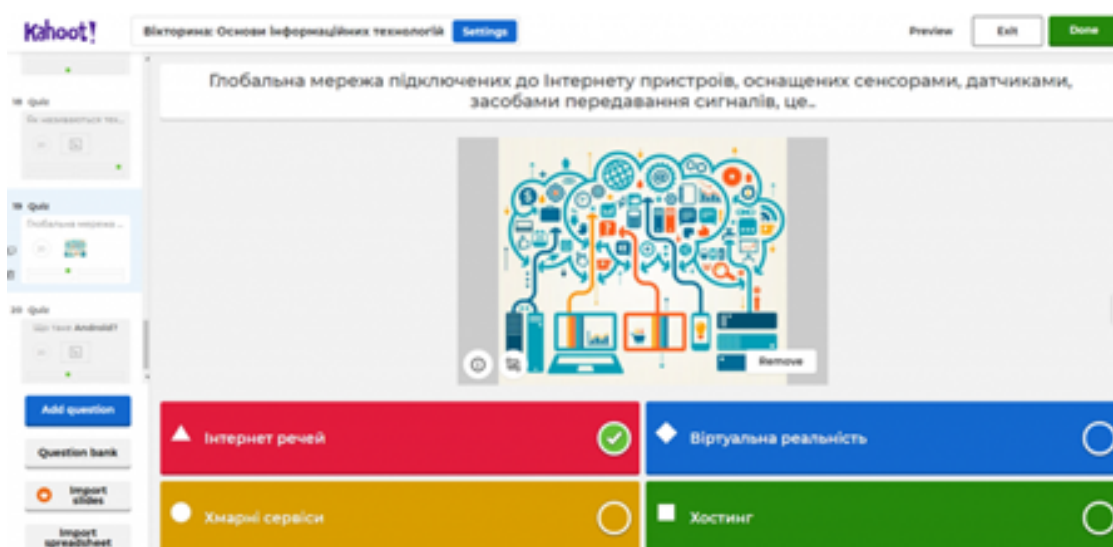


Рисунок 1.4. Kahoot [68]

Використання Kahoot дає вчителям можливість створювати онлайн вікторини й проводити їх у форматі змагання, що стимулює учнів відповідати швидше й точніше, водночас підтримуючи доброзичливу конкуренцію.

Інша відома платформа – Socrative [63, 65, 66], де вчитель збирає відповіді учнів у реальному часі за допомогою коротких опитувань і вікторин (рис. 1.5).

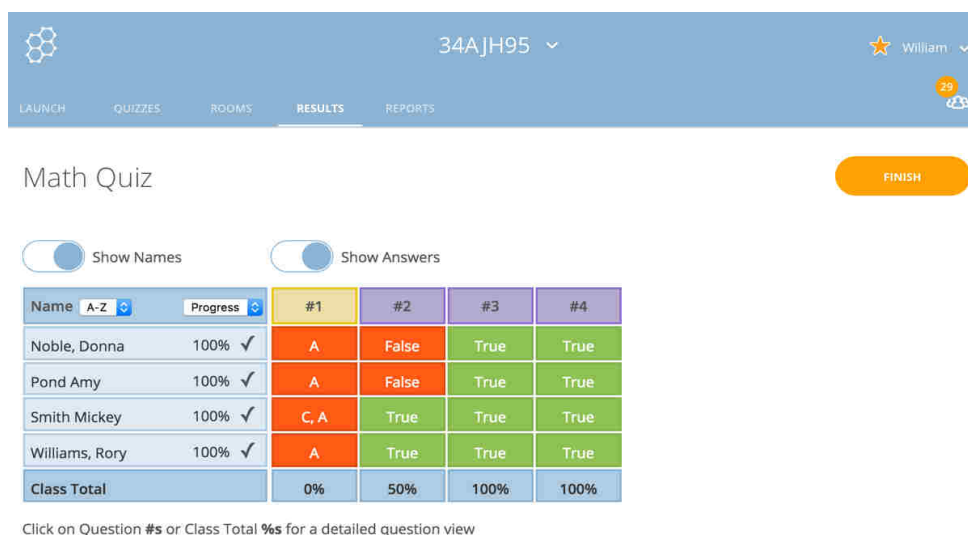


Рисунок 1.5. Socrative [69]

Цей інструмент пропонує зручні функції аналізу результатів та вбудовану систему зворотного зв'язку.

Подібним чином Quizizz [61, 62, 64-66] надає інтерактивний підхід до оцінювання, дозволяючи вчителям налаштовувати ігрові елементи та підтримувати високу залученість учнів через барвистий дизайн.

Ще одна подібна платформа – Mentimeter [70, 71], яка фокусується на миттєвому зворотному зв'язку і надає змогу влаштовувати інтерактивні сесії, у тому числі голосування чи сесії запитань-відповідей, що підвищує активність і зацікавленість у групових обговореннях (рис. 1.6).



Рисунок 1.6. Mentimeter [73]

Ці засоби мають низку недоліків, серед яких:

- використання здебільшого багатоваріантних відповідей не завжди дозволяє перевірити глибину знань чи навички критичного мислення;
- онлайн вікторини потребують стабільної мережі для синхронної взаємодії;
- яскравий дизайн і велика кількість «гейміфікаторів» може відволікати підлітка від головного навчального матеріалу.

В [72] описано онлайн платформу Gamitest, що поєднує традиційні методи тестування з гейміфікацією для підвищення мотивації і залученості студентів при оцінюванні знань (рис. 1.7).

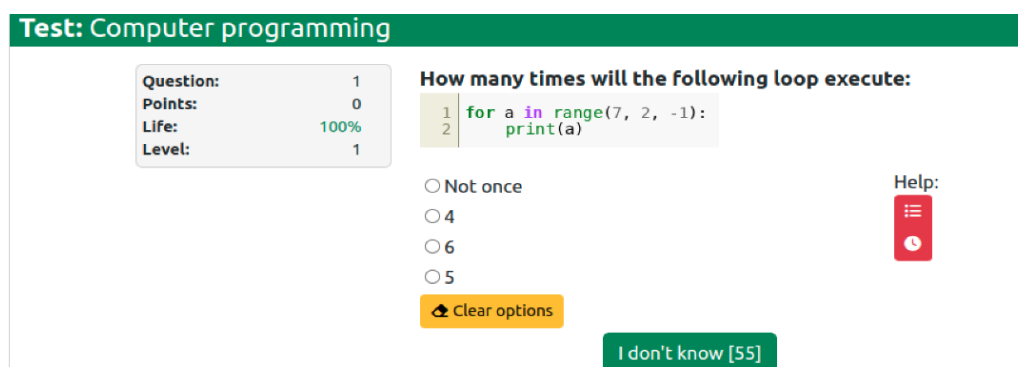


Рисунок 1.7. Питання в системі Gamitest [72]

Ця платформа пропонує призначати бали, досягнення, рівні складності та інші гейміфікаційні елементи, що робить процес складання тесту більш схожим на гру. Тут викладачі можуть завантажувати чи створювати тести різних рівнів складності, а студенти отримують інтерактивний інтерфейс із відгуком у реальному часі. Gamitest також дає змогу викладачам керувати переліком питань, результатами студентів і налаштуваннями ігрових опцій. Але ця платформа потребує розробки якісних питань, оскільки навіть найцікавіший гейміфікований підхід втрачає сенс без добре складених тестових завдань. До того ж викладачам може знадобитися певний час на вивчення платформи й інтерфейсу, а також на адаптацію наявних тестів.

Таким чином, профорієнтаційна робота з об'єктивною оцінкою результатів комп'ютерних ігрових завдань професійного спрямування в реальному часі, на відміну від анкетного тестування чи офлайн програм, є одним із шляхів [36, 74]:

- створення сприятливих інтерактивних умов для усвідомлення професійних інтересів і здібностей без зайвого тиску сторонніх осіб і стресу від відповідальності за рішення, що приймається в умовах невизначеності;
- подолання невизначеності, що пов'язана з нечіткою уявою про майбутню професію і відсутністю чіткої оцінки здібностей до виконання професійної діяльності;
- вирішення соціальної проблеми плинності кадрів, що спричиняє дисбаланс попиту і пропозицій на ринку праці та зростання витрат на навчання і перенавчання фахівців різних галузей;
- зменшення залучення людських ресурсів в процес профорієнтаційної роботи і пов'язаний з цим довготривалий прибуток за рахунок економії коштів на проведення офлайн заходів, а також навчання і заробітну плату кар'єрних консультантів;
- отримання екологічного прибутку завдяки економії паперу, що досі не виправдано масово використовується в рекламній діяльності закладів освіти;
- отримання економічного прибутку за рахунок використання існуючих професійно-орієнтованих ігор.
- забезпечення процесу навчання в аудиторіях через набуття досвіду та аналізу результатів.

1.6. Досвід попередніх розробок

Раніше, колективом авторів КНУБА в [33, 41, 42, 75, 76] була запропонована концептуальна модель інтелектуальної інфокомунікаційної системи підтримки прийняття рішень абітурієнтів (рис 1.8), розробка і впровадження якої в профорієнтаційний процес закладів вищої освіти передбачали попереднє тестування загальної навчальної компетенції та оцінку здібностей абітурієнтів до виконання професійної діяльності з використанням комп'ютерних професійно-орієнтованих ігор.

Інтелектуальна система – це комп'ютерний агент, який сприймає довкілля, вирішує, яку з можливих дій виконати, діє у межах допустимих сценаріїв і взаємодіє з людьми чи іншими агентами для досягнення заданих цілей, – причому всі ці функції ґрунтуються на формалізованих знаннях і моделях штучного інтелекту [78].

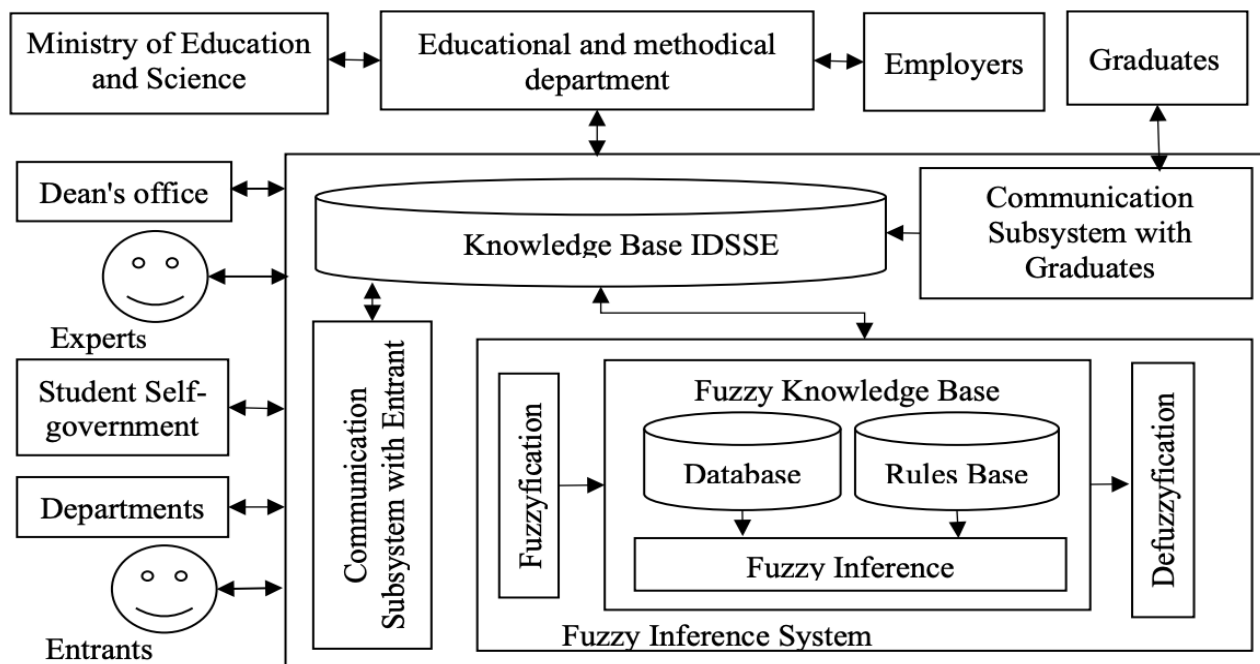


Рисунок 1.8. Модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень абітурієнтами [42]

Інфокомунікаційна система – інтегрований комплекс засобів інформаційної обробки, який забезпечує створення, передавання, зберігання та подання цифрового контенту [77].

Система, що запропонована авторами [33, 41, 42, 75, 76], складається з бази знань, підсистеми взаємодії з абітурієнтом і випускниками вищого навчального закладу. База знань містить бази даних, необхідні для надання інформації, тестування та оцінювання професійних здібностей особи за спеціальностями вищого навчального закладу. У базах даних зберігаються дані про спеціальності навчального закладу, вимоги, що пред'являються до відповідних професій [75, 33].

Обґрунтування рекомендацій пропонувалось виконувати на основі характерних якостей абітурієнта (рис. 1.9).

Ступінь інтересу до професійної діяльності характеризувалась часом вибору гри із запропонованої системи багатьох ігор. Час проходження кожного рівня відображає швидкість прийняття рішень під час виконання професійно орієнтованих завдань, а відносний критерій t_i надає можливість порівняти його з еталонним часом виконання завдання певного рівня.

Під час призначення функцій належності вхідним та вихідним даним на цьому етапі розробки системи використовуються евристичні зв'язування та адаптації.

Перехід від чітких до нечітких характеристик за часом проходження здійснюється з урахуванням характеру ігрового завдання, який на цьому етапі дослідження визначається експертами.

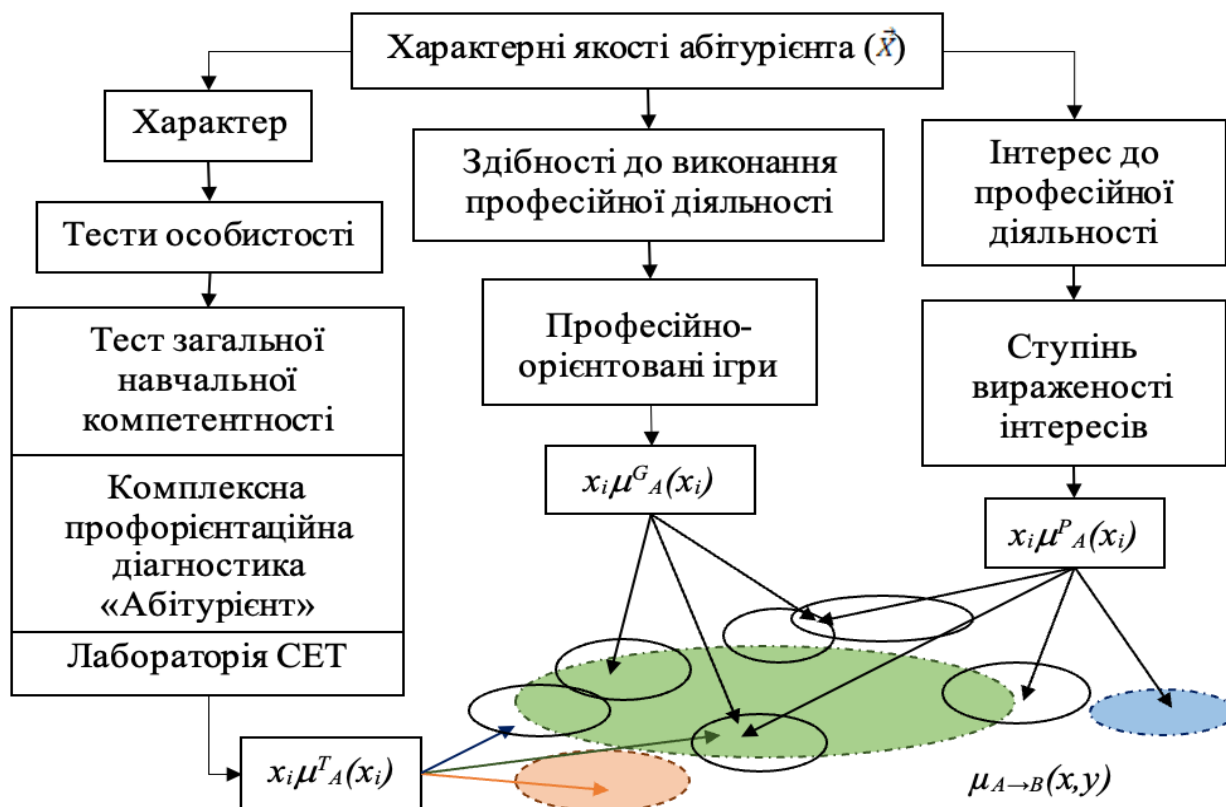


Рисунок 1.9. Схема формування портрета особистості абітурієнта [42]

При цьому експертні правила ураховують характер помилок, що зроблені при виконання завдань різних рівнів.

В [3] залишилось невирішеним питання оцінки міри інтересу до професійної діяльності. Також невирішене питання урахування кількості спроб, використаних на виконання завдань, а це питання є вкрай важливим при виборі професії, що потребує прийняття правильного рішення з першої спроби.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз проблеми професійної ідентифікації та оцінки здібностей особистості показав актуальність і доцільність розробки, та впровадження у практику профорієнтації інформаційних систем підтримки рішення, основним призначенням яких є підтримка прийняття обґрунтованого рішення підлітків в процесі самоідентифікації на етапі вибору майбутньої професії.

2. Аналіз світових практик щодо процесу оцінки спеціальних здібностей підлітка свідчить про те, що не всі країни впровадили інструменти для проведення такої діяльності. Також з'ясовано, що існуючі методи оцінки мають низку проблем, які можуть призвести до неточності результатів, тому наразі без допомоги експертів і фахівців у галузі неможливо надати достатньо надійний рекомендаційний висновок щодо здатності підлітка до виконання певної діяльності за набором характеристик його особистості. Подолання цих проблем потребує створення інфокомунікаційних систем для оцінки спеціальних здібностей підлітків.

3. Аналіз застосування гейміфікації в процесі профорієнтації показав, що її потенціал ще недостатньо реалізовано для оцінювання особистісних якостей і спеціальних здібностей підлітків. Діагностика цих характеристик на основі професійних комп'ютерних ігрових завдань не лише дасть змогу підліткам активно перевірити себе в різних видах діяльності, а й сприятиме виявленню власних уподобань.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [3, 4, 23, 43].

РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМКИ РІШЕННЯ ПІДЛІТКА ЩОДО ВИБОРУ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

У розділі формалізовано процес підтримки прийняття рішення підлітка щодо вибору спеціальності на основі тестування з використанням комп'ютерних ігрових завдань професійного спрямування і процес формування портрету підлітка в просторі вимог до профілю фахівця різних спеціалізацій; описано процес формування бази даних ігор на основі наявних професійних ігор; показано яким чином комп'ютерні ігри можуть симулювати професійну діяльність і відображати здатність виконувати операційну діяльність спеціалістів різних професій; сформовано критерії оцінки характерних якостей підлітків, які відображають інтерес до професійної діяльності та спеціальні здібності, які в різній мірі потрібні для набуття знань, умінь і навичок, що найкраще відповідають вимогам до профілю фахівця різних спеціалізацій з урахуванням кваліфікаційних вимог до випускників; запропоновано математичну модель, згідно з якою формується висновок щодо здатності підлітка до набуття знань, умінь та навичок за певною спеціальністю на основі виконання рівнів комп'ютерних ігор професійного спрямування різного ступеня складності.

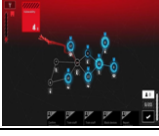
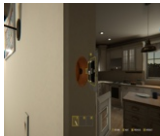
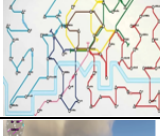
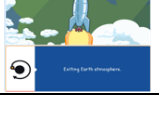
2.1. Гейміфікація тестування спеціальних здібностей підлітків

Організація і проведення комп'ютерного тестування та оцінювання спеціальних здібностей, які в різній мірі потрібні для оволодіння знаннями, уміннями й навичками відповідно до вимог профілю фахівців різних спеціалізацій, покладається на профорієнтаційні центри або профорієнтаційні відділи закладів вищої освіти.

Також зазначене комп'ютерне тестування має враховувати кваліфікаційні вимоги до підлітків. З цією метою до інфокомунікаційної системи завантажують професійно спрямовані ігрові завдання, в які буде грати користувач під час проведення оцінювання (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

База професійних ігор для оцінки професійних здібностей підлітків (фрагмент)

Гра	Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3	Рівень 4	Спеціальність	
Surgeon simulator					222 «Хірургія»	$^{ID}_{222}G_{vN}^{0N}$
Zero Threat					125 «Кібербезпека»	$^{ID}_{222}G_{vN}^{0N}$
Electrician					141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	$^{ID}_{141}G_{vN}^{0N}$
Architect					191 «Архітектура»	$^{ID}_{191}G_{vN}^{0N}$
Bridge Architect					192 «Будівництво та цивільна інженерія»	$^{ID}_{192}G_{vN}^{0N}$
Bridge builder					192 «Будівництво та цивільна інженерія»	$^{ID}_{192}G_{vN}^{0N}$
Plumber game					194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»	$^{ID}_{194}G_{vN}^{0N}$
Journey 2050 game					201 «Агрономія»	$^{ID}_{201}G_{vN}^{0N}$
Driver					274 «Автомобільний транспорт»	$^{ID}_{274}G_{vN}^{0N}$
Subway constructor					273 «Залізничний транспорт»	$^{ID}_{273}G_{vN}^{0N}$
Microsoft flight simulator					272 «Авіаційний транспорт»	$^{ID}_{272}G_{vN}^{0N}$
Rocket Lab					134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»	$^{ID}_{134}G_{vN}^{0N}$

Підтримка рішення здійснюється відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.1.

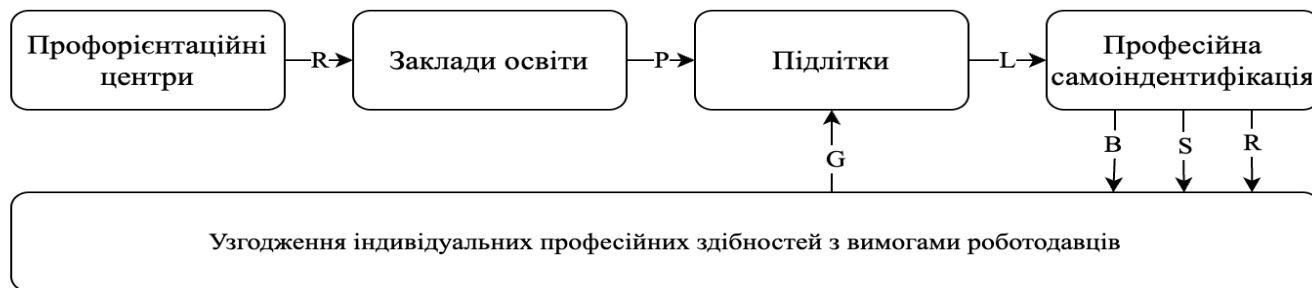


Рисунок 2.1 Схема реалізації підтримки рішення щодо вибору спеціальності [43]

Наведені на рис. 2.1 позначення мають такий зміст:

- R – множина популярних професій;
- P – перелік спеціальностей, які пропонує коледж;
- L – сукупність професійних уподобань та особистісних якостей підлітка, зокрема: інтереси, спеціальні здібності, характер і темперамент;
- B – множина інтересів підлітка;
- $S = \theta_N + v_N$ – множина, що відображає знання, інтерес, уміння та спеціальні здібності підлітка;
- $G = \psi(B, S, R)$ – рекомендаційний висновок, який формується системою;
- $\psi(B, S, R) = B \cap f(S) \cap R$ – функція зіставлення інтересів, здібностей, знань та вмінь підлітка з вимогами роботодавців.

База даних містить завдання, що моделюють практичні ситуації, притаманні професійній діяльності фахівців, які здобули спеціальну освіту в цій галузі.

Атрибути бази даних – коди спеціальностей закладу, а сутності задаються назвами ігор, що відображають здатність до навчання за цими спеціальностями.

База правил складається із системи правил, за якими:

- різним спеціальностям закладу, що надає освітні послуги, відповідає певний набір професійних ігрових завдань і визначаються критерії оцінювання;
- на підставі результатів виконання професійно-орієнтованих завдань різного рівня формується рекомендаційний висновок.

Для реалізації тестування професійних здібностей абітурієнта за допомогою професійно-орієнтованих комп'ютерних ігрових завдань фахівцями відповідних галузей сформовано добір завдань різної складності. Ці завдання відображають здібності реалізовувати характерні риси особистості, що відповідають різним кваліфікаційним вимогам до фахівця в деякій сфері.

Відбір комп'ютерних ігрових завдань для прогнозування майбутніх навчальних результатів здійснюється експертами з урахуванням:

- кваліфікаційних вимог роботодавця, які визначають здатність спеціаліста виконувати відповідні професійні обов'язки;

- сукупності компетентностей в освітній та освітньо-професійній програмі відповідного закладу освіти, що відображають здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях.

На поточному етапі розроблення системи продовжується вирішення завдання формування бази даних ігор на основі наявних професійних ігор, серед яких є: Architect, Bridge builder, Driver, Electrician, Journey 2050 game, Microsoft flight simulator, Plumber game, Subway constructor, Surgeon simulator, Zero Threat, Bridge Architect, Rocket Lab тощо. Водночас, щоб уніфікувати правила, за якими формується рекомендаційний висновок, експерти відбирають ігрові завдання з різними рівнями складності.

В цій роботі підбирались 4-х рівневі ігри з оцінкою першого рівня «0» чи «1». При чому «1» фіксує доцільність подальшого оцінювання, інші рівні є джерелом даних про «час» і «кількість спроб» і підліток не обмежується кількістю спроб оцінювання здібностей до опанування будь-якої спеціальності.

Але інтегральна компетентність спеціальності «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» висуває на перший план здатність розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі показує, що просто факт проходження користувачем першого рівня комп'ютерної гри в даному випадку не має сенсу. Таким чином гра Rocket Lab складається з завдань 3-ох рівнів складності.

Разом з тим, в системі збережені компетентності випускника першого рівня вищої освіти галузі знань 13 «Механічна інженерія», спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» згідно Стандарту Вищої освіти України.

Представлений фрагмент в табл. 2.2 містить загальні та фахові компетентності, що можуть бути оцінені і вдосконалені в процесі виконання ігрових завдань професійного спрямування.

Таблиця 2.2

Компетентності випускника першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 13 «Механічна інженерія», спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (фрагмент)

Інтегральна компетентність	
Здатність розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі, пов'язані з розробкою, виробництвом та сертифікацією авіаційної та ракетно-космічної техніки, що передбачає застосування теорій та методів фізики, математики та інженерних наук, і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.	
Загальні компетентності	
K04	Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
K07	Здатність приймати обґрунтовані рішення.
K08	Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
Спеціальні (фахові) компетентності	
K11	Здатність використовувати теорії динаміки польоту та керування при проектуванні об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки.
K15	Здатність проектувати і здійснювати випробування елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем і підсистем.
K17	Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій, спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.
K18	Здатність враховувати економічні та управлінські аспекти виробництва об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Ігрові завдання, що моделюють різні практичні ситуації в різних галузях (табл. 2.1), надають змогу оцінити рівень відповідності спеціальних (фахових) здібностей підлітка кадровим кваліфікаційним вимогам до профіля фахівця (рис. 2.1).

У грі «Surgeon simulator» підлітку пропонуються завдання різного рівня, під час виконання яких він може відчути себе хірургом. Ця гра відображає зацікавленість у здобутті спеціалізації хірурга.

Для успішного виконання завдань потрібні певні знання з анатомії, хімії та біології, а також наявність таких якостей, як уміння [79]:

- обирати обґрунтовані рішення в типових клінічних ситуаціях, спираючись на набуті компетентності;
- зберігати увагу й витривалість під час відпрацювання типових клінічних сценаріїв;
- тривалий час зосереджуватися на одному об'єкті;
- контролювати емоції;
- застосовувати інформаційний простір і сучасні цифрові технології в професійній діяльності.

Окрім того, до багатьох необхідних критеріїв для оцінювання здатності оволодіти медичною професією варто додати оцінювання емоційного стану, який відображає ставлення до життя та здоров'я пацієнтів.

У грі «Subway constructor» підліткам пропонуються ігрові завдання, пов'язані з проектуванням і будівництвом метро в різних умовах. Завдання різного рівня відрізняються кількістю окремих мереж, їхнім розміром та збільшенням кількості спільних вузлів, а також часовими обмеженнями й додатковими геологічними умовами.

Успішне виконання завдань «Subway constructor» передбачає відсутність клаустрофобії, достатній рівень просторової уяви й наявність певних знань із таких дисциплін, як географія, геологія, геометрія й фізика.

Ця гра також відображає зацікавленість у здобутті спеціалізацій, пов'язаних із роботою логістів і технічних фахівців, які аналізують стан систем і мереж для різноманітних цілей.

Усі професії, пов'язані з мережами та системами, передбачають здатність [80]:

- розв'язувати завдання декомпозиції і композиції просторово розгалужених мереж;
- використовувати інформаційний простір і сучасні цифрові технології в професійній діяльності;
- обирати найкраще рішення серед багатьох альтернатив.

У покроковій навчальній грі «Zero Threat» ігрове поле постає як сукупність взаємопов'язаних вузлів, що є рухомими частинами реальної мережі організації, включає мобільні телефони, ноутбуки, сервери, хмарні сховища і співробітників. Сила й частота загроз і атак на браузері поступово зростає й поширюється мережею. Це призводить до викрадення, знищення чи зміни даних. Таким чином, моделюються різні види кібератак для «співробітників» корпорації. Мета ігрових завдань – вибрати запобіжні заходи чи контрзаходи, які захистять дані мережі.

Успішне виконання завдань «Zero Threat» вимагає достатнього рівня володіння іноземною мовою, певного рівня знань із мов програмування, уміння користуватися інформаційним простором, що відображає здатність виконувати професійні обов'язки за спеціальностями [81]:

- фахівець із безпечного адміністрування мереж;
- спеціаліст із протидії хакерським атакам;
- спеціаліст із захисту інформації в інформаційно-комунікаційних системах;
- спеціаліст із ризик-аналізу інформаційної безпеки;
- 2529 спеціаліст із безпеки (згідно з Міжнародною стандартною класифікацією професій ISCO-08, 2008).

Усі професії за спеціалізацією «Кібербезпека» вимагають здатності оперативно:

- реагувати на інциденти в галузі інформаційної безпеки;
- оцінювати ризики інформаційної безпеки;
- вибирати найкраще рішення з множими альтернатив.

«Microsoft flight simulator» пропонує підлітку завдання, безпосередньо пов'язані з пілотуванням літака. Складність завдань визначається погодними умовами

й ситуаціями, що виникають під час польоту, зльоту та посадки, й дає змогу підлітку зрозуміти наслідки неправильних рішень та невідповідних дій.

Завдання «Microsoft flight simulator» не лише вимагають певних знань із фізики і геометрії та відображають інтерес до опанування спеціалізації «Льотна експлуатація», а й дають змогу системі оцінити фізіологічні, розумові й психологічні якості, такі як здатність до:

- швидкого практичного застосування сучасних правил експлуатації повітряних суден;
- оперативного розуміння причин змін у польотних характеристиках літака.

Крім того, успішне виконання завдань передбачає вміння користуватися новітніми інформаційними технологіями в роботі повітряного судна з урахуванням особливостей практичних ситуацій, а також наявність таких рис характеру й природних здібностей, як:

- уміння швидко орієнтуватися в різних системах координат;
- здатність тривалий час утримувати в полі зору велику кількість динамічних об'єктів;
- оперативне реагування на неочікувані зміни зовнішніх умов і інтуїтивне ухвалення правильних рішень в умовах невизначеності та різноманітних ризиків.

Державний стандарт професійної освіти за спеціальністю «Енергетика, електротехніка та електромеханіка» передбачає вміння:

- застосовувати знання та розуміння принципів роботи електричних систем і мереж, пристроїв захисного заземлення та блискавкозахисту при розв'язанні практичних завдань;
- відтворювати процеси, що відбуваються в електричних та електромеханічних системах різного призначення, за допомогою комп'ютерного моделювання.

У грі «Electrician» підлітку пропонуються різноманітні завдання, пов'язані з ремонтом пристроїв та проводки в будівлі. Завдання різного рівня відрізняються складністю електричних схем.

Таке диференціювання дає змогу підлітку самостійно:

- ознайомитися з професійною діяльністю фахівців із ремонту енергетичного та електротехнічного обладнання;
- оцінити власну здатність розв'язувати завдання з ремонту й обслуговування електромеханічних систем та будинкових мереж;
- отримати обґрунтовану оцінку результатів виконання ігрових завдань, що відповідають професійній діяльності електрика.

Аналогічно, з урахуванням вимог роботодавців-замовників, здійснюється добір професійно спрямованих комп'ютерних ігор, які відображають здатність підлітка до інших професійних діяльностей.

Отже, усі системи підтримки ухвалення рішень щодо вибору майбутньої спеціальності, призначені для профорієнтаційної роботи різних центрів, відрізнятимуться лише базою знань.

2.2. Параметри оцінки інтересу та спеціальних здібностей підлітків

Одним із ключових аспектів під час вивчення багатокритеріальних задач є побудова вектора критеріїв – сукупності показників, за якими здійснюється оцінювання альтернатив і відбір найкращих рішень із усього розглянутого переліку. Цей етап формування «критеріального простору» відіграє визначальну роль у процесі прийняття рішення, оскільки подальші дії виконуються саме в його межах.

Окрім того, для отримання адекватної оцінки важливих рис підлітка, набір критеріїв має бути повним [82, 83] тобто таким, що охоплює всі суттєві характеристики (рис. 2.2).

Щоб визначити рівень відповідності спеціальних здібностей підлітка вимогам фахової кваліфікації та надати рекомендаційний висновок, у даній роботі пропонується аналізувати:

- міру інтересу (визначається часом, витраченим на вибір тестового завдання з певної множини альтернатив, дотичних до відповідної спеціальності та поверненням підлітком до гри, задля продовження її проходження);

– оцінку спеціальних здібностей (визначається часом, який користувач витрачає на проходження кожного з чотирьох рівнів тестового завдання, запропонованого інфокомунікаційною системою на запит користувача та кількістю спроб, які користувач витрачає на проходження кожного з чотирьох рівнів комп'ютерної гри);

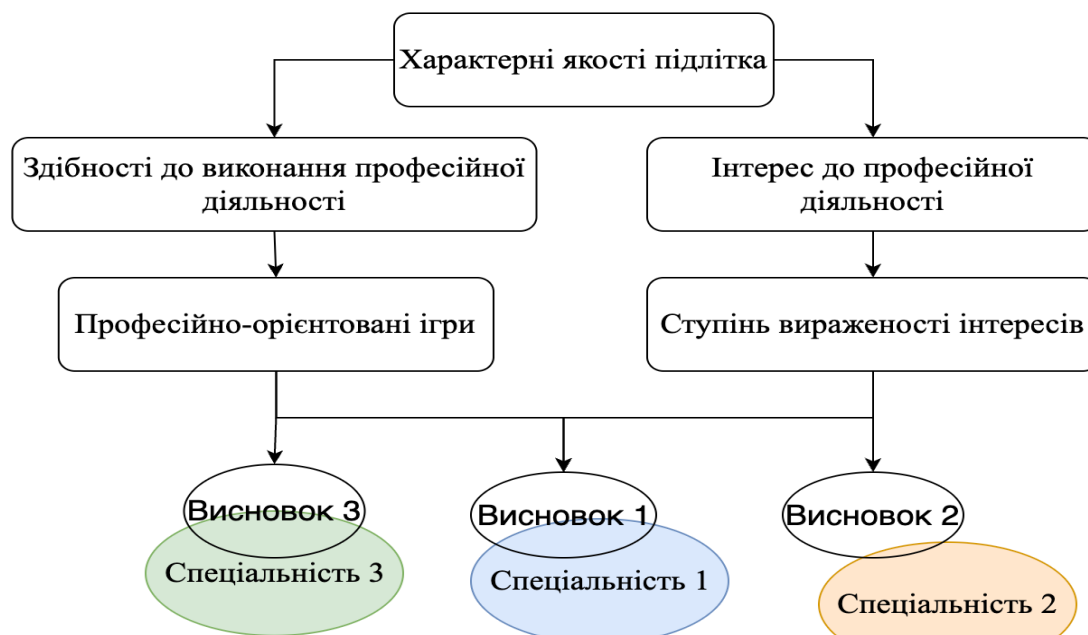


Рисунок 2.2 Схема формування портрету підлітка в просторі вимог до профілю фахівця різних спеціалізацій

Право вибору ігрового завдання з певної сукупності альтернатив запропоновано надати підлітку. При цьому фіксування часу, який підліток витрачає на вибір завдання, дає змогу сформувати критерій оцінювання ступеня зацікавленості у професії, а показник «повернення до гри» дозволяє його скоригувати.

Список параметрів для оцінки міри інтересу виглядає таким чином:

- i : int – порядковий номер вибраної гри ($1 \leq i \leq N$);
- N : int – загальна кількість ігор;
- t_{choice} : float – час у секундах, який підліток витрачає на вибір комп'ютерного ігрового завдання;
- T : float – оптимальний час для вибору гри;
- r : int – спроба, з якої підліток повернувся до початку гри.

Показник r обраховується таким чином:

- якщо після зупинки в гру X , наступна гра та ж сама, то $r=1$;
- якщо після зупинки в гру X , наступна гра не $X(Y)$, а наступна після – Y вибрана гра X , то $r=2$;
- якщо після зупинки в гру X , наступна гра не $X(Y)$, наступна знов не $X(W)$, а після йде X , то $r=3$.

Для обчислення оцінки здібностей підлітка необхідне дотримання правил:

- фахівці заздалегідь виконують завдання за різними сценаріями;
- результати виконання завдань фахівцями вважаються еталонними і використовуються для нормалізації даних, на основі яких формується нечіткий рекомендаційний висновок щодо вибору майбутньої професії.

Оцінювати спеціальні здібності підлітка пропонується такими параметрами:

1. k_n : int - показник «кількість спроб», що витратив користувач для проходження n -го рівня гри;
 2. K_n : int – показник «кількість спроб», що знадобились фахівцю для проходження рівню n ;
 3. C_m : float – стала, що визначається часом виконання завдання n -го рівня гри фахівцем;
 4. τ_n : float – час, який витрачає користувач на проходження n -го рівня гри;
 5. θ_{n1} : int = {0, 1} – оцінка готовності до навчання;
- В усіх випадках n ($n=\overline{1,N}$) – рівень N -рівневої гри.

2.3. Формування рекомендаційного висновку

Для формування рекомендаційного висновку щодо вибору професії на основі класифікації результату відповідної гри запропоновано використовувати математичну модель (2.1):

$$Y = f(S) = [Y1, Y2, Y3],$$

$$S = \theta_N(\theta_{n1}, \tau_1, k_1, \dots, \tau_N, k_N) + v_N(r, i, t_{choice}), \quad (2.1)$$

де Y – список ймовірностей міри приналежності результатів гри до одного з трьох класів: можливо ($P(0)$); рекомендовано ($R(1)$); не рекомендовано ($\bar{R}(-1)$), на основі яких генерується лінгвістичний висновок, який користувач отримує після закінчення гри і бачить в реальному часі; S – множина, що відображає знання, інтерес, уміння та професійні здібності підлітка; N – кількість рівнів гри; θ_N і v_N – оцінки здібностей до професійної діяльності, що відтворюється в грі і міри інтересу до професії.

Чітку оцінку ступеня вираженості інтересу до спеціальності запропоновано визначати за формулою (2.2):

$$\vartheta_N(r, i, t_{choice}) = \max(0, \min(1, \vartheta_0(i, t_{choice}) + g(r)), \quad (2.2)$$

де ϑ_0 – базовий рівень, який показує, наскільки швидко користувач обрав поточну гру (час) та чи знаходиться вона серед «перших» чи «останніх» у списку можливих; $g(r)$ – поправка, яка підвищує інтерес при поверненні до гри з першої можливості ($r=1$), залишає інтерес сталим при другій ($r=2$) та починає знижувати його при кожній наступній ($r \geq 3$).

Функція корекції міри інтересу до гри вираховується за формулою (2.3):

$$g(r) = \begin{cases} 0, & r = 0 \\ +\alpha, & r = 1 \\ 0, & r = 2 \\ -\beta(r - 2), & r \geq 3 \end{cases}, \quad (2.3)$$

де $\alpha > 0$ і $\beta > 0$ – деякі додатні коефіцієнти, що характеризують інтерес при повторному вході.

Тобто вважається:

- $g(r)=+\alpha$ – інтерес зростає при повторному вході одразу після зупинки ($r=1$);
- $g(r)=0$ – інтерес залишається без змін при повторному вході з другої можливості ($r=2$);

– $g(r) = -\beta(r-2)$ – інтерес спадає при вході після третьої і подальших можливостях ($r \geq 3$).

Чим більший r , тим вищий «штраф».

Формула (2.4), за якою запропоновано обчислювати базовий рівень інтересу (ϑ_0) до гри (в діапазоні від 0 до 1), має вигляд:

$$\vartheta_0(i, t_{choice}) = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{i-1}{N-1} + \min \left(\frac{t_{choice}}{60}, 1 \right) \right), \quad (2.4)$$

де t_{choice} – час у секундах, який підліток витрачає на вибір комп'ютерного ігрового завдання; 60 – час у секундах, відведений на вибір завдання; N – загальна кількість ігор; i – порядковий номер обраної гри ($1 \leq i \leq N$).

В (2.4) доданок $\frac{i-1}{N-1}$ пояснюється тим, що:

– якщо гра вибрана першою ($i=1$), то $\frac{i-1}{N-1} = 0$, то i не «знижує» зацікавленість.

– якщо гра вибрана останньою ($i=N$), то $\frac{i-1}{N-1} = 1$, то це максимально «знижує»

результат.

Доданок $\min \left(\frac{t_{choice}}{60}, 1 \right)$ в (2.4) інтерпретований таким чином:

– якщо гравець обирає гру миттєво ($t_{choice}=0$), це відношення теж 0;

– якщо гравець довго зволікає з вибором ($t_{choice} \geq 60$), відношення стає 1.

Зважування за допомогою $\frac{1}{2}$ та віднімання від 1 пояснюється таким чином:

– Середнє арифметичне обох нормалізованих величин (порядкового номера й часу вибору) задається в межах $[0;1]$.

– Віднімання отриманого значення від 1 означає: що менше «штрафів» (менше « i » і менше t_{choice}), то вищий рівень інтересу.

У результаті:

– значення ϑ_0 лежить в інтервалі $[0, 1]$, де 1 свідчить про максимальний інтерес (швидко вибрано першу гру), а 0 – про мінімальний (на вибір гри витрачено максимально можливий час).

– значення u_N , це останнє значення серед множини отриманих значень u_i , тобто, якщо до завершення всіх рівнів гри, було обраховано значення u_0, u_1, u_2 , то $u_N = u_2$.

Для оцінки спеціальних здібностей підлітка за результатами багаторівневої професійно-орієнтованої комп'ютерної гри запропоновано використовувати математичну модель (2.5):

$$\theta_N(\theta_{n1}, \tau_1, k_1, \dots, \tau_N, k_N) = \theta_{n1} + \sum_{n=2}^N \min\left(\frac{C_{tn}}{\tau_n}, 1\right) + \sum_{n=2}^N \frac{1}{k_n} \quad (2.5)$$

де θ_N – оцінка здібностей до виконання операційної діяльності; $\theta_1 = \{0, 1\}$ – оцінка готовності до навчання; $n \left(n = \overline{1, N} \right)$ – рівень N -рівневої гри; C_{tn} – стала, що визначається часом виконання завдання n -го рівня гри фахівцем (конвертовано до хв); τ_n – час, який витрачає користувач на проходження n -го рівня гри (конвертовано до хв); 1 – стала, що означає досягнення результату фахівцем з першої спроби; k_n – кількість спроб, що витратив користувач для проходження n -го рівня гри.

При визначенні оцінки здібностей запропоновано враховувати кількість спроб на проходження ігрових комп'ютерних завдань кожного рівня. Такий підхід може нівелювати проблему проходження рівня за менший час, ніж визначений експертом як найкращий, якщо підліток вгадає правильну стратегію швидко використавши велику кількість спроб. З іншого боку занадто швидке проходження рівня може створити ситуацію, коли значення $\frac{C_{tn}}{\tau_n}$ в доданку $\sum_{n=2}^N \min\left(\frac{C_{tn}}{\tau_n}, 1\right)$ могло набути значення більше 1, що б призвело до надання неправильного рекомендаційного висновку.

Для таких випадків запропоновано додати обмеження $\sum_{n=2}^N \min\left(\frac{C_{tn}}{\tau_n}, 1\right) \leq 1$, щоб при стратегії швидкого перебору всіх варіантів вважати, що підліток найкраще впорався з завданням за показником «час».

Таким чином модель формування рекомендаційного висновку містить такі вхідні параметри:

– θ_{n1} : $\text{int} = \{0, 1\}$ – оцінка готовності до навчання (табл. 2.3);

- i : int – порядковий номер вибраної гри ($1 \leq i \leq N$);
- t_{choice} : float – час у секундах, який підліток витрачає на вибір комп'ютерного ігрового завдання;
- k_n : int – кількість спроб, що витратив користувач при проходженні n -го рівня гри (табл. 2.3);
- r : int – спроба, з якої підліток повернувся до початку гри;
- n : int – рівень N – рівневої гри;
- τ_n : float – час (табл. 2.3), який витрачає користувач на проходження n -го рівня гри (конвертовано до хв).

Наступні значення це константи, які збережені в системі, що розробляється для оцінки спеціальних здібностей підлітка:

- $T = 60$: int – час на вибір завдання у секундах;
- N : int – загальна кількість ігор;
- C_{tn} : float – стала, що визначається часом виконання завдання n -го рівня гри фахівцем (конвертовано до хв);
- $K_n = 1$: int – стала, що означає досягнення результату фахівцем з першої спроби;
- α : float > 0 – додатний коефіцієнт, який використаний для збільшення міри інтересу;
- β : float > 0 – додатний коефіцієнт, який використаний для зменшення міри інтересу.

Вихідні параметри системи це:

- Y_1 : float – ймовірність належності висновку до класу «не рекомендовано» ($\bar{R}(-1)$);
- Y_2 : float – ймовірність належності висновку до класу «можливо» ($P(0)$);
- Y_3 : float – ймовірність належності висновку до класу рекомендовано ($R(1)$).

Структура навчальної вибірки, фрагмент якої показано в табл. 2.3 пояснюється насамперед грою, для якої вона була створена.

Фрагмент набору даних, який може бути отриманий в результаті повного проходження завдань комп'ютерної 4-х рівневої гри, згідно з якими формується рекомендаційний висновок, надано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Набір даних (фрагмент) для генерації рекомендаційного висновку системою оцінки спеціальних здібностей підлітка

Набір критеріїв для оцінки спеціальних здібностей							
$v_N, N=1$	θ_{n1}	τ_2	k_2	τ_3	k_3	τ_4	k_4
Набір даних (результати виконання завдань)							
0,5	1	1.96	1	1.75	1	1.9	1

Цей набір критеріїв, на основі яких запропоновано формувати рекомендаційний висновок (2.1) щодо вибору майбутньої професії, забезпечує адекватну оцінку характерних якостей підлітка, оскільки відображає усі його характерні якості (рис.2.2) в просторі вимог до профілю фахівця різних спеціалізацій при умові адекватності результатів виконання завдань фахівцями.

Результат виконання завдань користувачем система оцінює таким чином.

Нехай час проходження фахівцем першого, другого і третього рівнів певної гри 2, 5 і 7 хвилин відповідно.

Також вважаємо, що користувач вагався на етапі вибору гри та не змінював її (або повертався до неї, з другого разу, тобто $r=2$).

Покладемо, що значення міри інтересу $v_N=0.5$.

Нехай користувач пройшов опитування позитивно, тобто він погоджується з вимогами до професії, яку представляє гра.

Тоді згідно з (2.1) оцінка спеціальних здібностей підлітка після проходження першого рівня дорівнює 1, а:

$$\theta_{n1} = \zeta = 1 \rightarrow S = \theta_{n1} + v_1 = 1.5.$$

Нехай перший рівень гри Користувач пройшов з результатом 3 хвилини і 2 спроби.

Тоді:

$$\theta_{n1} = \zeta = 1 \rightarrow S = \theta_{n1} + v_1 = 1.5.$$

Нехай другий рівень Користувач пройшов з результатом 6 хвилин і 4 спроби.

Це означає, що:

$$\begin{aligned} \theta_{n3} &= \zeta + \sum_{i=2}^3 \max\left(\frac{C_{time_i}}{\tau_i}, 1\right) + \sum_{i=2}^3 \frac{1}{k_i} = \\ &= 1 + \left(\max\left(\frac{2}{3}, 1\right) + \max\left(\frac{5}{6}, 1\right)\right) + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4}\right) = 3,25 \rightarrow \theta_{n3} + v_3 = 3,75. \end{aligned}$$

Якщо третій рівень було пройдено з результатом 6 хвилин і 2 спроби, то:

$$\begin{aligned} \theta_4 &= \zeta + \sum_{i=2}^4 \max\left(\frac{C_{time_i}}{\tau_i}, 1\right) + \sum_{n=2}^4 \frac{1}{k_i} = \\ &= 1 + \left(\max\left(\frac{2}{3}, 1\right) + \max\left(\frac{5}{6}, 1\right) + \max\left(\frac{7}{6}, 1\right)\right) + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2}\right) = \\ &= 4,75 \rightarrow \theta_4 + v_4 = 5,25. \end{aligned}$$

На основі результатів гри фахівця і підлітка система надає рекомендаційний висновок щодо доцільності вибору спеціальності, яку відображає певна гра.

В подальшому на основі таких результатів виконання завдань гри підлітків, які чітко визначились з вибором професії, за участі експертів, які класифікували кожну спробу виконання завдання професійно-орієнтованої гри, формується тренувальна вибірка для навчання моделі з учителем.

Висновки до розділу 2

1. Для подолання невизначеності, що спричинена існуванням багатьох спеціальностей, які відображають різну професійну діяльність, при наданні підтримки рішення щодо вибору професії, описано процес формування бази даних комп'ютерних професійно-орієнтованих багаторівневих ігор і запропоновано моделювати активності, які відтворюють інтегральні, загальні і спеціальні (фахові) компетентності підлітка.

2. Формалізовано процес підтримки рішення підлітка щодо вибору спеціальності на основі тестування з використанням комп'ютерних ігрових завдань професійного спрямування та визначено критерії оцінки, які доцільно використовувати при оцінюванні спеціальних (професійних) здібностей підлітків в процесі виконання завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри.

3. Запропоновано і представлено в аналітичному вигляді математичну модель оцінки міри інтересу і професійних здібностей підлітка за результатами багаторівневої професійно-орієнтованої комп'ютерної гри, що дозволяє в нормувати оцінку професійних здібностей за факторами «час» і «кількість спроб», використати при виконанні завдань комп'ютерної професійно-орієнтованої гри. При цьому враховано те, що підліток може пройти рівень комп'ютерної гри швидше за експерта, здійснивши перебір усіх можливих комбінацій у короткий проміжок часу.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [23, 43, 84].

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗДІБНОСТЕЙ ПІДЛІТКА

У розділі визначено вимоги до системи, що розробляється; надано план розробки інтелектуальної інфокомунікаційної системи, яка буде формувати рекомендаційний висновок щодо вибору професії на основі оцінки результатів виконання завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри; запропоновано концептуальну модель системи; показано поступове перетворення інформації з «сирих» ігрових подій на рекомендаційний висновок, який можуть переглянути різні актори; проведено детальний аналіз сучасних технологій, які можуть бути застосовані при розробці системи, і обґрунтовано вибір технологій для написання її функціоналу; детально описано структуру бази даних для зберігання інформації, що необхідна для коректної роботи системи; розроблено архітектуру системи на базі наявного апаратно-програмного забезпечення; розглянуто технології, які можуть бути використані під час створення інфокомунікаційної системи для забезпечення побудови мікросервісної архітектури, здатної розширюватися і забезпечувати зберігання копій даних у хмарі; описано взаємодію компонентів системи і взаємодію користувачів з системою.

3.1. Вимоги до системи

Розробка інфокомунікаційної системи для оцінки спеціальних здібностей підлітка передбачає розв'язання низки критично важливих завдань.

Перш за все, система має бути масштабованою, адже вона повинна мати здатність обробляти велику кількість запитів одночасно. Ця проблема може виникнути в разі використання системи в великій аудиторії.

По-друге генерація рекомендаційного висновку повинна відбуватись в режимі реального часу з низькою затримкою, щоб користувачі не чекали надто довго.

По-третє, операції, які виконуватиме система повинні відбуватись непомітно для користувача, тобто після проходження рівня, система не має блокувати себе задля обробки результатів.

Також система повинна самостійно, без зовнішнього втручання, зберігати резервні копії даних. Це допоможе синхронізувати інформацію, в разі непередбаченої втрати даних.

Схема формування рекомендаційного висновку щодо вибору професії при електронному оцінюванні інтересу і спеціальних здібностей на основі оцінки результатів виконання завдань комп'ютерної багаторівневої професійно-орієнтованої гри показано на рис. 3.1.

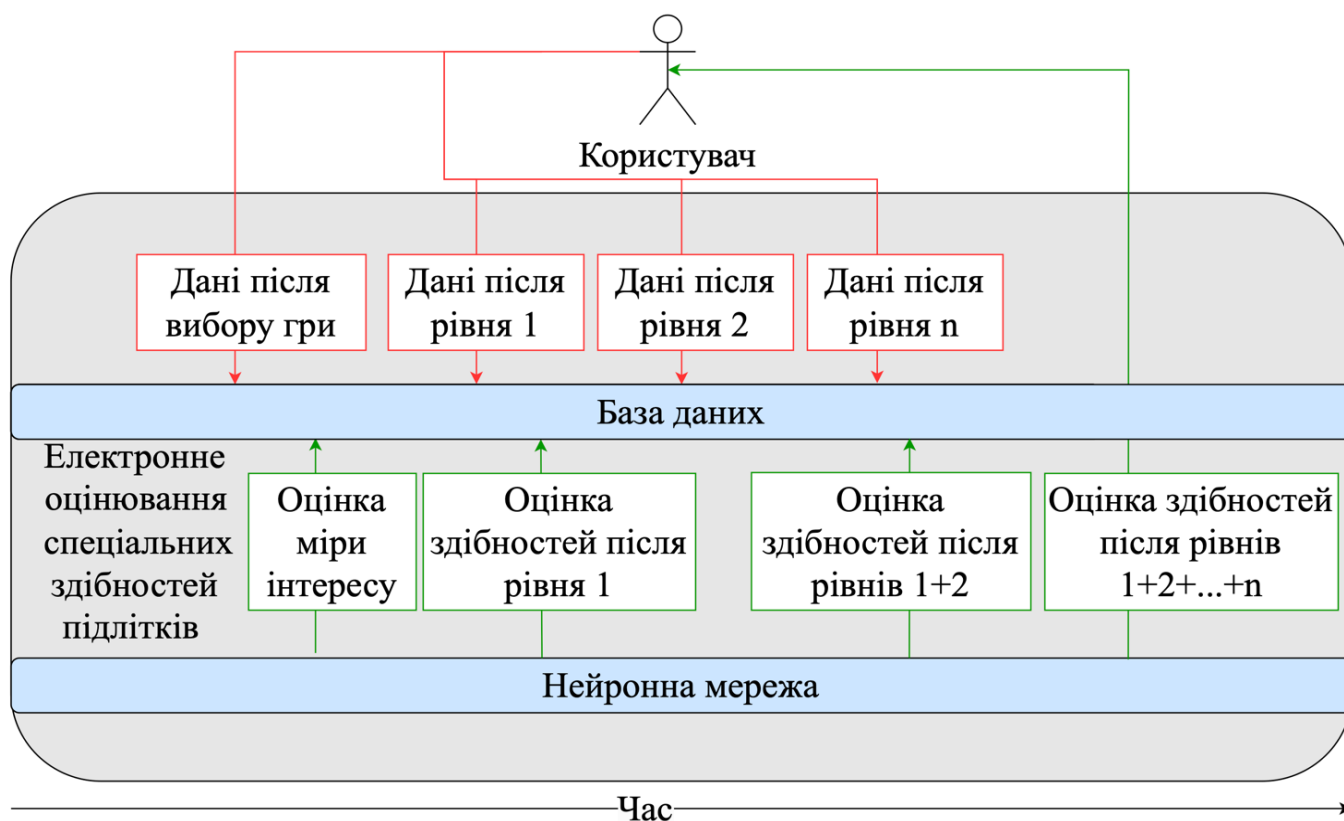


Рисунок 3.1. Схема електронного оцінювання інтересу і спеціальних здібностей [84]

Одним із користувачів системи є підліток, який вибирає цікаву йому професійно-орієнтовану гру для своєї професійної самоідентифікації і виконує завдання різних рівнів складності (рис 3.2).

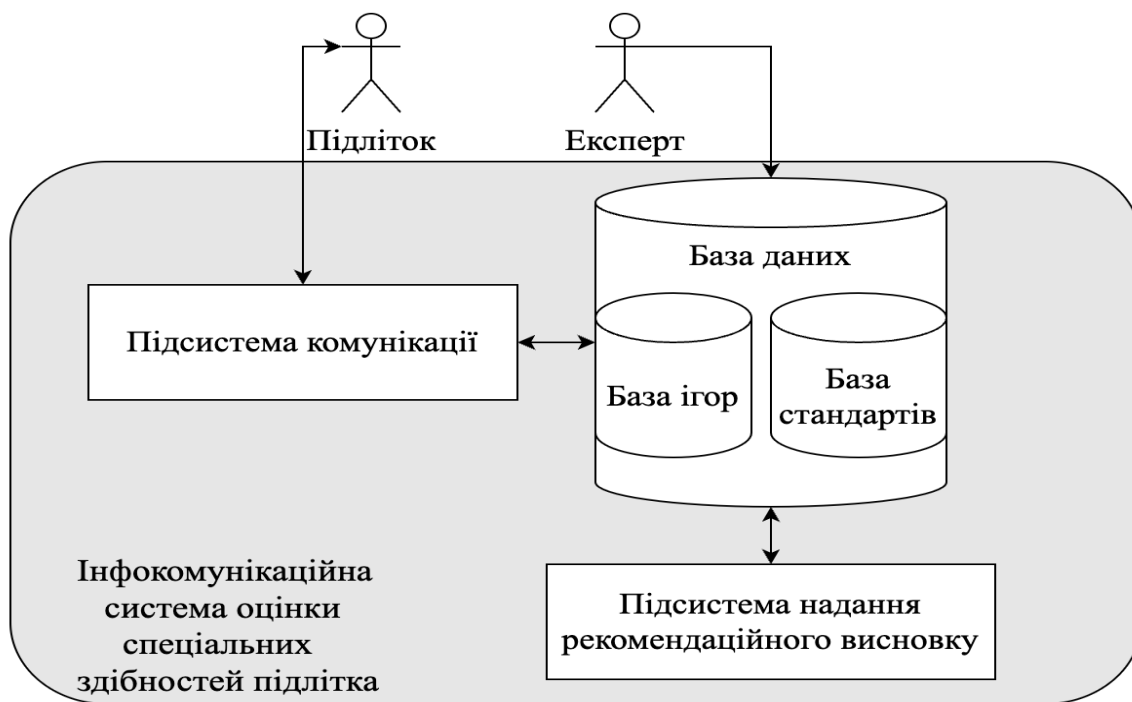


Рисунок 3.2. Схема взаємодії користувачів із інфокомунікаційною системою для оцінки спеціальних здібностей підлітка [84]

Основні дії, які може виконувати цей користувач в системі наступні:

1. Зареєструватися та авторизуватися в системі, створити обліковий запис, надати ідентифікаційних дані. Також на етапі реєстрації користувачу потрібно буде вказати свої особисті якості, для того, щоб з їх допомогою можна було спочатку рекомендувати найбільш підходящі для нього ігри.

2. Взаємодіяти з грою. Вибір гри та її старт є ключовими елементами цієї системи, адже ця дія розпочинає початок оцінювання. Також існує ситуація, коли користувач захоче припинити проходження гри, тому має бути можливість її зупинити. В свою чергу, після зупинки гри, підліток повинен мати можливість відновити свій прогрес.

3. Переглянути таблицю результатів. Після завершення ігрових завдань, користувач може подивитись свої результати щодо проходження різних рівнів наявних ігор. Система не обмежує користувача в кількості проходжень однієї і тієї самої гри.

Іншим користувачем системи є експерт – методист-предметник або фахівець із профорієнтації, який опікується якісним наповненням та актуальністю бази знань. На нього покладається кілька ключових обов'язків.

По-перше, експерт відбирає й описує професійно орієнтовані ігри: перевіряє, чи адекватно вони моделюють реальні операційні дії, формує для кожної гри метадані (галузь, рівень, перелік оцінюваних здібностей).

По-друге, він підтримує базу стандартів: узгоджує компетентнісні профілі з чинними освітніми програмами й вимогами роботодавців.

Додатково експерт виконує функцію валідації: аналізує статистику проходження, визначає, чи не містять завдання упереджень щодо статі, віку або інших демографічних ознак, і при потребі коригує або вилучає ігри. Таким чином, експерт забезпечує як змістовну достовірність тестового контенту, так і узгодженість алгоритмів оцінювання зі стандартами професійної підготовки. (рис 3.2).

3.2. План розробки системи оцінки спеціальних здібностей підлітка

З огляду на складність завдання та критичні вимоги до надійності, масштабованості й захисту даних, доцільно сформулювати поетапний план розроблення інтелектуальної інфокомунікаційної системи для оцінювання спеціальних здібностей підлітків.

Цей план охоплює повний життєвий цикл – від формалізації функціональних і нефункціональних вимог до експериментальної валідації та експлуатаційного супроводу.

1. Аналітико-вимоговий етап.

- Формалізація функціональних вимог:
 - визначити максимальне очікуване навантаження, кількість одночасних ігрових сесій, середню тривалість рівня, середній обсяг телеметрії;
 - задати цільові метрики затримки для генерації рекомендаційного висновку;
 - зафіксувати вимоги до безперервності сервісу:
 - $SLA \geq 99.5\%$. Service Level Agreement (рівень сервісу) – договірна гарантована доступність системи, який означає, що за

календарний місяць сумарний дозволений простій не перевищує ≈ 3 год 39 хв;

- $RTO \leq 15$ хв. Recovery Time Objective – цільовий час відновлення;

- $RPO \leq 5$ хв. Recovery Point Objective – максимальний допустимий проміжок втрати даних. У разі аварії резервні копії мають бути такими, щоб користувач утратив не більше 5 хв записів (бекап/реплікація відбуваються принаймні кожні п'ять хвилин).

- Нефункціональні вимоги:

- масштабовність (горизонтальне нарощування інстансів, auto-scaling);

- відмовостійкість (реплікація даних, ізоляція зон відмов, graceful-degradation);

- конфіденційність та цілісність даних (TLS 1.2+, AES-256 at-rest, RBAC, audit trail);

- мінімізація впливу бекенд-операцій на UX (асинхронність, неблоківність).

2. Архітектурно-концептуальний етап.

- Вибір архітектурного стилю:

- прийняти мікросервісну архітектуру (MSA) з чітким розподілом відповідальностей;

- оформити взаємодію сервісів через шар передачі повідомлень для гарантованої доставки та роз'єднання життєвих циклів.

- Передбачення масштабування:

- закласти балансувальник навантаження;

- спроектувати топологію бази даних з можливістю шардінгу.

- Реалізація асинхронної обробки:

- телеметрія з FE пишеться у Kafka topic raw-events;

- пуш WebSocket-нотифікацій користувачеві.

- Стратегія резервування:

- щогодинний автоматичний snapshot RDS;
- конфігурувати Cross-Region Replication для бакета.

3. Алгоритмічно-моделювальний етап.

- Формування датасету:
 - нормалізація часу та кількості спроб;
 - лейбли на основі експертних оцінок (рекомендовано, можливо, не рекомендовано).
- Розробка моделі;
 - Топологія;
 - функції активації;
 - оптимізатор;
 - кількість epoch;
 - batch size.
- Пост-обробка:
 - ймовірності виходу -> лінгвістичний висновок.

4. Інженерно-реалізаційний етап:

- CI/CD-конвеєр
 - GitLab-CI: unit-tests, Docker-build, vulnerability scan.
- Моніторинг та логування
 - Prometheus + Grafana (RPS, latency, lag Kafka, CPU, memory);
 - OpenSearch для централізованих логів.
- Механізм auto-scaling
 - HPA(Horizontal Pod Autoscaler) за метриками CPU / Kafka lag;
 - кластер PostgreSQL AWS Aurora Serverless v2.

5. Експериментально-оцінний етап.

- Лабораторні випробування:
 - навантажувальне тестування (k6, Locust) із симуляцією 10 к одночасних користувачів;
 - перевірка часу створення рекомендаційного висновку.
- Пілотне впровадження:

- контрольна група 200 підлітків у двох закладах освіти;
- збір показників задоволеності, точності рекомендації та середнього часу очікування.
- Аналіз результатів:
 - порівняння з експертною оцінкою;
 - перетренування моделі при потребі;
 - фіналізація технічних і методичних регламентів.

6. Експлуатаційно-сервісний етап.

- Підтримка та оновлення:
 - регулярна ротація KMS-ключів, оновлення залежностей, S3 lifecycle-policy;
 - щоквартальна перевірка упередженості моделі (fairness metrics).
- Подальше масштабування
 - підключення нових навчальних закладів через multi-tenant scheme у базі;
 - горизонтальне розподілення Kafka-кластерів (federated clusters).
- Інклюзивність та етичний нагляд:
 - ревізія контенту ігор на стереотипи;
 - призначення Data Protection Officer для нагляду за тим, щоб обробка персональних даних відповідала вимогам національних законів, зокрема Закону України «Про захист персональних даних».

Таким чином, наведений план охоплює повний цикл – від вимог і концепції до масштабованої реалізації та експлуатації – гарантує низьку затримку, відмовостійкість і відповідність нормативним вимогам при мінімізації людських витрат.

3.3. Концептуальна модель системи

Концептуальна модель інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітка показана на рис 3.3.

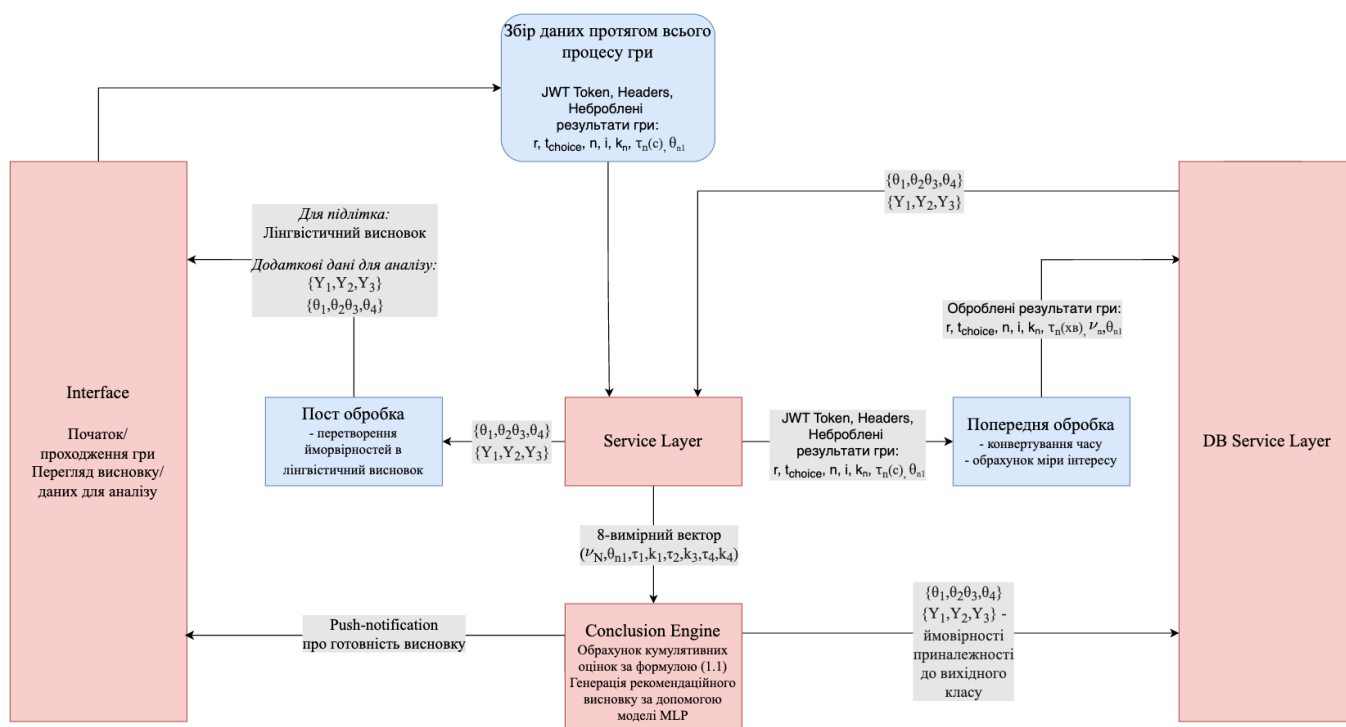


Рисунок 3.3. Концептуальна модель інфокомунікаційної ситсеми оцінки спеціальних здібностей підлітка

З рисунку видно як інформація поступово перетворюється з «сирих» ігрових подій на рекомендаційний висновок, який можуть переглянути різні актори. При цьому на рис. 3.3 використано позначення параметрів математичної моделі, які є робочими змінними системою. Ці параметри зберігаються у відповідних структурах даних і динамічно передаються між функціональними блоками, забезпечуючи обчислювальний процес; їхні детальні описи наведено в розділі 2.3.

Головним користувачем системи є підліток, який проходить ігрові завдання й отримує лінгвістичний рекомендаційний висновок щодо майбутньої професії. Кар'єрний консультант одержує розгорнуті результати, щоб мати можливість проаналізувати роботу нейронної мережі й надати зворотний зв'язок.

Результатом кожної взаємодії підлітка з системою на рівні вибору гри або безпосередньо з самою грою є створення набору параметрів, які будуть використані для формування рекомендаційного висновку.

Після попередньої обробки подій система зберігає, а потім генерує вектор вхідних параметрів для нейронної мережі.

Після опрацювання вхідних параметрів, генерується набір вихідних параметрів, які зберігаються системою, та можуть бути відображені користувачам.

Interface приймає події від клієнтської частини і надсилає їх до модуля Service Layer, де дані трансформуються та зберігаються з допомогою DB (Database) Service Layer. Далі Service Layer генерує вектор з вхідними параметрами, які подаються на вхід до Conclusion Engine для його опрацювання.

Після опрацювання цих параметрів Conclusion Engine, з допомогою DB Service Layer зберігає результати обробки, та сповіщає Interface про готовність надання висновку системою.

Після цього Service Layer дістає дані з DB Service Layer, трансформує їх та «віддає» для перегляду на Interface.

3.4. Вибір технологій для побудови архітектури

Для написання функціоналу системи використано мову програмування Python.

Ця інтерпретована мова має велику кількість бібліотек, які полегшують розробку, навчання та використання моделей машинного навчання.

3.4.1. Архітектурна модель системи

Монолітна архітектура – це підхід до проєктування програмного забезпечення, у якому весь застосунок створюється як єдиний, неподільний блок [85].

Монолітна архітектура дає змогу розробляти швидше і спрощує впровадження, адже весь код зберігається в одному місці. Проте, такий підхід робить застосунок майже не масштабованим і не дозволяє обробляти великий обсяг трафіку.

Мікросервісна архітектура – це підхід до розробки єдиного застосунку у вигляді набору невеликих сервісів, кожен із яких запускається у власному процесі й взаємодіє з іншими за допомогою легких механізмів [86]. У мікросервісній архітектурі застосунок будується як сукупність невеликих, незалежних сервісів, кожен із яких відповідає за конкретну бізнес мету. Ці сервіси слабо пов'язані між собою й

обмінюються даними через мережу, зазвичай використовуючи «легкі» протоколи, наприклад протокол передачі гіпертексту (HTTP) або черги повідомлень [85].

Такий підхід дає змогу досягти високої масштабованості, оскільки кожен сервіс можна масштабувати за потреби без впливу на інші сервіси. Однак має недолік, який полягає в тому, що рішення стає складним і потрібно забезпечити надійну комунікацію між мікросервісами та контролювати багато компонентів системи, що може бути досить складним завданням.

В цій роботі було вирішено використовувати мікросервісну архітектуру. Хоча таку архітектуру в подальшому може бути складно підтримувати, вона дає величезну перевагу у вигляді масштабованості.

3.4.2. Веб фреймворк

Фреймворки Python для веброзробки підтримують REST (Representational State Transfer) API, тобто API, що відповідає обмеженням архітектурного стилю REST.

REST – це набір архітектурних обмежень, а не протокол чи стандарт [87].

Це означає, що обмін даними в мікросервісній архітектурі через HTTP реалізується шляхом вибору відповідного вебфреймворку.

Для реалізації було розглянуто вебфреймворки Python: Django, Flask і FastAPI.

Ідея Django полягає в тому, щоб дати змогу розробляти та масштабувати проекти надзвичайно швидко. Він пропускає багато ручних кроків, які зазвичай затримують веброзробників під час створення застосунків. Також цей фреймворк дуже популярний з відкритим вихідним кодом. Django може похвалитися одним із найкращих наборів документації серед проєктів з відкритим вихідним кодом.

Документація точна і чітка, а також добре структурована, що особливо допомагає веброзробникам, які тільки починають працювати з Python.

Безпека одна з головних переваг Django, яку часто недооцінюють. Будь-який фреймворк для бекенду, що працює з обліковими записами та даними, повинен забезпечувати захист користувачів. Із цієї причини Django має систему аутентифікації

користувачів, підтримку HTTPS, а також захист від таких видів атак на веб-сервіси, як: Clickjacking, XSS, CSRF, SQL-ін'єкцій. Ці механізми налаштовані за замовчуванням.

Серед недоліків виділяють те, що він не підходить для простіших проєктів, адже це високорівневий фреймворк. Також він може призвести до повільної роботи сайтів. Незважаючи на те, що Django дає змогу надзвичайно швидко створювати застосунки, іноді це може призвести до уповільненої роботи вебсайту [88].

Flask – це «легкий» фреймворк із простою та інтуїтивною структурою, що полегшує процес його вивчення та використання.

Цей фреймворк пропонує високий рівень гнучкості, дозволяючи розробникам обирати бібліотеки та інструменти на власний розсуд. Flask надає можливість швидкої розробки та підходить для побудови невеликих проєктів і прототипів. Flask підходить для невеликих і середніх проєктів, а також для розробників, які мають специфічні вимоги до вибору фреймворків та інструментів. Так, якщо потрібно швидко налаштувати простий API (Application Programming Interface) або оперативно виконувати ітерації в невеликому проєкті, Flask є хорошим вибором [89].

Серед недоліків фреймворку Flask виділяють брак вбудованих функцій. Порівняно з іншими фреймворками, у Flask менше вбудованих можливостей, тож можуть знадобитися додаткові бібліотеки-розширення. Структура проєктів Flask може відрізнятися у різних розробників через відсутність уніфікованих стандартів.

FastAPI – це фреймворк на базі асинхронного програмування з чудовою швидкодією та низькою затримкою, що призводить до високої продуктивності.

FastAPI може автоматично створювати інтерактивну документацію на основі коду, що підвищує ефективність розробки та тестування API. Також FastAPI підтримує анотації типів (type hints), покращуючи читабельність і керованість коду, і відмінно підходить для швидкої розробки, тож його доцільно використовувати для створення прототипів, РОС (Proof of Concept) та застосунків із частими ітераціями.

Серед недоліків варто відмітити відносну новизну проєкту. Оскільки FastAPI порівняно новий, тому у деяких сферах може бракувати зрілих рішень і достатньої підтримки. Для розробників без досвіду асинхронного програмування робота з FastAPI може виявитися складнішою на початкових етапах. Проте FastAPI добре

підходить для створення високопродуктивних API та real-time застосунків, особливо якщо потрібно обробляти велику кількість одночасних запитів із низькою затримкою. Якщо потрібно розгорнути застосунок із високою продуктивністю із взаємодією з даними в режимі реального часу, то FastAPI є чудовим вибором [89].

Зваживши вищезазначені варіанти, для розробки інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітків було вирішено використати FastAPI.

Django відхилили, оскільки він краще підходить для великих і складних вебзастосунків, а не для невеликих мікросервісів.

Перевагу над Flask віддано саме FastAPI завдяки його асинхронній природі, яка забезпечує вищу продуктивність.

3.4.3. Черга повідомлень

Один із способів обміну даними в мікросервісній архітектурі реалізується за допомогою повідомлень.

Серед можливих систем черг повідомлень – Kafka та RabbitMQ (табл. 3.1).

RabbitMQ – це безкоштовна, масштабовна система обміну повідомленнями з відкритим вихідним кодом, яка допомагає широкому колу вебзастосунків ефективно взаємодіяти [90].

Kafka – це розподілена система обміну повідомленнями, яка широко використовується у сучасних програмних архітектурах, популярність якої зумовлена можливістю обробляти великий обсяг даних із високою пропускнуою здатністю та продуктивністю [91].

Наявність мінімальних гарантій впорядкування повідомлень RabbitMQ у межах одного потоку, може бути критичним недоліком для системи. Інша перевага Kafka полягає в гарантії доставки повідомлень [92].

Крім того, про те, що саме Kafka є оптимальним вибором для цієї системи свідчать такі характеристики, як [93]: висока пропускна здатність (High-throughput); відмовостійкість (Fault-Tolerance); масштабованість (Scalability) і надійність зберігання (Durability).

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика Kafka та RabbitMQ

Черга повідомлень	Kafka	RabbitMQ
Впорядкування повідомлень	Забезпечує впорядкування повідомлень завдяки поділу на розділи. Повідомлення надсилаються в топіки за ключем повідомлення.	Не підтримується.
Тривалість зберігання повідомлень	Є логом, тобто за замовчуванням зберігає всі повідомлення. Цим параметром можливо керувати, вказавши правила зберігання .	Після отримання повідомлень вони вилучаються, а сторона отримувач надсилає підтвердження.
Гарантії доставки	Порядок зберігається лише в межах одного розділу (partition). У межах розділу гарантує, що вся партія повідомлень або передається повністю, або не передається взагалі.	Не забезпечує атомарності, навіть у межах транзакцій, що охоплюють одну чергу.
Пріоритети повідомлень	Не підтримується.	Можна визначати пріоритети повідомлень і спочатку обробляти ті, що мають вищий пріоритет.

3.4.4. Комунікація з клієнтом

Зв'язок із клієнтською (Front-end) частиною застосунку можна реалізувати за допомогою HTTP з'єднання. Однак такий підхід не дає змоги побудувати двосторонню взаємодію між Front-end і Back-end (сервер). Використовуючи HTTP, Front-end надсилає запити на Back-end, а той на них відповідає, але Front-end ніколи не дізнається, коли на стороні Back-end завершиться деяка задача. Тому в цій роботі було вирішено додатково застосувати WebSocket з'єднання – технологію, що дає змогу встановити двосторонній інтерактивний сеанс зв'язку між браузером користувача й сервером [94]. Водночас цей підхід складніше підтримувати, адже сервіси мають бути стійкими до втрати з'єднання.

Для забезпечення асинхронного обміну подіями після завершення обробки на стороні Back-end необхідно інтегрувати проміжний брокер повідомлень, який зберігатиме та ретранслюватиме сповіщення, якщо клієнт тимчасово розірвав з'єднання. Серед поширених технологій розглянуто такі варіанти:

- Redis – це база даних типу «ключ-значення», яка підходить у випадках, коли застосунку потрібна обробка великого обсягу дрібних і неперервних операцій читання й запису, а також підтримується парадигма обміну повідомленнями Publish/Subscribe [95]. Відправники (publishers) не налаштовані на надсилання своїх повідомлень конкретним отримувачам (subscribers). Натомість, опубліковані повідомлення класифікуються за каналами, без уявлення про те, чи існують (і якщо так, то які) підписники. Підписники, у свою чергу, зацікавлені в одному або кількох каналах і отримують лише ті повідомлення, що відповідають їхнім інтересам, не знаючи, чи є якісь відправники взагалі. Така роз'єднаність відправників і підписників забезпечує вищу масштабованість і більш динамічну топологію мережі [96]. Цей підхід дозволяє розмежовувати різних користувачів, тим самим відправляти повідомлення тільки зацікавленій стороні.

- RabbitMQ вже розглядався в якості черги повідомлень. В цьому випадку він може слугувати як брокер, заснований на протоколі AMQP 0-9-1, що підтримує черги з дисковою персистентністю, підтвердження доставки (ack/nack) та різні типи обмінників (fanout, topic, direct) [97]. Видавці публікують повідомлення в обмінник, а правила маршрутизації визначають, до яких черг вони потраплять; підписники отримують їх із черг, підтверджуючи успішне опрацювання. Гарантія «at-least-once» і dead-letter-черги роблять RabbitMQ придатним для транзакційних сценаріїв, де важлива exactly-once semantics або відкладені повідомлення.

- Kafka також розглядалась в якості черги повідомлень. В ній дані організовано в топіки, поділені на партиції; кожен споживач сам відстежує «зміщення» (offset) у партиції, що дозволяє повторно відтворювати потік подій. Партиціювання й реплікація забезпечують горизонтальне масштабування і стійкість до відмов вузлів; саме тому Kafka використовують у стрімінговій аналітиці, event sourcing та мікросервісних системах із терабайтними потоками телеметрії.

- NATS – легковажний брокер (≈ 10 МБ), орієнтований на мінімальну затримку (< 1 мс) і високу швидкодію [98]. Базовий режим «fire-and-forget» доповнюється модулем JetStream, що додає черги з персистентністю, підтвердженнями та історичними повтореннями. Автовиявлення вузлів і вбудований кластерний протокол роблять NATS популярним у сервіс-mesh-архітектурах, де потрібно швидко передавати короткі повідомлення без складної конфігурації.

- PostgreSQL містить внутрішній механізм LISTEN/NOTIFY, що дозволяє публікувати події у межах одного кластера БД [99]. Після команди NOTIFY channel, payload усі підключені клієнти, які виконали LISTEN channel, миттєво отримують повідомлення. Такий спосіб зручний для невеликих проєктів, де вже використовується Postgres і потрібен «легкий» Pub/Sub без додаткового програмного забезпечення; обмеження – відсутність персистентності й продуктивність сотні повідомлень за секунду.

- Хмарні платформи пропонують власні брокери як сервіс. AWS SNS забезпечує fan-out доставку, а SQS – персистентні черги; разом вони реалізують шаблон «topic + queue» із гарантією принаймні одного доставлення [100]. Google Cloud Pub/Sub і Azure Service Bus надають схожі можливості з autoscaling, шифруванням і SLA 99,9 % [101, 102]. Такі сервіси знімають тягар адміністрування кластера, тому доречні, коли вся інфраструктура вже розгорнута у відповідній хмарі.

З огляду на вимогу мінімальної латентності основним брокером було вибрано Redis, проте це рішення саме по собі не усуває ризику втрати повідомлень у разі раптового розриву WebSocket-каналу.

Для вирішення проблеми зникнення повідомлень у разі втрати зв'язку з клієнтом, запропоновано використати Redis Lists – впорядковані колекції рядків, по суті пов'язані списки. Вони оптимізовані для вставлення та видалення елементів у голові або хвості [103]. Backend надсилає «дружні» (інформативні) повідомлення у відповідні топіки Redis і в той самий час записує їх в Redis Lists. Навіть якщо з'єднання по WebSocket переривається, ці повідомлення можуть залишатися в базі й будуть передані на Front-end, щойно з'єднання відновиться.

3.4.5. Задачі в фоновому режимі

Задача резервного копіювання даних —задача, яка має виконуватись самостійно, без зовнішнього втручання. Її можна вирішити за допомогою асинхронних завдань.

Серед альтернатив були розглянуті FastAPI Background Tasks та Celery.

FastAPI має вбудовану підтримку фонових завдань. Можна визначати фонові завдання, які виконуватимуться вже після того, як відповідь на запит з FastAPI буде відправлена. Якщо потрібно отримати доступ до змінних та об'єктів з того ж FastAPI застосунку або треба виконувати невеликі фонові завдання тоді це гарний вибір [104]. Але задача резервного копіювання даних не потребує бути виконаною після відповіді на запит клієнту до FastAPI, скоріше має виконуватись згідно розкладу. Альтернативним варіантом до FastAPI Background Tasks є Celery.

Celery – це розподілена черга завдань із відкритим кодом, написана мовою Python, що розроблена для керування та розподілу завдань (часто тривалих або ресурсомістких) між кількома робочими процесами або серверами.

Celery особливо корисна для обробки асинхронних завдань у вебзастосунках, пакетної обробки й інших сценаріїв, у яких необхідно зняти навантаження із основного застосунку. Її атрибути ідеально пасують інфокомунікаційній системі для оцінки спеціальних здібностей підлітка.

Серед інших переваг Celery варто виділити підтримку розподілу завдань на кілька робочих процесів або навіть кілька серверів, що допомагає впоратися зі збільшенням навантаження й масштабувати застосунок. При цьому можна визначати пріоритети завдань і планувати їх виконання в конкретний час, що зручно для налаштування логіки відповідно до бізнес потреб. У Celery передбачено вбудовані механізми для повторних спроб виконання завдань у випадку збоїв.

Також можна відстежувати результати асинхронних завдань через об'єкт AsyncResult, з'ясовуючи, коли завдання завершено й отримуючи їхні результати. Celery підтримує різні брокери повідомлень, як-от Redis, RabbitMQ та інші, надаючи можливість вибрати найкращий варіант під потреби системи.

Серед недоліків Celery виділяють:

1. Складне налаштування: початкове налаштування Celery і брокера повідомлень може бути досить складним, особливо для початківців. Потрібно розуміти концепції черг повідомлень і робочих процесів.

2. Можливі збої у брокері повідомлень: якщо брокер повідомлень виходить із ладу, це може вплинути на обробку завдань і загальну надійність застосунку.

3. Залежність від зовнішнього брокера: покладається на брокер повідомлень для комунікації, що додає до системи окремий компонент, який потрібно встановлювати та підтримувати.

4. Керування багатопоточністю та ресурсами: складно управляти багатопоточністю та споживанням ресурсів у робочих процесах, особливо в умовах високих навантажень.

5. Відладка та моніторинг: відстеження й налагодження завдань, що працюють у фонових процесах, може виявитися складнішим, ніж відладка синхронного коду.

Згідно з документацією Celery, вона підтримує Redis, який уже використовується в застосунку. Тому було прийняте рішення і тут як брокер повідомлень, який надсилає завдання «воркеру» (backend) застосувати Redis. До того ж Redis підтримується Celery в ролі сховища результатів виконаних завдань [105].

3.4.6. Сховище даних для резервних файлів

В цій роботі розглянуто кілька варіантів зберігання резервних даних: фізичне, коли дані зберігаються на жорстких дисках, та хмарне, коли дані зберігаються онлайн.

Зфізичним сховищем можуть виникати труднощі, такі як: де зберігати жорсткі диски або як їх перевозити, тому вирішено використовувати хмарне сховище як місце для резервних копій.

Серед численних доступних варіантів вибір звузився до трьох: AWS S3 (Amazon Simple Storage Service), Azure Blob Storage та Google Cloud Storage [106].

AWS S3 – це високомасштабований і надійний сервіс хмарного об'єктного зберігання від AWS (Amazon Web Services). Він забезпечує безпечне зберігання

різноманітних типів даних, зокрема зображень, відео, документів, резервних копій і даних застосунків.

Нижче наведено основні особливості та переваги S3:

- Продуктивність: S3 забезпечує високу швидкість отримання та завантаження даних, що дає змогу швидко отримувати доступ до збережених об'єктів.
- Гнучкі класи зберігання: S3 пропонує кілька класів зберігання, як-от Standard, Intelligent-Tiering, Glacier і Glacier Deep Archive, даючи змогу інженерам вибирати відповідний рівень зберігання на основі моделей доступу до даних і ціни.
- Доступність: архітектуру S3 створено для забезпечення високого рівня доступності збережених даних. Сервіс автоматично реплікує об'єкти через SRR (Same Region Replication) або CRR (Cross Region Replication) у розподіленій інфраструктурі. Це гарантує збереження даних навіть у разі збою обладнання або стихійних лих.
- Керування життєвим циклом даних: S3 надає політики життєвого циклу (lifecycle policies) для автоматичної зміни класу зберігання даних або видалення об'єктів згідно з визначеними правилами.
- Масштабованість: S3 – це високомасштабований хмарний сервіс зберігання, що дає змогу зберігати й отримувати практично необмежені обсяги даних.
- Інтеграція з AWS-рішеннями: S3 інтегрується з іншими сервісами AWS. Наприклад, можна використовувати S3 як джерело даних для обчислювальних сервісів Amazon EC2, безсерверних функцій AWS Lambda або сервісів аналітики великих даних Amazon Athena, Amazon Redshift чи Amazon EMR.

Потенційні обмеження S3:

- Обмежений прямий доступ: хоча S3 надає API й SDK для програмного доступу, безпосереднього доступу до базової інфраструктури чи операційної системи немає. Це унеможливорює глибші налаштування або оптимізації.
- Складність політик бакетів (Bucket Policies): налаштування тонкого контролю доступу з використанням політик бакетів і IAM може бути складним, особливо для великих організацій.
- Витрати на передавання даних: переміщення даних у S3 і з нього (зокрема між регіонами чи за межі мережі AWS) може призвести до додаткових витрат.

- Обмежена продуктивність під час високочастотних операцій із малими об'єктами: S3 може виявитися не найкращим рішенням для застосунків, які вимагають частих операцій із малими об'єктами (багатьма невеликими файлами або швидким створенням/видаленням об'єктів у хмарному сховищі).

- Відсутність прямого доступу як до файлової системи: S3 не надає доступу як традиційна файлова система, тому операції на кшталт блокування файлів або довільного доступу до них не підтримуються на рівні сервісу.

GCS (Google Cloud Storage) – це сервіс об'єктного хмарного зберігання від GCP (Google Cloud Platform), який надає доступне рішення для зберігання й отримання даних у хмарі. Платформа теж зберігає дані як об'єкти у бакетах (buckets). Цим бакетам можна призначати один із чотирьох класів зберігання: Standard, Coldline, Nearline або Archive. Команди з обробки даних можуть отримувати доступ до даних через вебінтерфейс.

GCS дає змогу зберігати та отримувати неструктуровані дані з високою доступністю та глобальною розподіленістю. Сервіс забезпечує надійне сховище для використання аналітики даних, бізнес-аналітики, відновлення даних.

Основні особливості та переваги GCS:

- Масштабованість: GCS спроектовано з урахуванням масштабованості. Воно автоматично керує базовою інфраструктурою й гарантує високу надійність завдяки реплікації даних у кількох географічно розділених локаціях.

- Мультирегіональне та регіональне зберігання: сервіс пропонує мультирегіональне зберігання для глобального доступу з низькою затримкою чи регіональне зберігання для зменшення витрат у межах конкретного регіону.

- Шифрування «від кінця до кінця» (end-to-end): GCS має потужні механізми безпеки для захисту даних. Передбачено шифрування на рівні сервера, з можливістю використовувати ключі шифрування, керовані або Google, або самим користувачем.

- Керування життєвим циклом даних: GCS дає змогу визначати правила й політики, щоб автоматизувати переміщення даних, наприклад, виставляти дату закінчення терміну зберігання для подальшого видалення.

- Контроль доступу: GCS інтегрується з Google Cloud Identity and Access Management (IAM), що забезпечує гнучке керування доступом до бакетів і об'єктів. Користувачі можуть точно визначати, хто і як може взаємодіяти з даними.

- Інтеграція з сервісами Google Cloud: GCS безперешкодно взаємодіє з іншими сервісами Google Cloud, як-от Google BigQuery чи Google Cloud Dataflow. Це дає змогу створювати узгоджені робочі процеси і потужні конвеєри обробки та аналітики даних.

- Низька затримка: GCS забезпечує швидкий і надійний доступ до даних із малою затримкою. Пропонує високу пропускну здатність і підтримує паралельне завантаження/вивантаження, що підвищує ефективність передавання даних.

- Audit logging: GCS надає детальні журнали подій (audit logs), які допомагають відстежувати доступ і використання сервісу. Крім того, він інтегрується з Google Cloud Monitoring і Google Cloud Logging.

Потенційні обмеження GCS:

- Обмежена сумісність із сервісами інших хмарних провайдерів: хоча GCS підтримує стандартні протоколи (RESTful API), рівень сумісності або безперервної інтеграції з іншими хмарами може бути нижчим.

- Відсутність вбудованого індексування й пошуку: GCS не надає вбудованих механізмів індексування й пошуку.

- Обмежена кількість зон доступності: у деяких регіонах кількість зон доступності в GCS може бути меншою, ніж у аналогічних сервісах. Це може вплинути на відмовостійкість.

- Витрати на отримання даних: GCS стягує плату за вивантаження чи отримання даних. Витрати можуть зрости під час передавання інформації до інших сервісів або регіонів.

- Складна система тарифікації: модель ціноутворення GCS досить складна, враховуючи різні класи зберігання та додаткову оплату за операції з даними, передавання та отримання.

Azure Blob Storage – це хмарний сервіс об’єктного зберігання від Microsoft Azure. Його вперше запущено 2010 року, і з того часу він еволюціонував у важливу складову екосистеми Azure.

Основною одиницею зберігання в Azure Blob Storage є блоб (binary large object), який може зберігати різні типи неструктурованих даних. Кожен блоб ідентифікується унікальним URL, що складається з імені облікового запису сховища, назви контейнера та імені блобу.

Azure Blob Storage об’єднує пов’язані блоби в логічні контейнери, які подібні до папок у файловій системі. Користувачі можуть отримувати доступ до файлів через вебінтерфейс.

Для керування всіма контейнерами та реалізації механізмів автентифікації й контролю доступу потрібен обліковий запис зберігання як найвищий рівень ієрархії.

Постійні оновлення, інтеграції та вдосконалення функцій зробили Azure Blob Storage надійним і гнучким рішенням для зберігання неструктурованих даних.

Основні особливості та переваги Azure Blob Storage:

- Різні типи блобів: сервіс підтримує три типи блобів: block blobs, append blobs та page blobs. Вони дають змогу налаштувати зберігання під конкретні задачі.
- Необмежена масштабованість: сервіс автоматично масштабується відповідно до потреби зберігання. Azure Blob Storage забезпечує високу надійність, реплікуючи дані в межах дата-центру або через кілька дата-центрів.
- Рівні зберігання: Blob Storage пропонує різні рівні зберігання для оптимізації витрат і продуктивності. Зокрема Hot (для часто використовуваних даних), Cool (для рідше використовуваних) і Archive (для довготривалого архівного зберігання).
- Контроль доступу: Azure Blob Storage інтегрується з Azure Active Directory (Azure AD) для гнучкого налаштування доступу. Спільні підписи доступу (Shared Access Signatures, SAS) дають змогу точно контролювати доступ до окремих ресурсів на певний період.
- Інтеграції: Blob Storage легко поєднується з іншими сервісами та інструментами Azure, включно з Azure Functions, Azure Logic Apps, Azure Data Factory, Azure Synapse Analytics і Azure Machine Learning.

- Зручність для розробників: Blob Storage підтримує RESTful API, SDK для Azure Storage, PowerShell cmdlets, Azure CLI й Azure портал для керування та доступу до блобів.

Потенційні обмеження Azure Blob Storage:

- Обмежені моделі узгодженості: Azure Blob Storage забезпечує сильну узгодженість у межах одного облікового запису зберігання. Проте за використання Geo-Redundant Storage (GRS) можливе відставання між основним і додатковим регіоном.

- Затримка при отриманні даних: для даних, збережених у шарі Archive, затримка може бути вищою, ніж у шарах Hot і Cool, оскільки Archive оптимізовано для довготермінового зберігання та рідкісного доступу. Витяг із такого шару може тривати кілька годин.

- Витрати на транзакції та передачу даних: у Azure Blob Storage передбачено плату за виконання операцій читання, запису й видалення, а також за передачу даних. Якщо потрібно виконувати багато дрібних транзакцій, це може істотно вплинути на загальні витрати.

Зрештою, було вирішено використовувати AWS S3 Storage як хмарне сховище для резервних даних, оскільки воно забезпечує високий рівень доступності та масштабованості.

3.4.7. База даних

Наступний крок – вибір типу бази даних, який доцільно використовувати: реляційний чи нереляційний [107].

Детальна порівняльна характеристика проводилась за наступними критеріями:

- Схема даних. Система має зберігати одночасно «жорсткі» таблиці (користувачі, результати тестів) і динамічні атрибути, що з'являтимуться по мірі введення нових ігор або метрик (наприклад, «рівень стресу»). Тому важливо оцінити, наскільки гнучко сховище дозволяє еволюціонувати модель без тривалих міграцій і простою сервісу.

- Мова запитів. Якщо СУБД підтримує стандартизований та виразний запитний синтаксис (SQL, CQL, MQL), це пришвидшує як розробку, так і подальший аналіз даних дослідниками.

- Транзакції. Рекомендаційний висновок базується на серії взаємопов'язаних записів – якщо один із них загубиться, результат буде хибним.

- Масштабованість. Пілотний проєкт може обслуговувати сотні користувачів, але після інтеграції з кількома регіональними освітніми платформами навантаження виросте на порядок. Горизонтальний скейлінг (шардинг, реплікація) критичний, щоб уникнути «горловин» (bottlenecks) при пікових сесіях.

- Типи даних. Платформа зберігає не лише числові метрики, а й дані в JSON (JavaScript Object Notation) форматі, текстові нотатки консультантів, можливо – медіафайли. Нативна підтримка складених типів, масивів і JSON полегшує інтеграцію й усуває потребу у «обгортках» чи зовнішньому сховищі.

- Сценарії використання. Критерій оцінює, наскільки типове робоче навантаження й спосіб еволюції даних збігаються з можливостями СУБД.

- Складність змін у моделі даних. Дані, які відносяться до процесу профорієнтації можуть швидко змінюватись, а саме може відбутись додавання нових професій і/або рівнів, спеціальностей тощо. Якщо кожна зміна схеми потребує вручну писати міграції й вимикати основний кластер, розробка сповільнюватиметься.

Реляційні бази даних (SQL) мають наступні характеристики:

- Схема даних. Жорстка та визначена. Перед початком роботи структура має бути ретельно спроектована (таблиці, стовпці, зв'язки). Це забезпечує цілісність, але ускладнює зміни в структурі.

- Мова запитів. Стандартизована мова SQL (Structured Query Language), дає змогу виконувати складні запити, об'єднання та аналітику даних.

- Транзакції. Підтримують ACID-транзакції (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability). Це важливо для систем, де потрібна висока надійність і узгодженість даних (наприклад, банківські системи, фінанси).

- Масштабованість. Здебільшого вертикальна (збільшення потужностей сервера), але можна налаштувати «шардінг» або кластеризацію. Це складніше в реалізації порівняно з NoSQL.
- Типи даних. Дані організовані в таблиці, що мають стовпці фіксованого типу. Зв'язки визначаються за допомогою первинних і зовнішніх ключів.
- Сценарії використання. Традиційні бізнес-додатки, банківські системи, корпоративні системи, де потрібна чітка модель даних і транзакційність (наприклад, CRM, ERP, аналітичні системи).
- Складність змін у моделі даних. Зміни таблиць і взаємозв'язків можуть бути складними, вимагають міграцій.
- Нереляційні бази даних (NoSQL) за тими самими критеріями можна описати наступним чином:
 - Схема даних. Гнучка або відсутня. Дані можуть зберігатися у вигляді документів, ключ-значення, графів чи колонок. Нові поля або зміни можна вносити без оновлення всієї структури.
 - Мова запитів. Не існує єдиної стандартної мови. Кожна СУБД зазвичай пропонує власну мову або API (запити BSON (Binary JavaScript Object Notation) у MongoDB, CQL у Cassandra тощо).
 - Транзакції. Більшість NoSQL-систем керуються принципами BASE (Basically Available, Soft State, Eventually Consistent). Повна ACID-транзакційність трапляється рідше, проте є винятки (деякі документо-орієнтовані СУБД можуть мати транзакції, але вони часто обмежені конкретною колекцією/розділом).
 - Масштабованість. Горизонтальне масштабування є основною концепцією: додавання нових вузлів у кластер дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних або високі навантаження.
 - Типи даних. Залежно від типу NoSQL-системи: документи (JSON/BSON), ключ-значення, графи, стовпці. Підтримується складна або динамічна структура без суворих обмежень.
 - Складність змін у моделі даних. Зміни в структурі даних зазвичай простіші, оскільки немає жорсткої схеми.

- Сценарії використання. Системи з великими або швидкозмінними наборами даних, реальночасова аналітика, соціальні мережі, збирання логів, застосунки з розподіленою архітектурою.

- На основі даних характеристик було надано перевагу реляційним базам дани, оскільки потрібно підтримувати зв'язки між даними. Додатковою перевагою є наявність SQL.

PostgreSQL і MySQL – це дві видатні системи RDBM з відкритим кодом, відомі своєю стабільністю продуктивності та впровадженням у галузях [108].

MySQL – ідеальний варіант для простих рішень із переважно операціями читання, що вимагають швидкодії та надійності. PostgreSQL найкращий вибір для складних застосунків, які потребують повної сумісності з SQL, цілісності даних і можливості розширення. PostgreSQL підходить у випадках, коли необхідні власні типи даних і складні запити [109]. Саме через такі характеристики, як можливість розширення та підтримка власних типів даних для системи для оцінки спеціальних здібностей підлітка було вибрано PostgreSQL.

3.5. Побудова архітектури системи

3.5.1. Структура бази даних

Одним із найважливіших аспектів проектування інфокомунікаційної системи для оцінки спеціальних здібностей підлітка є вибір способу зберігання даних і визначення, які структури даних будуть використовуватися.

Дані можуть бути статичними та динамічними. Статичні – це дані, які мають бути завантажені в систему, до початку її користування. а динамічні створюються безпосередньо під час користування системою.

В цій родоті усі дані поділяються на дві групи: циклічні дані і іольовані дані.

Ізольовані дані існують автономно, не беруть участі у бізнес процесах та можуть переноситися або кешуватися окремо. Всі ізольовані таблиці є джерелом статичних даних.

На рис. 3.4 наведено структуру бази даних PostgreSQL.



Рисунок 3.4. Структура бази даних PostgreSQL [111]

Поле `professional_requirements` зберігає ідентифікатори з таблиці `Profession Attributes` і формується як сукупність характеристик, необхідних для певної професії. Також у таблиці `Profession` слід містити опис реальних умов праці, аби система могла поінформувати підлітка про те, чим він займатиметься.

У деяких випадках для кожної професії заклад освіти пропонує лише одну спеціальність (1-1, «один-до-одного»), але бувають ситуації, коли для однієї професії існує кілька різних спеціальностей (1-n, «один-до-багатьох»). Тому таблиця `Specialty` призначена для зберігання даних про спеціальності в коледжі.

Кожен курс має унікальний код, а також опис того, що саме в ньому вивчається.

Таблиця Games зберігає дані про ігри, що використовуються для оцінки професійних здібностей

Зв'язок між Profession і Games – «один-до-багатьох», адже для підтвердження інтересу до професії може бути кілька відповідних ігор. У цій таблиці додано поле `professional_attributes` задля того, щоб зберігати інформацію про професійні навички, які потребує гра. Хоча ця таблиця пов'язана з таблицею Profession, в якій є схоже поле `professional_requirements`, значення в полі `professional_attributes` може відрізнитись, адже гра може покривати не всі потрібні здібності даної професії, або частково містити здібності до іншої роботи.

Вирішено застосувати підхід із рівнями складності ігор, тож таблиця Level пов'язана з таблицею Games.

Рівень гри дає розуміння рівню зацікавленості користувача в цій діяльності, а складність рівня перевіряє, чи дійсно підліток добре виконує завдання, що відповідають конкретній професії. Поле `description` потрібне, аби описати дії, які користувач виконуватиме на цьому рівні.

Adolescent – модель, що зберігає дані про цільову аудиторію. У ній фіксуються деякі ідентифікаційні дані людини (ім'я та прізвище). Для подальших розробок можна додати логін та пароль, щоб забезпечити можливості входу/виходу. Одне з ключових полів – `professional_preferences`, яке має бути обов'язково заповненим (непорожнім). Воно схоже на модель Profession, оскільки може містити підмножину професійних атрибутів. Поле `last_online` потрібне для відстеження активності користувача.

GameSession створюється для кожної особи, коли вона починає грати в певну гру. Поле `active_level` дає змогу зберегти поточний прогрес у грі, щоб підліток міг продовжити з того місця, де припинив. Також є необхідність зберігати дані, щодо проходження рівнів гри в полі `level_artifacts`, для їх використання задля генерації рекомендаційного висновку. Разом з цим в полі `summulative_estimates` зберігаються обраховані кумулятивні оцінки за формулою (2.5) для подальшого їх використання в процесі дотренування моделі нейронної мережі.

Поле `levels_of_interest` необхідне для зберігання міри інтересу підлітку. По-перше, цей показник також є частиною даних для генерації рекомендаційного

висновку, а по-друге, зберігаючи список, можна відслідковувати тренд зміни інтересу підлітка до гри.

Колонка `game_try` зберігає лічильник того, скільки разів користувач повертався до гри. За замовчуванням це значення дорівнює 0. При зупинці гри, цей показник стає 1, що означатиме, в разі повернення одразу до цієї ж гри: «Користувач з першої спроби повернувся до гри». Таким чином значення $r=1$ буде використано в формулі (2.3). Якщо користувач вибере іншу гру, то значення колонки стане 2, що в разі повернення до гри, інтерпретується як «Користувач з другої спроби повернувся до гри».

Зв'язок між `GameSession` і `Specialty` – «багато-до-багатьох». Для його реалізації вводиться таблиця `Conclusion`. Вона містить колонку (`conclusion`), яка зберігає вихідні дані із нейронної мережі. Тип колонки не скалярний, а список тому, що, зберігаючи усі дані, можна проводити їх подальший аналіз. Одна сесія може давати результати для кількох спеціальностей, якщо гра відображає декілька видів професійної діяльності.

3.5.2. Взаємодія компонентів системи

На рис. 3.5 зображено архітектуру інфокомунікаційної системи, призначеної для оцінки спеціальних здібностей підлітка.

Взаємодія користувача із системою відбувається через підсистему комунікації (`Communication Subsystem`).

Частини `FE`(`Front-end`) і `BE` (`Back-end`) на схемі об'єднані в один прямокутник, оскільки вони працюють у комплексі, а на стороні `BE` є кінцеві точки (`endpoints`) для взаємодії з `FE`.

Коли приймається рішення щодо вибору гри, із клієнтської частини підсистеми комунікації надсилається `API`-запит до серверної частини цього ж сервісу. Унаслідок цього в базі даних створюється новий об'єкт або, якщо операція виконується в поточній сесії, оновлюється наявний.

Зв'язок із `DB API` може бути реалізований через прямі `API` запити.

DB API – це сервіс, який підтримує з’єднання з базою даних. Важливо мати єдине джерело даних. Можна організувати підключення до бази даних із різних сервісів, однак пріоритетом є цілісність даних.

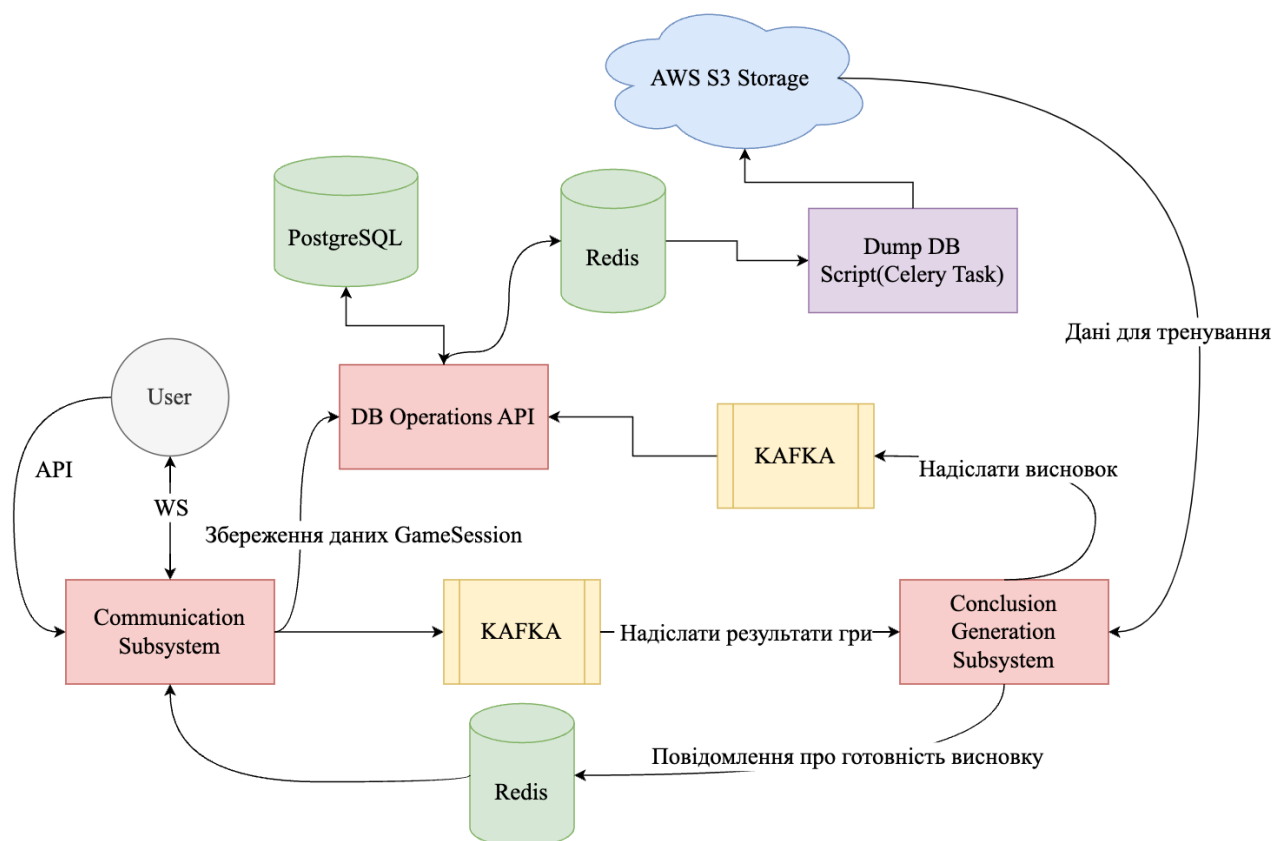


Рисунок 3.5. Архітектура інфокомунікаційної системи для оцінки спеціальних здібностей підлітка [111].

Якщо один із сервісів припинить роботу під час операцій із даними, а інший у цей час покладатиметься на ті самі дані, може виникнути непередбачувана ситуація. Ця проблема вирішується налаштуванням рівеню ізоляції транзакцій у PostgreSQL [112].

Ще одне потенційне питання – операції з неструктурованими даними. Ця проблема також розв’язується завдяки обраному підходу, оскільки в межах сервісу DB API можна чітко визначити, які саме операції з даними є бажаними, а які ні. Запити до бази даних регулюються логікою, закладеною усередині сервісу.

Якщо у підлітка з’являються готові результати, його слід про це повідомити. Ця мета досягається за допомогою WebSocket-з’єднання.

Щоб повідомлення про завершення формування результату не губилися, було вирішено застосувати топіки Redis. Сервіс CGS (Conclusion Generation Subsystem) записує повідомлення у зручному для користувача форматі до топіка Redis, а серверна частина (BE) підсистеми комунікації «слухає» ці топіки.

Повідомлення від BE до FE доставляються через WebSocket – технологію, що дає змогу встановити двосторонній інтерактивний сеанс зв'язку між браузером користувача і сервером [113]. Якщо WebSocket-з'єднання розірване, повідомлення все одно залишатимуться в Redis і будуть надіслані користувачеві, щойно з'єднання відновиться.

Таким чином реалізується комунікація між підлітком та інфокомунікаційною системою. Система «спілкується» з користувачем і демонструє йому, що відбувається певний прогрес.

Далі йдеться про резервне копіювання (backup) даних системи.

DB API повинна вміти створювати дампи бази даних, щоб у разі втрати даних або необхідності перенесення їх в інше місце можна було відновити всю інформацію.

Цю задачу можна розв'язати двома способами:

- перенести комп'ютер, на якому підлітки користуються інфокомунікаційною системою, в інше місце;
- зберегти дані у хмарному сховищі.

Як було зазначено раніше, для періодичного виконання скриптів у фоновому режимі, які копіюють дані до хмари, використовуються завдання Celery. Файли з дампами бази даних зберігаються в Amazon S3.

Сховище S3 також запропоновано використовувати для зберігання файлів, які містять тренувальні дані для CGS.

Наступне питання яке потребує вирішення - це впевненість, що всі результати потрапляють до CGS. Тут і потрібна система черг повідомлень. Повідомлення Kafka гарантують, що інформація з підсистеми комунікації надходить до CGS [114]. За допомогою Kafka можна інтегруватися з різними споживачами (consumers).

Коли дані потрапили до CGS, постає питання, як повернути результати із CGS до бази даних. Тут знову можна використати Kafka-повідомлення для організації взаємодії з DB API.

Основна відмінність між підключенням CGS до DB API та підключенням підсистеми комунікації до DB API в тому, що:

- в першому випадку, якщо виникають помилки (DB API не відповідає), їх можна обробити або показати відповідне повідомлення користувачеві;
- у випадку з підсистемою комунікації й DB API інфокомунікаційна система одразу дізнається про проблему під час запиту.

У випадку взаємодії CGS і DB API, висновки формуються у фоновому режимі, а операція, що виконується над об'єктами бази даних, – це UPDATE, і головне в цій ситуації – не втратити отримані результати.

3.6. Моніторинг та масштабування системи

Із розширенням аудиторії та ускладненням робочих навантажень постає потреба передбачити чіткі сценарії масштабування. Збільшенням навантаження, наприклад, можуть бути наступні події:

- «Вибух» реєстрацій: хакатон, реклама в соцмережах, новий навчальний семестр;
- Черга обчислень рекомендаційного висновку: масовий показник завершення ігор;
- Приватна ініціатива: запуск конкурсу; потрібна ізольована інфраструктура, що витримує масовий одночасний доступ учасників.

Необхідно запровадити моніторинг системи та логування помилок із коду на Python. Серед альтернатив було розглянуто 2 протилежні підходи: OpenSearch у взаємодії з Grafana та Datadog.

Datadog є корисною платформою для моніторингу хмарних сервісів, що забезпечує єдине рішення для безперешкодного поєднання трьох основних компонентів спостережуваності та дає можливість отримувати повну видимість у

всьому стеку застосунків. Крім того, особливо важливим є плавний і безпроблемний процес інтеграції з понад 400 вбудованими інтеграціями та попередньо визначеними шаблонами інформаційних панелей, розробленими спеціально для цих інтеграцій [115].

Головним недоліком є ціна, яка складає приблизно 15 доларів за користувача на місяць, а для версії Enterprise – близько 23 доларів [116].

Grafana та OpenSearch безкоштовні у використанні, потрібно платити тільки за інфраструктуру, але цих витрат неможливо уникнути. Grafana є популярним інструментом для моніторингу продуктивності, а OpenSearch – інструмент для збирання логів із повідомленнями про помилки [117, 118]. У Grafana потрібно відображати метрики з коду сервісів, зокрема: час запиту до бази даних, час змін у базі даних, час відповіді користувачеві тощо. В OpenSearch слід зберігати логи від усіх сервісів системи, наприклад, помилки від DB operations API, CGS, підсистеми комунікації тощо.

На підставі метрик у Grafana, коли навантаження на PostgreSQL стає занадто високим, варто створити окремі інстанси PostgreSQL різних типів – writer і reader. Writer-інстанс відповідатиме виключно за збереження даних. Рівень ізоляції `serializable` тут потрібно зберігати, оскільки система не може допускати непослідовності в даних. Reader-інстанси можуть працювати з ізоляцією `read committed`, адже результати ігор різних користувачів не впливають один на одного. Додавання reader-інстансів зменшить навантаження на writer-інстанс. Якщо ж після цього покращення навантаження на writer-інстанс усе ще занадто високе, можна налаштувати кластери бази даних. Як ефективний ключ для кластера можна використати `adolescent_id`. Якщо ж відповіді reader-інстансів залишатимуться повільними, для прискорення запитів можна додати індекси.

Зважаючи на метрики Grafana, якщо в Kafka-топіку спостерігається велике відставання (більше за 100 повідомлень), потрібно збільшити кількість інстансів сервісу CGS, а також збільшити кількість розділів у Kafka-топіку, щоб споживачі CGS могли ефективно обробляти нові повідомлення.

Також є кілька вдосконалень, що допоможуть запобігти втраті даних і уникнути «єдиної точки відмови».

Щоб уникнути ризику «єдиної точки відмови» в PostgreSQL, варто додати синхронні реплікації для первинного інстанса. Це потрібно для гарантії збереження даних і безперервної доступності системи.

Щоб запобігти втраті даних у Redis, можна скористатися механізмом збереження даних [119]. Для цього Redis snapshots і файл append only можуть працювати в парі. Використання append only file зазвичай не впливає на продуктивність Redis, але розмір такого файлу може значно збільшуватись. Використання snapshot відчутніше впливає на продуктивність, проте розмір snapshot має відповідати обсягам даних у Redis. Тож можна знайти збалансований варіант: запис до append only file кожні 10 секунд і створення snapshot раз на годину.

Висновки до розділу 3

1. На основі аналізу доступних інструментів розробки визначено, які саме з них слід використати для реалізації інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей підлітків, аби забезпечити її масштабованість у майбутньому.

2. Розроблено концептуальну модель інфокомунікаційної системи і детально описано взаємодію між її компонентами з перспективою переходу до високонавантаженого розподіленого рішення. Запропоновано структуру бази даних і розглянуто додаткові вдосконалення за рахунок упровадження автоматичних засобів моніторингу продуктивності та такі інструменти як реплікація бази даних.

3. Визначено набір операцій, які повинні мати можливість виконувати як підліток, для того, щоб отримати рекомендаційний висновок, так і експерт, який має забезпечити коректний набір комп'ютерних ігор, що відповідатимуть певній професійній спеціальності.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [111].

РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ В СИСТЕМУ ОЦІНКИ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗДІБНОСТЕЙ ПІДЛІТКА

В четвертому розділі обґрунтовано вибір типу нейронної мережі для генерації рекомендаційного висновку, щодо спеціальності на основі виконання завдань комп'ютерної гри, та рішення щодо застосування контрольованого навчання; запропоновано архітектуру моделі нейронної мережі та її налаштування; показано, що багатошаровий перцептрон з двома послідовними прихованими шарами із 32 і 16 вузлів може навчитися правильній класифікації результатів гри не тільки за критерієм «час проходження рівня», а і враховує «кількість спроб» виконання завдання; сформовано навчальну вибірку для тренування моделі; на прикладі конкретної гри, експериментально показано здатність навченої моделі генерувати рекомендаційний висновок; розглянуто методи покращення роботи існуючої моделі нейронної мережі; визначено стратегії вдосконалення роботи моделі; описані морально-етичні виклики і ключові управлінські умови, що мають бути враховані під час проведення гейміфікованого тестування спеціальних здібностей підлітків.

4.1. Вибір нейронної мережі для вирішення задачі профорієнтації підлітка

Нові виклики в галузі професійної орієнтації підлітків та актуальність завдань, пов'язаних із багаторівневими комп'ютерними іграми, створюють підґрунтя для дослідження та застосування нейромереж. Зокрема, це стосується рішень двох важливих задач:

- багатофакторної регресії, якою є прогнозування професійних здібностей за результатами багаторівневої комп'ютерної гри;
- нечіткої класифікації, якою є віднесення до певного класу загального результату гри підлітка, сформованого під час гри.

На вибір нейронної мережі, що здатна вирішувати задачі багатофакторної регресії і нечіткої класифікації, суттєво впливає метод її навчання, тому в цій роботі

спочатку досліджувались основні методи навчання нейронних мереж, що використовуються для вирішення цих задач в інших галузях.

Вибір саме контрольованого (supervised) навчання ґрунтується на базових відмінностях між трьома головними парадигмами машинного навчання. У контрольованому навчанні модель тренується на позначених (labeled) прикладах – для кожного вхідного вектора відома правильна відповідь; таким чином мережа навчається встановлювати функцію відповідності «ознаки-клас» і може безпосередньо прогнозувати категорію нового об'єкта [120]. Навпаки, неконтрольоване (unsupervised) навчання оперує непозначеними даними й намагається самостійно виявити приховані закономірності, кластери або асоціації. Хоч такий підхід зменшує потребу в ручному маркуванні, він не гарантує, що знайдені структури матимуть коректне педагогічне чи психологічне трактування без подальшого втручання експерта [121]. Третя парадигма – навчання з підкріпленням (reinforcement learning) – передбачає тривалу ітераційну взаємодію агента з середовищем, де він отримує нагороду за певні дії; хоча цей підхід ефективний у робототехніці чи ігрових стратегіях, він потребує складного симуляційного оточення й значних обчислювальних ресурсів [121].

У контексті оцінювання спеціальних здібностей підлітків ключовою вимогою є видача надійного й пояснюваного рекомендаційного висновку, що базується на експертно затверджених класах («рекомендовано», «можливо», «не рекомендовано»). Без апріорних «правильних» міток, наданих кар'єрними консультантами, неконтрольовані методи не здатні однозначно віднести результат гри до потрібної категорії, а навчання з підкріпленням виглядало б надто затратним та методично складним. Додатковим аргументом стала обмеженість реальних навчальних вибірок: через фрагментарність офлайн комунікації в українських закладах освіти зібрати великий масив неконтрольованих даних наразі проблематично. Таким чином, контрольоване навчання забезпечує баланс між практичними умовами збору даних, вимогами до точності та потребою у інтерпретованості результатів.

Після визначення методу навчання розглядалися тільки ті нейромережі, що застосовуються в задачах регресії і класифікації та підтримують контрольоване

навчання. У переліку нейромереж, що відповідають цим вимогам: нечітка система виведення категорії Сугено і нечітка нейромережа Такаги-Сугено-Канга, згорткові і рекурентні нейромережі, дерева рішень і MLP (Multilayer perceptron) – багатошаровий перцептрон.

Для формування рекомендаційного висновку в системі, запропонованій авторами [33, 41, 42, 75, 76], використовувалась нечітка система виведення категорії Сугено і нечітка нейромережа Такаги-Сугено-Канга (рис. 4.1) [3, 43].

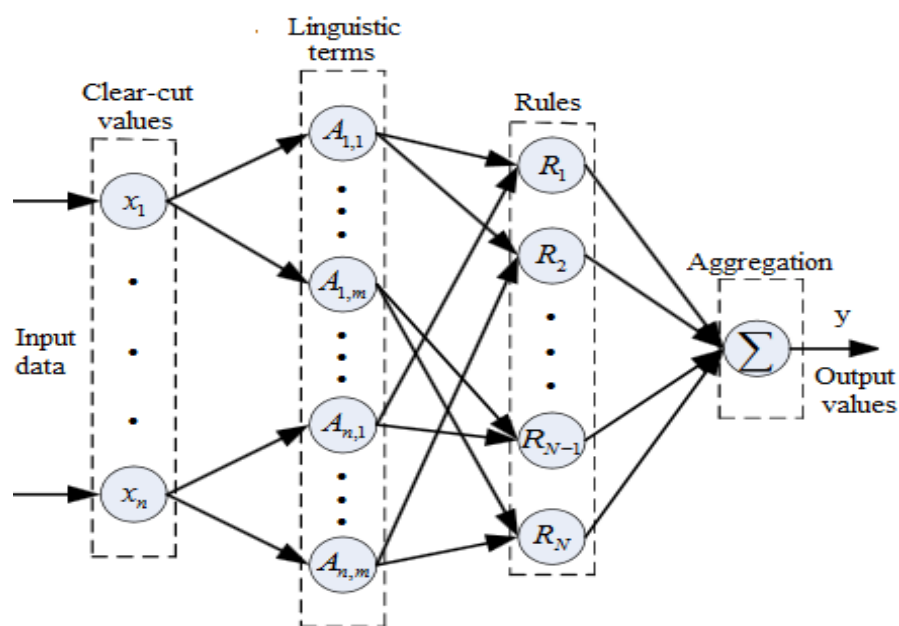


Рисунок 4.1. Структура нейромережі Такаги-Сугено-Канга [3]

Одним із суттєвих недоліків підходу на основі систем нечіткого виведення, є формування апріорної бази правил для усіх сценаріїв різних ігор (рис. 4.2).

На рис. 4.2 прийняті такі позначення:

- L – лінгвістична оцінка входної змінної «міра вираженості інтересу до спеціальності»;
- $TL = \{l_i\}$, $i=1, 2, 3$ – набір термів, що характеризує міру вираженості інтересу до спеціальності; l_1 – «високий», l_2 – «середній», l_3 – «не виражений»;
- $TU = \{y_i\}$, $i=1, \dots, 4$, – набір термів y_1 – «рекомендовано», y_2 – «можливо», y_3 – «використайте ще одну спробу», y_4 – «виберіть іншу спеціальність», що характеризують вихідну змінну – рекомендаційний висновок – Y .

TL = MI = {l _i }, i = 1, 2, 3	Passage fact of L_1	Passage fact of L_2	Passage fact of L_3	Passage fact of L_4	TY = {y _i }, i = 1,...,4
High	failed	failed	failed	failed	y ₃
High	passed	failed	failed	failed	y ₃
High	passed	passed	failed	failed	y ₃
High	passed	passed	passed	failed	y ₂
High	passed	passed	passed	passed	y ₁
High	passed	failed	failed	passed	y ₂
High	passed	passed	failed	passed	y ₁
High	passed	failed	passed	passed	y ₁
High	passed	failed	passed	failed	y ₃
...	...	...	...	...	...
Medium	failed	failed	failed	failed	y ₄
Medium	passed	passed	passed	failed	y ₂
Medium	passed	passed	passed	passed	y ₁
Medium	passed	failed	failed	passed	y ₃
Medium	passed	passed	failed	failed	y ₃
Medium	passed	failed	passed	passed	y ₂
Medium	passed	passed	failed	passed	y ₂
Medium	passed	failed	failed	failed	y ₄
...	...	...	...	...	...
Not expressed	failed	failed	failed	failed	y ₄
Not expressed	passed	failed	failed	failed	y ₄
Not expressed	passed	passed	failed	failed	y ₃
Not expressed	passed	passed	passed	failed	y ₂
Not expressed	passed	passed	passed	passed	y ₂
Not expressed	passed	failed	passed	failed	y ₄
Not expressed	passed	passed	failed	failed	y ₄
Not expressed	passed	passed	failed	passed	y ₂
...	...	...	...	...	...

Рисунок 4.2. Фрагменти бази правил системи нечіткого виведення ПСІЗА [41]

В [3] описано процеси створення апріорної бази правил, що використовуються системою нечіткого виведення при формуванні рекомендаційного висновку щодо доцільності вибору майбутньої професії за результатами комп'ютерних ігор професійного спрямування. Проте нечіткі системи виведення мають обмеження, що пов'язані з необхідністю постійного залучення людини для оновлення правил.

Оскільки TSK сильно спирається на правила, додавання або зміна правил може бути трудомістким процесом та створювати ризик людської помилки. Зокрема, щоразу, коли виникає необхідність додавати або оновлювати рівні чи правила, це може займати багато часу і створювати потенціал для людської помилки.

Модель TSK заснована на правилах і є детермінованою, що означає її ефективність у чітко визначених сценаріях, що:

– робить її менш здатною до узагальнення на ситуації, які не були передбачені експертом без ручного втручання;

– означає, що слабкою стороною цих досліджень є необхідність ручного формування апріорної бази правил для чітко визначених сценаріїв різних ігор.

RNN-архітектури (зокрема LSTM) призначені для роботи з послідовностями, де ключову роль відіграє саме часовий контекст. Кожен елемент такої мережі зберігає «пам'ять» про попередні стани, що дозволяє моделі вловлювати довготривалі залежності та корелювати поточний вихід із попередніми подіями [122].

Саме тому LSTM успішно застосовуються в обробці мовлення та часових рядів. Проте вхідні дані являють собою вектор фіксованої довжини. Оскільки такий вектор уже агрегує інформацію й позбавлений хронологічної структури, переваги рекурентної пам'яті LSTM практично не реалізуються; отже, застосування RNN не виправдане.

Convolutional Neural Networks (CNN), попри свою популярність у комп'ютерному зорі, мають сенс тоді, коли дані можна інтерпретувати як матриці з локальними просторовими залежностями – зображення, спектрограми аудіо тощо. Згорткові фільтри «сканують» фрагменти, шукаючи патерни окремо й агрегуючи ознаки від простих до складних [123]. Однак дані, що використовуються для формування рекомендаційного висновку щодо доцільності вибору професії, не мають просторової структури, тому CNN не є найкращим вибором.

Натомість деревоподібні моделі (Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosting) добре працюють з табличними ознаками, автоматично виділяючи важливі граничні значення та взаємодії між ними [124]. Ієрархічна структура дерева забезпечує інтерпретованість: кожне рішення можна розкласти на послідовність зрозумілих правил «якщо-то».

Така прозорість корисна для психолого-педагогічного тлумачення результатів, але водночас обмежує гнучкість: дерева схильні до пере- та недонавчання і швидко втрачають точність на «шумних» або зростаючих вибірках. До того ж нейромережі можуть запропонувати більшу гнучкість у вивченні складних закономірностей, особливо якщо розмір набору даних зростає.

На відміну від дерев, штучні нейромережі (зокрема MLP) здатні апроксимувати складні нелінійні функції й масштабуватися разом із об'ємом даних. Тому при

розширенні датасету та введенні нових характеристик нейромережева модель залишатиметься придатною, тоді як дереву знадобиться суттєва перебудова. У підсумку, з урахуванням фіксованого вхідного вектора, саме перцептрон виявляється оптимальним компромісом між точністю, гнучкістю та обчислювальною вартістю.

В [125] не розглядається можливість застосування MLP ні для оцінки здібностей підлітків ні для формування рекомендаційного висновку за результатами комп'ютерних ігор, проте в цьому дослідженні показано переваги MLP при вирішенні задач регресії і класифікації, що забезпечується його:

- простотою структури, що добре підходить для наборів даних з фіксованим вхідним розміром, якщо зв'язки між ознаками не надто складні;
- універсальністю апроксимації, яка при достатній кількості нейронів і шарів може апроксимувати будь-яку функцію і робить MLP хорошим вибором, коли точна функція між вхідними і вихідними даними невідома;
- нелінійністю, що надає можливість моделювати нелінійні зв'язки між вхідними і вихідними даними за допомогою використання ReLU [126], якщо дані не мають лінійної залежності від часу і кількості спроб;
- фіксованістю структури, що не містить послідовних чи просторових залежностей;
- масштабованістю на великих наборах даних, що надає можливість використовувати таке апаратне прискорення, як GPU.

Дослідження, що проведені в [125], показали, що MLP може обробляти як класифікацію, так і регресію завдяки використанню різних вихідних шарів і функцій втрат. При цьому фіксованість структури і масштабованість водночас робить MLP найпростішим і найефективнішим при зростанні набору даних без ускладнення моделі. MLP також є простим і ефективним вибором для вивчення взаємозв'язків між числовими вхідними даними, що відображають результати виконання завдань різних рівнів.

Таким чином здатність MLP:

- до класифікації може дати відповідь на питання: «Чи рекомендувати підлітку певну професію?»;

– до вирішення задачі регресії допоможе знайти відповідь на питання: «Який рівень здібностей до виконання певної операційної діяльності показав підліток при виконанні завдань відповідної гри?».

Проте контрольоване навчання MLP першою чергою потребує формалізації процесу формування висновку щодо доцільності вибору професії за оцінками міри інтересу, часу і кількості спроб, використаних при виконанні завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри.

Це надасть експертам можливість:

- обґрунтувати оцінку таких нечітких характеристик особистості підлітка, як міра інтересу і професійні здібності;
- оцінити результати виконання завдань кожного рівня і на основі цих оцінок сформувати портрет фахівця;
- контролювати (аналізувати та коригувати) роботу MLP.

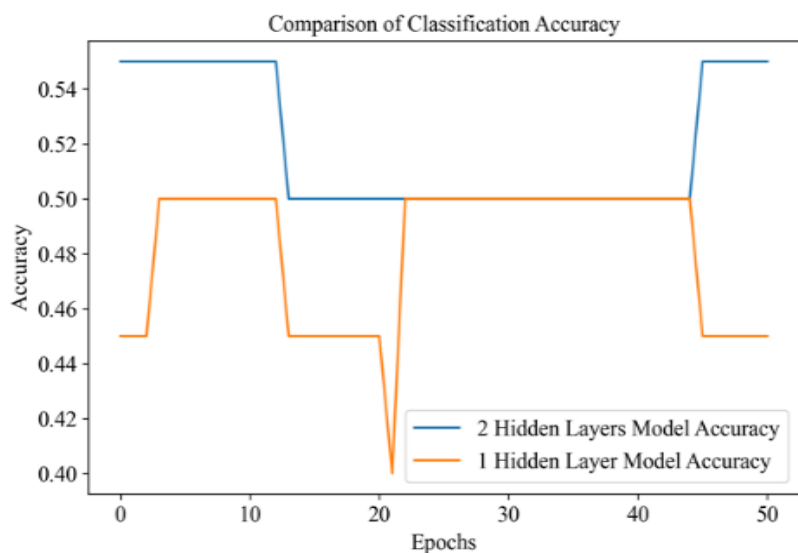
4.2. Модель нейронної мережі

В цій роботі досліджувались MLP з одним прихованим шаром із 48 вузлів і MLP з послідовними шарами із 32 і 16 вузлів.

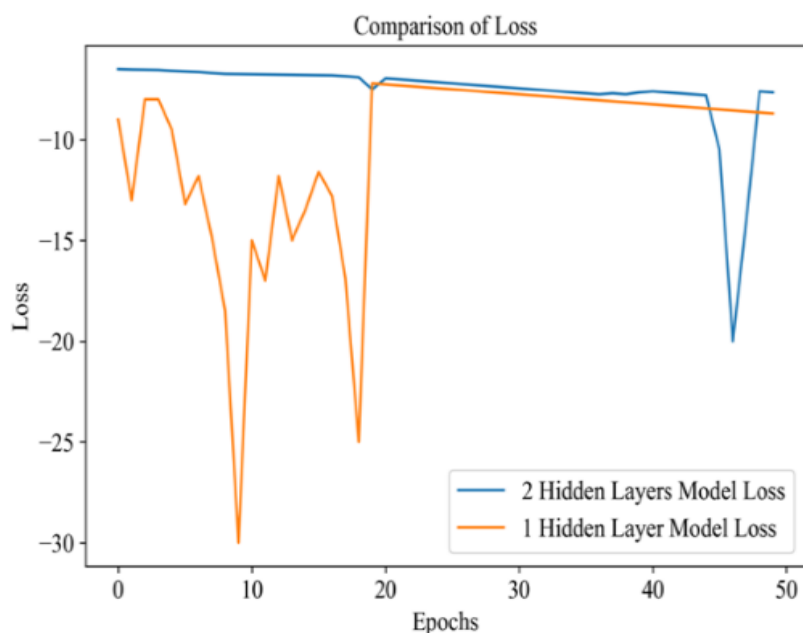
При цьому MLP з послідовними шарами із 32 і 16 вузлів показав кращі результати класифікації за точністю (рис. 4.3, а) і значенням втрат (рис. 4.3, б) у порівнянні з MLP, що мав 1 прихований шар із 48 вузлів.

Використання двошарової архітектури надає нейромережі такі переваги, як:

- покрокове вилучення ознак, тобто кожен шар нейромережі може поступово абстрагувати ознаки від вхідних даних і шляхом накладання шарів модель крок за кроком будує складні функції, виявляючи нелінійні взаємозв'язки;
- гнучкість для глибших моделей: запропонована структура дозволяє збільшити глибину моделі, покращуючи навчання більш складних зв'язків;
- поступове зменшення розмірності змушує мережу стискати інформацію й виокремлювати найсуттєвіші ознаки, зменшуючи шум і кореляції між фічами;
- у цьому форматі легше додавати шари або змінювати їхні розміри.



а



б

Рисунок 4.3. Порівняння здатності до класифікації MLP з двома і одним прихованими шарами [84]

Недоліком однорівневої архітектури є вищий ризик перенавчання, так як один шар нейронів може «запам'ятати» тренувальні приклади.

Таким чином, архітектура моделі MLP з двома послідовними прихованими шарами (форма «воронки») із 32 і 16 вузлів краще підходить для подальших досліджень, ніж архітектура з одним прихованим шаром із 48 вузлів.

Модель нейромережі, яку запропоновано застосовувати для формування рекомендаційного висновку щодо вибору спеціальності за результатами 4-ох рівневої комп'ютерної гри професійного спрямування показана на рис. 4.4:

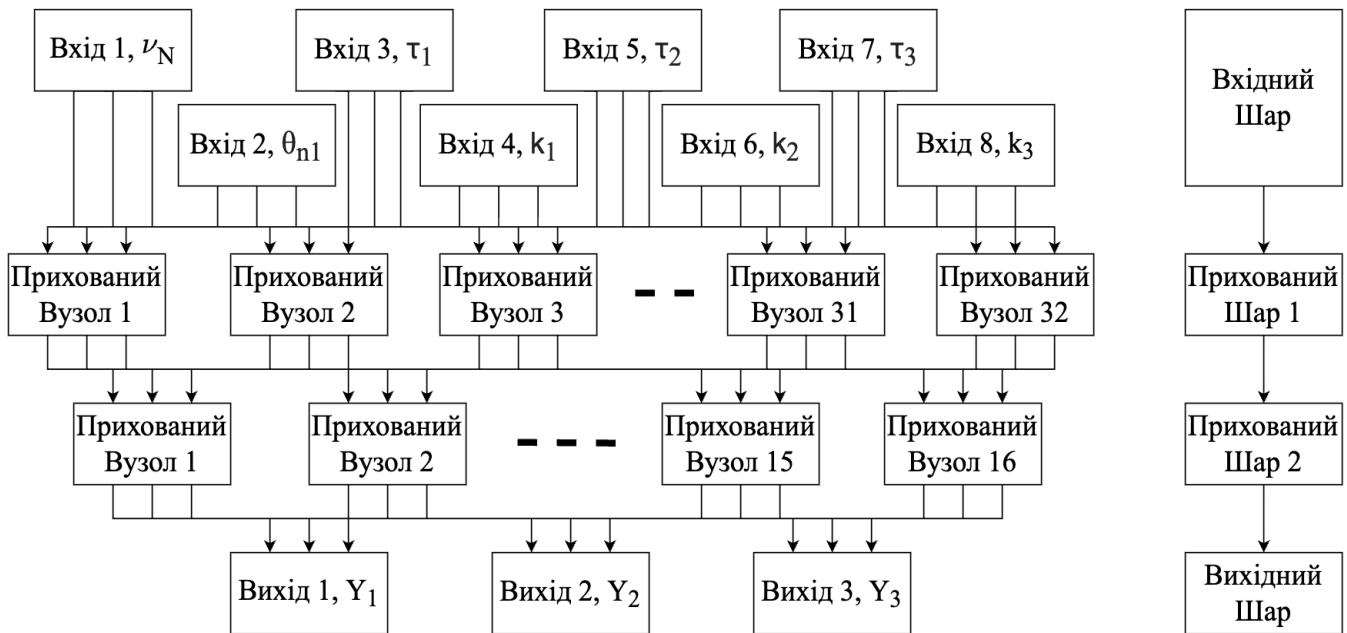


Рисунок 4.4. Модель нейронної мережі

1. Вхідний шар: 8 вхідних нейронів для представлення вхідних даних у вигляді 8-ми вимірного вектора, координатами якого є оцінки міри інтересу і рівню готовності (результату опитування), а також час і кількість спроб для проходження кожного з трьох рівнів завдань різної складності.

2. Приховані шари: два шари з 32 і 16 вузлами (всього 48).

3. Вихідний шар: складається з 3 нейронів для класів даних $\bar{R}(-1)$, $P(0)$ і $R(1)$, що відповідають висновкам «не рекомендовано», «можливо» і «рекомендовано». Для перетворення вихідних даних MLP у вектор ймовірності і створення розподілу ймовірностей між класами даних використано функцію активації Softmax [127, 128]. Ця функція дає на виході зрозумілі для людини ймовірності «рекомендовано / можливо / не рекомендовано». Альтернативна функція Sigmoid підходить, коли класи не взаємо виключні.

Для тренування моделі нейронної мережі використано наступний список гіперпараметрів:

– в якості функції активації для введення нелінійності вихідних нейронів використано ReLU. Такий вибір обґрунтований тим, що ця функція гарантує швидкі обчислення та слідує за тим, щоб «не згасав» градієнт [126, 129];

- альтернативні функції $\tanh$ або ELU працюють повільніше й потребують тонкого підбору параметрів.
- для підлаштування швидкості навчання MLP використано оптимізатор Adam, що дозволяє йому добре працювати в широкому діапазоні завдань і архітектур. Також він автоматично підлаштовує крок для кожної ваги, таким чином практично відразу дає стабільне навчання [130, 131].
- у альтернативній SGD learning rate (розмір кроку, з яким рухаються ваги) підбирається вручну.
- Batch size=10 дає менше навантаження на пам'ять та забезпечує кращу узагальненість. Більші значення batch size потребують більше оперативної пам'яті та можуть потребувати наявності потужної відеокarti, що виключає слабкі ноутбуки.
- 50 epoch. За такого гіперпараметру модель досягає своєї «стелі» точності без зайвих ресурсів, а 100 epoch додали б лічені відсотки точності, але подвоїли б час тренування.

4.3. Формування тренувального набору даних для нейронної мережі

Для забезпечення здатності MLP виконувати задачу класифікації потрібно виконати:

1. Попередній збір інформації.
2. Тренування моделі нейронної мережі.
3. Експериментальну перевірку здатності нейронної мережі формувати надійний рекомендаційний висновок.

Набір даних, використаний для навчання MLP, сформовано з результатів гри слухачів курсів довузівської підготовки Київського національного університету будівництва і архітектури, які чітко визначились з вибором професії. При вирішенні кожного завдання гри фіксувались «час проходження рівнів» і «кількість спроб».

На першому етапі тестова група підлітків виконує задачі професійного орієнтованих комп'ютерних ігор, а експерти збирають результати гри і надають

рекомендаційний висновок. Фрагмент вибірки даних для навчання MLP, що отримані при тестування підлітків, які виконували завдання гри Rocket Lab, надано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вибірка даних для навчання і приклад тестування MLP(фрагмент)

N	Дані для навчання MLP								Висновок
	v_N	θ_{n1}	τ_2	k_2	τ_3	k_3	τ_4	k_4	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
2	0,5	1	1.96	1	1.75	1	1.9	1	1
3	0,8	1	2.07	3	10	2	2.35	4	-1
4	0,8	1	20	1	2.67	4	3.16	6	-1
5	0.6	1	2.67	4	1.18	5	1.58	3	0
6	0.3	1	1.25	5	1.91	1	1.97	1	1
7	0.3	1	2.61	3	2.9	9	3.33	10	-1
8	0.1	1	1.71	3	1.6	4	4	1	0
9	0.9	1	2.73	6	1.4	6	1.62	6	0
10	1	1	2.22	1	2.22	1	1.28	3	1
11	0.7	1	1.28	3	1.6	4	1.28	3	1
12	0.7	1	1.4	6	1.9	4	2.22	1	1
13	0.5	1	6	6	2.73	6	2.73	6	-1
14	0.5	1	1.72	1	1.36	3	1.36	3	1
15	0.4	1	1.76	1	1.67	5	1.82	2	0
16	0.8	1	1.75	1	26.67	40	2.5	10	-1
17	0.4	1	3	3	2.5	2	1.82	5	0
18	1	1	3	3	2.5	5	3	3	-1
19	0.2	1	1.29	4	1.82	1	1.87	1	1
20	0,8	1	1.25	5	2.86	1	1.4	6	0
Приклад тестування MLP									
1	0,5	1	2.67	2	6.12	4	5.57	2	0

Після кожної ігрової сесії експерти аналізували результати гри підлітків і кожен спробу на основі експертного досвіду було віднесено до одного з класів: $\bar{R}(-1)$, $P(0)$ чи $R(1)$. Ці результати, марковані викладачами кафедр професійної освіти та

інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури, сформували базову істину, яку і було використано для навчання MLP.

На третьому етапі здійснюється експериментальна перевірка здатності натренованого MLP надавати рекомендаційний висновок, за результатами якої в подальшому виконується аналіз та коригувати роботи нейромережі.

Набір даних проводився на вибірці з 100 підлітків віком 15–16 років, які виконували завдання ігор, зібраних в табл. 2.2 за своїм вибором.

Цих даних не достатньо для навчання нейромережі без учителя, але достатньо для експериментальної перевірки відповідності висновку MLP висновку експерта.

4.4. Експериментальна перевірка здатності нейромережі формувати надійний рекомендаційний висновок

Для тестування моделі користувачу було запропоновано зіграти в гру Rocket Lab, на основі якої тренувалася модель. Rocket Lab – це онлайн-симулятор від Національного музею авіації та космонавтики Смітсонівського інституту (платформа How Things Fly), у якому учень виконує роль конструктор-інженера ракети й поступово вивчає базові закони руху та реактивної тяги [132].

Вибір гри Rocket Lab зумовлений тим, що в Україні галузі знань 13 Механічна інженерія спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка досить популярна і фахівців у цій галузі готують:

- Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
- Національний авіаційний університет;
- Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;
- Національний університет «Львівська політехніка»;
- Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;
- Національний університет «Запорізька політехніка»;
- Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Після вибору гри, підлітку потрібно буде пройти опитування, де він зможе оцінити свою готовність до виконання подальших професійних завдань.

Першим рівнем цієї гри вважається самооцінка готовності підлітка набувати в процесі навчання компетентності випускника першого рівня вищої освіти галузі знань спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Далі гра Rocket Lab, буде пропонувати завдання 3-ох рівнів складності, на кожному з яких користувачу потрібно здійснити:

1. Суборбітальний політ, тобто ненадовго досягти космосу і повернутися на Землю.
2. Орбітальний політ, тобто досягти орбіти і здійснити політ навколо Землі.
3. Політ, під час якого ракета вилетить за орбіту Землі.

Одне з перших, що побачить користувач на початку гри, це опис місії (рис. 4.5).

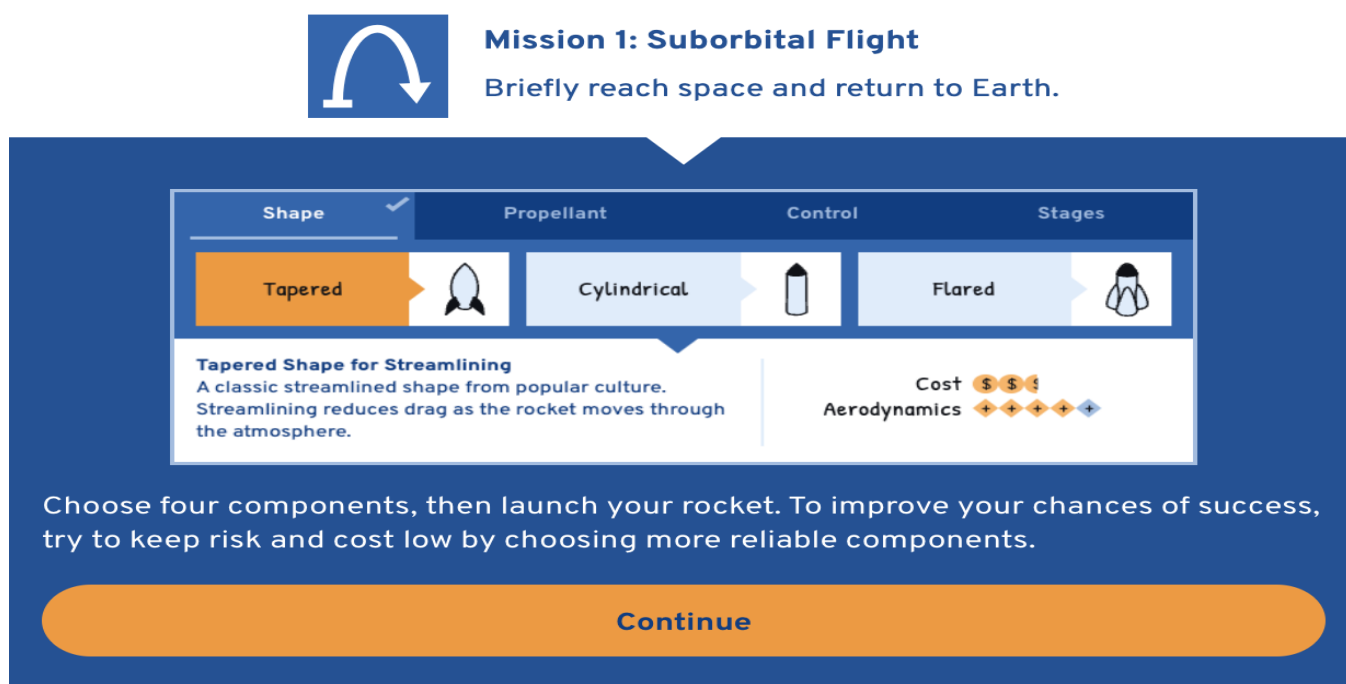


Рисунок 4.5. Опис місії першого рівня Rocket Lab [132]

Наступний екран показує «лабораторний стіл», де зліва розташована панель деталей. Гравець перетягує на креслярське поле (рис. 4.6): форму; паливе; управління; кількість ступенів ракети.

Після кожної дії з'являється спливаюче пояснення, яке описує роль компонента.

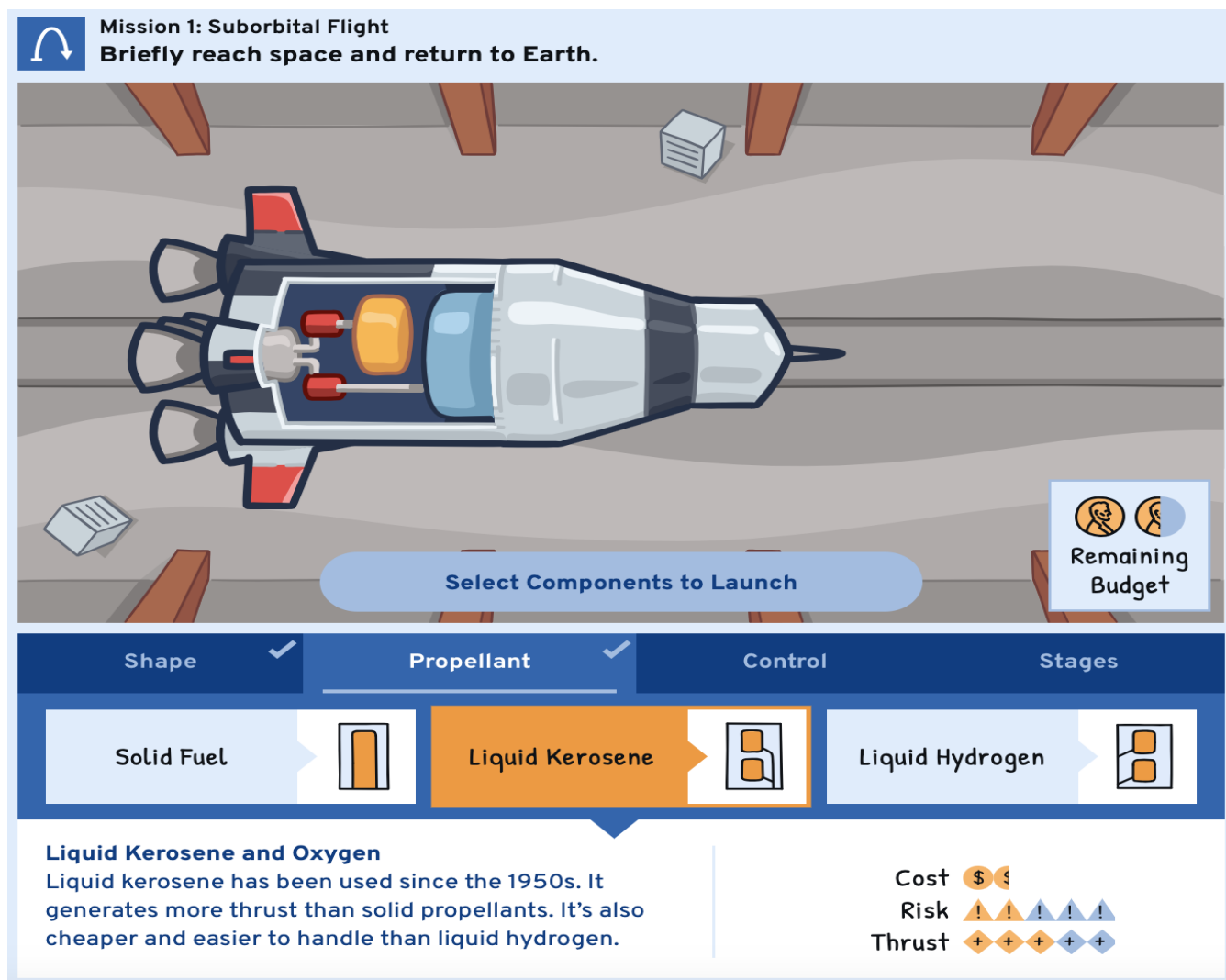


Рисунок 4.6. Опис можливого вибору деталей для ракети [132]

Кожна компонента має 3 різних варіанти на вибір і кожен з цих виборів має різні характеристики.

Так: ракета може бути одно-, двох-, та трьох-ступінчастою, а система управління ракетою, характеризується: ціною, ризиком і рівнем контролю.

На кожен рівень виділяється бюджет, в який потрібно вкластися.

Перед початком кожного рівня є рекомендації щодо вибору компонентів.

Перед стартом перевіряються основні системи ракети. Якщо ракету зібрано правильно, пропонується перейти до запуску. Якщо при перевірці виявлено проблему, то користувач отримає попередження щодо провалу місії перед початком польоту (рис. 4.7) і рекомендації щодо вибору інших компонентів (рис. 4.8), проте користувач може ігнорувати попередження і рекомендації та продовжити політ.

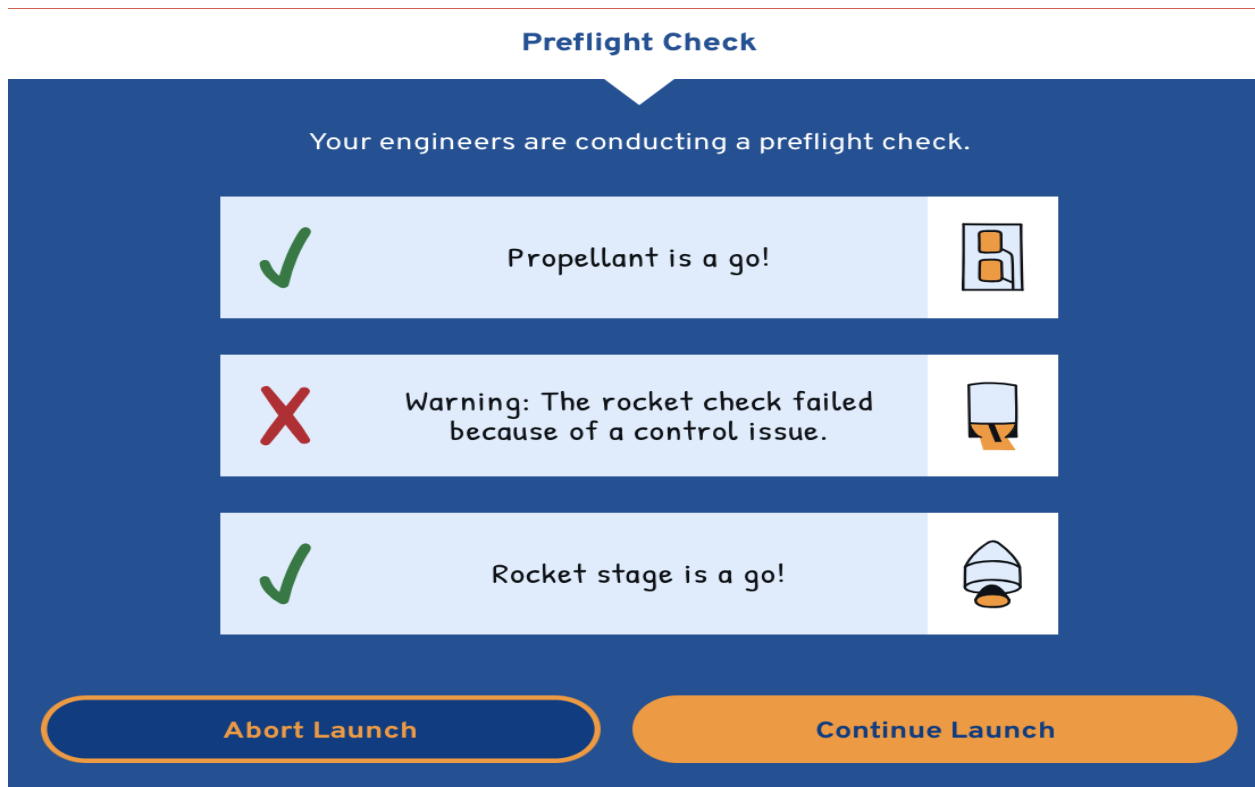


Рисунок 4.7. Попередження щодо провалу місії перед початком польоту [132]

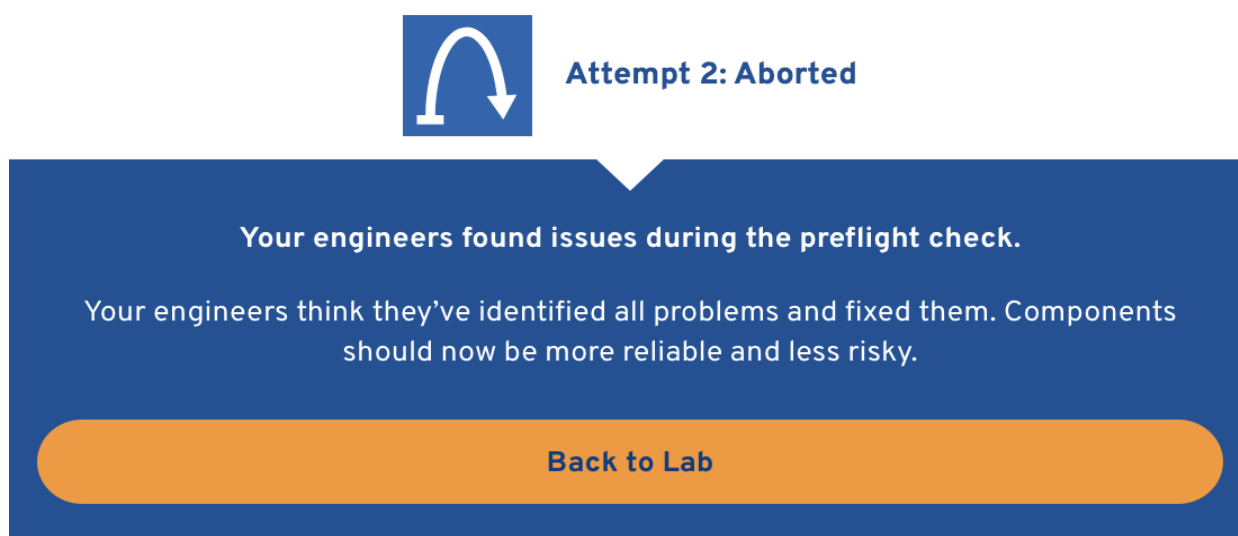


Рисунок 4.8. Рекомендації щодо вибору інших компонентів [132]

Якщо користувач ігнорує попередження і рекомендації Rocket Lab та продовжує політ, то в цьому випадку під час польоту станеться відповідний наслідок і ракета не досягне поставленої цілі (рис. 4.9), а користувач побачить що саме пішло не так під час польоту і отримає опис наслідків помилки (рис. 4.10), попередження про яку він проігнорував.

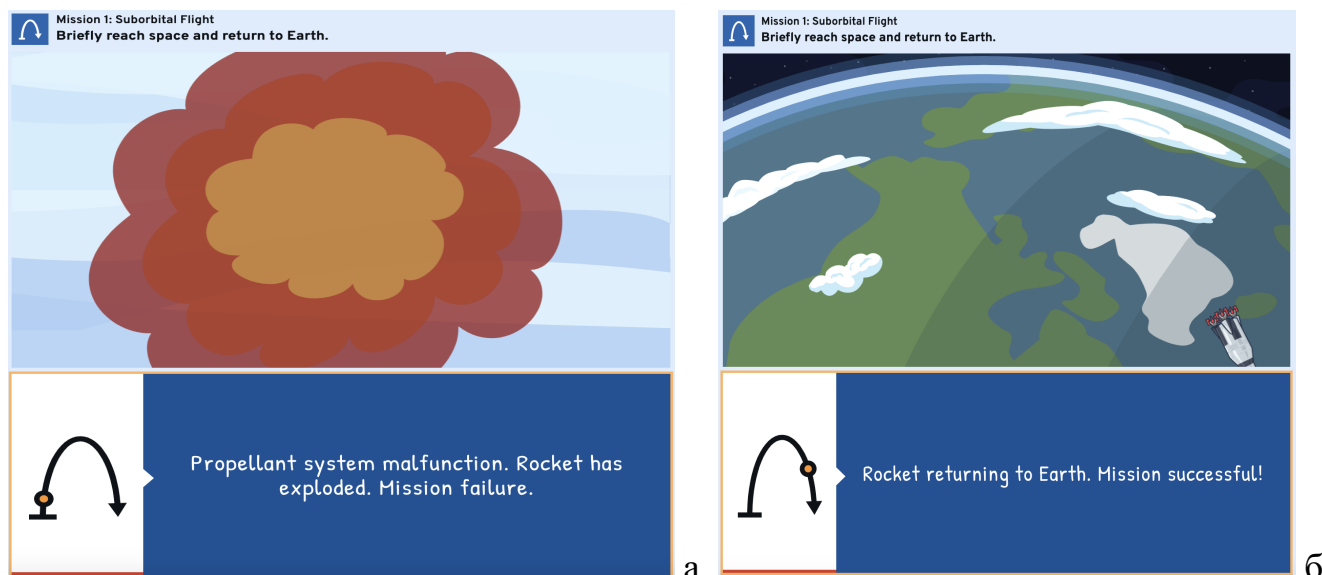


Рисунок 4.9. Повідомлення про провал(а) і успішне(б) завершення місії [132]

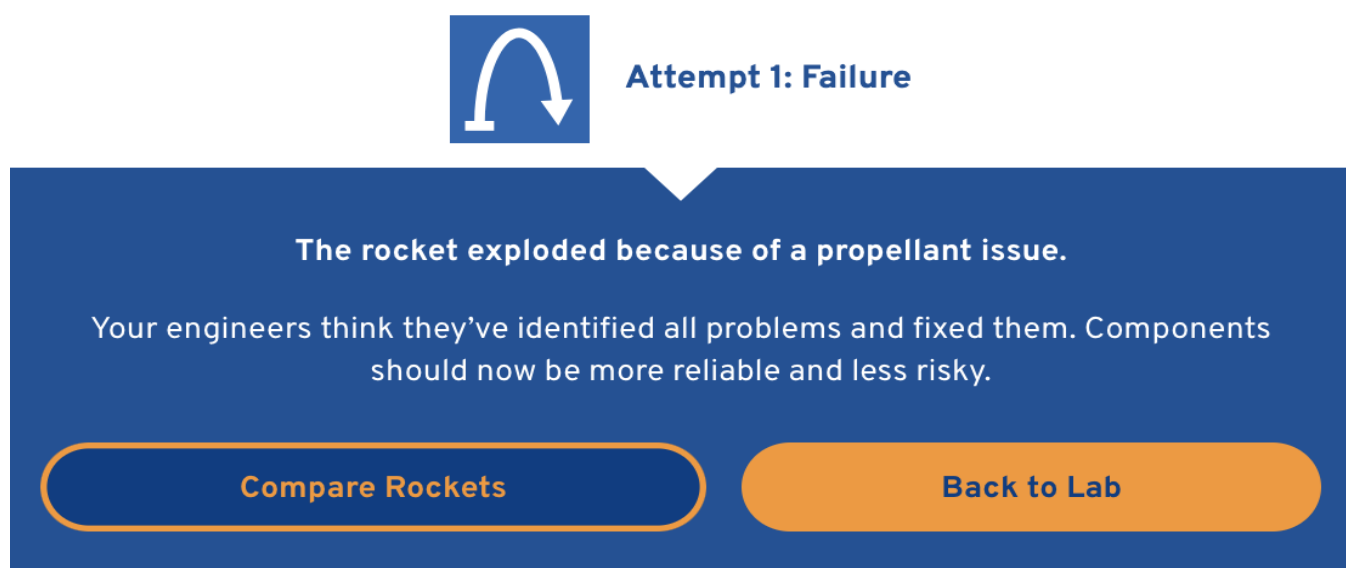


Рисунок 4.10. Опис наслідків помилки, що сталась під час польоту [132]

Якщо ракету зібрано без помилок, то гра повідомляє користувача про роботу всіх систем перед початком польоту, показує повний політ ракети і повідомляє про завершення рівня з певної спроби (рис. 4.11).

Завдання трьох рівнів Rocket Lab користувач виконав з такими результатами:

- τ_1 = 2 хвилини 46 секунд, k_1 = 2 спроби,
- τ_2 = 6 хвилин 7 секунд, k_2 = 4 спроби,
- τ_3 = 5 хвилин 34 секунди, k_3 = 4 спроби.



Рисунок 4.11. Повідомлення щодо роботи систем (а) та завершення місії з певної спроби (б) [132]

Після проходження гри, був сформований вектор, з результатами, який подався на вхід MLP (рис. 4.4). Нейронна мережа, опрацювавши результати, на вихід видала масив $[0,3526, 0,3933, 0,2541]$. Ці вихідні дані є оцінкою ймовірностей приналежності рекомендаційного висновку кожному з вихідних класів $\bar{R}(-1)$, $P(0)$, $R(1)$.

Найбільше значення нейромережа показала на виході 2 ($Y_2=0,3933$), що надає підстави для обґрунтування висновку «можливо» класу $P(0)$.

4.5. Стратегії вдосконалення роботи моделі

Висновок щодо доцільності вибору MLP, зроблений за результатами дослідження, що проведені в [125], підтверджується результатами тестування, що показано на прикладі (табл. 4.2), коли MLP надав рекомендаційний висновок, який підтвердив експерт.

Таблиця 4.2

Кумулятивні оцінки результатів гри Rocket Lab (фрагмент)

N	$v_1=v_N$	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_N+v_N	Висновок експерта
Результат фахівця							
0	1	1	3	5	7	8	Рекомендовано
Результат Користувача							
1	1	0	—	—	—	1	Не рекомендовано
2	0,5	1	3	5	7	7,5	Рекомендовано
3	0,8	1	2,3	3	4,1	4,9	Не рекомендовано
4	0,8	1	2,1	3,1	3,9	4,7	Не рекомендовано
5	0,6	1	2	3,9	5,5	6,1	Можливо
6	0,3	1	2,8	4,8	6,8	7,1	Рекомендовано
7	0,3	1	2,1	2,9	3,6	3,9	Не рекомендовано
8	0,1	1	2,5	4	5,5	5,6	Можливо
9	0,9	1	1,9	3,5	4,9	5,8	Можливо
10	1	1	2,9	4,8	6,7	7,7	Рекомендовано
11	0,7	1	2,9	4,4	6,3	7	Рекомендовано
12	0,7	1	2,6	3,9	5,8	6,5	Можливо
13	0,5	1	1,5	2,4	3,3	3,8	Не рекомендовано
14	0,5	1	3	4,8	6,6	7,1	Рекомендовано
15	0,4	1	3	4,4	6	6,4	Можливо
16	0,8	1	3	3,1	4	4,8	Не рекомендовано
17	0,4	1	2	3,3	4,6	5	Можливо
18	1	1	2	3	4	5	Не рекомендовано
19	0,2	1	2,8	4,8	6,8	7	Рекомендовано
20	0,8	1	2,8	4,5	6,1	6,9	Можливо

Проте:

- при вирішенні задачі класифікації дані масиву $[0,3526, 0,3933, 0,2541]$ близькі один до одного, що може свідчити про сумніви моделі;
- початковий інтерес до спеціальності низький, але користувач впевнено засвідчує свою готовність до навчання.

В подібних випадках висновки нейромережі може піддаватись сумнівам. Саме для аналізу таких випадків кумулятивні оцінки проміжних результатів гри (табл. 4.2), що обчислені за формулою (2.5), і висновки MLP накопичуються в PostgreSQL системи оцінювання професійних здібностей. Експертний аналіз збережених даних дозволить з'ясувати де MLP переоцінює чи недооцінює результати гри підлітка і надасть можливість для вдосконалення нейромережі, оскільки скоригований експертом висновок може додаватись до навчальної вибірки. Висновок щодо доцільності вибору MLP, зроблений за результатами дослідження, що проведені в [125], підтверджується результатами тестування, коли MLP надав рекомендаційний висновок, який підтвердив експерт.

На цьому етапі роботи статистичних даних недостатньо для повноцінного використання MLP в якості кар'єрного консультанта. Але ця нейромережа може використовуватись в тестовому режимі, в якості його помічника (рис. 4.12).

Правильні висновки MLP можуть покращити роботу консультанта, адже він може виявляти нелінійні залежності між часом, кількістю спроб і професійною придатністю. Але MLP може і помилятись, тому першочерговою задачею її вдосконалення є коригування і керування процесом тренування нейромережі.

Усунення обмеженості наповненості тренувальної вибірки різними сценаріями гри суттєво покращить результати класифікації, але потребує додаткового збору даних в школах, шляхом надання підліткам можливості виконувати завдання комп'ютерних професійно-орієнтованих ігор під наглядом експертів.

Після цього нейромережу можна інтегрувати у профорієнтаційні програми шкіл через онлайн платформу, де:

- підлітки зможуть самостійно використовувати комп'ютерні ігри для професійної самоідентифікації;

– експерти зможуть забезпечити безперервний зворотний зв'язок для вдосконалення моделі.

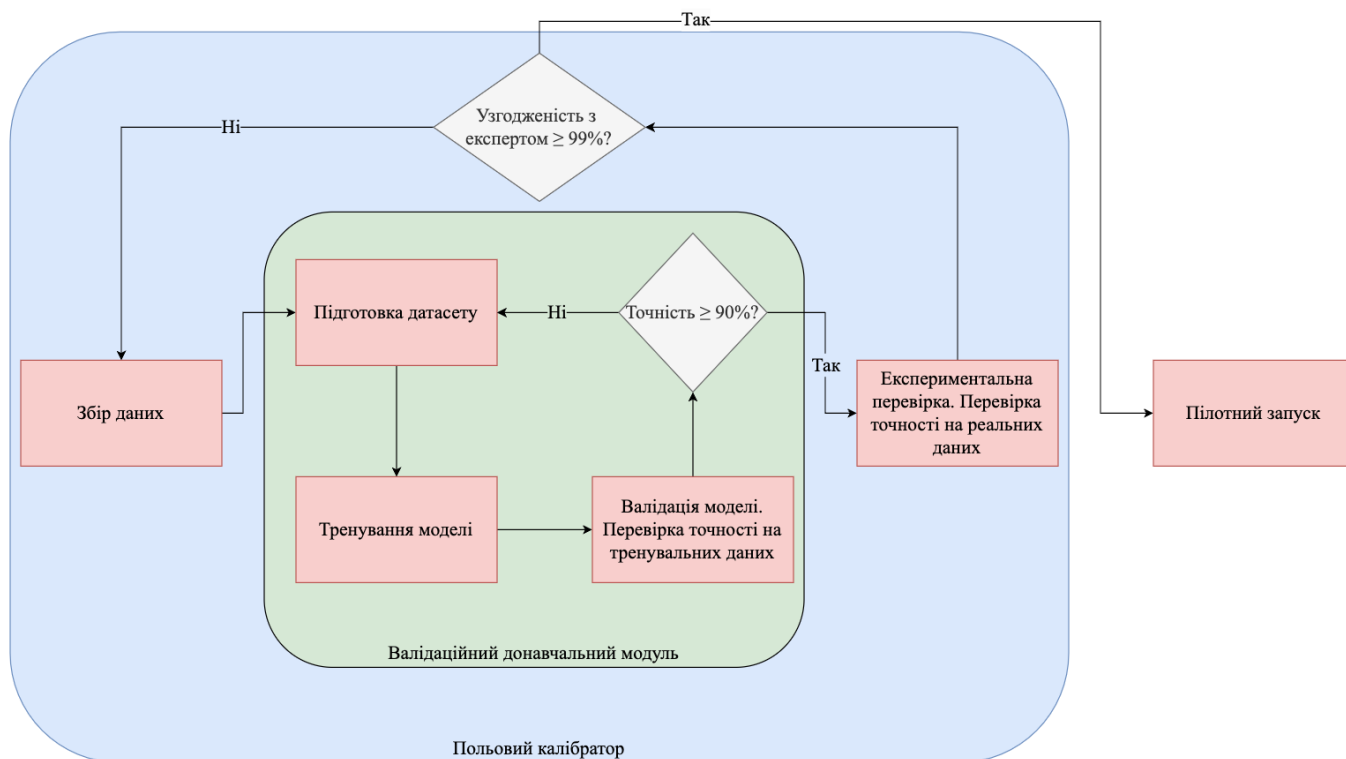


Рисунок 4.12. Впровадження нейронної мережі в процес оцінювання спеціальних здібностей підлітка

Варто зазначити, що кожна нова версія моделі має пройти попередню перевірку. При цьому на тренувальному наборі даних перевірятиметься, чи збільшений датасет не спричинив перетренування моделі, або не погіршив точність надання рекомендаційних висновків. Тільки після проходження валідаційного модулю, модель перейде на наступний етап, де працюватиме з невідомими для неї даними (рис. 4.12).

На цьому етапі роботи залучення експертів і фахівців для аналізу кумулятивних оцінок і розуміння впливу різних вхідних даних на керування тренувальним процесом можна вважати обмеженням MLP. Але донавчання нейромережі на навчальній вибірці достатнього обсягу надасть можливість забезпечити достатню для впровадження в системи профорієнтаційної підтримки підлітків надійність рекомендаційних висновків.

4.6. Управлінські вимоги

Щоб результати гейміфікованого тестування справді відображали рівень спеціальних здібностей підлітків, потрібно забезпечити належні організаційно-педагогічні умови. Правильне освітлення, ергономіка робочого місця, режими роботи та відпочинку, а також чіткі правила захисту даних і комунікації з користувачами впливають на психологічний комфорт, мотивацію й точність виконання завдань.

Усе це в сукупності визначає достовірність одержаних показників і довіру до рекомендацій, які формує система.

Під час проєктування та впровадження такої системи постають не лише технічні й організаційні завдання, а й низка складних морально-етичних питань – від конфіденційності персональних даних до правильності інтерпритації користувачем рекомендаційного висновку і якості отриманого досвіду від користування системою; основні з цих викликів детально систематизовано в табл. 4.3.

Зважаючи на те, що система оперує чутливою інформацією неповнолітніх користувачів, питання конфіденційності було винесено на рівень ключових нефункціональних вимог. Архітектурні рішення будувалися згідно з принципом *privacy by design*, сформульованим у ст. 25 GDPR: захист даних інтегрується у систему з першої ітерації проєктування, а не додається «поверх» готового продукту [133]. Паралельно застосовано концепцію *defence-in-depth* [134], коли безпеку забезпечують кілька незалежних бар'єрів, і компрометація одного контуру не відкриває шлях до даних. У результаті сформовано багатошарову модель, яка мінімізує наслідки навіть у разі часткового прориву. Зокрема реалізовано такі захисні шари:

- Шифрування «на льоту» (*in-transit*). Усі запити до AWS S3 передаються через HTTPS (TLS 1.2/1.3). Через те, що дані подорожують мережею у відкритому середовищі, без TLS їх можна перехопити або підмінити (MITM-атака) [135]. Шифрований канал гарантує конфіденційність та цілісність запитів.

- Шифрування «у спокої» (*at-rest*). SSE-S3 (AES-256) або SSE-KMS. KMS дає журнал доступу до ключів і можливість ротації. Фізичні диски або S3-об'єкти можуть стати ціллю злоумисника або бути вилучені під час сервісних робіт. Шифрування на

диску (AES-256) робить дані непридатними без ключа, а KMS додатково веде журнал, хто й коли доступався до ключа, та дозволяє його ротацію.

- Мережева ізоляція. S3 Endpoint у приватному VPC (Virtual Private Cloud), блокування публічного доступу (Block Public Access). Якщо бакет доступний напряму з Інтернету, випадкова помилка в ACL (Access control list) чи політиці здатна відкрити персональні файли всім охочим. Приватний VPC-Endpoint фізично «не випускає» трафік у публічний сегмент, а Block Public Access блокує навіть помилкові спроби створити public-ACL.

- Транспортне шифрування (SSL/TLS). Сервер видає TLS-сертифікат. Навіть коли S3 захищений, дані можуть передаватися між внутрішніми мікросервісами або до браузера користувача. Власний TLS-сертифікат на бекенд-шлюзі гарантує, що вся внутрішня та зовнішня взаємодія теж захищена шифрованим каналом, запобігаючи «прослуховуванню» локальної мережі.

- Рівень мережі. Інстанс у приватному VPC; Security Group дозволяє доступ лише з бекенд-сервісів/VPN. Відкритий порт PostgreSQL (5432) ризикує стати входом для сканерів ботнетів. Розміщення інстанса у приватній підмережі й обмеження SG лише на IP-адреси бекенд-сервісів або VPN-клієнтів відсікає більшість атак і зменшує площу потенційних вразливостей.

Бекапи та реплікація. Бекапи автоматично шифруються (KMS) у RDS; для власних серверів – шифрувати pg_dump / WAL-архіви GPG-ключем чи S3 SSE-KMS. Бекапи й WAL-архіви за замовчуванням містять повні дані користувачів. Якщо їх викрадено або втрачено на фізичному носії, зломисник здобуде весь масив інформації. Шифрування snapshot-ів у RDS або за допомогою GPG/SSE-KMS для on-prem резервних копій робить їх захищеними навіть за витоку, а реплікація в інший регіон із шифруванням забезпечує відновлення після стихійних лих чи кіберінцидентів.

Ефективність і достовірність оцінки спеціальних здібностей підлітків із застосуванням гейміфікації залежить не лише від якості ігрових завдань чи точності алгоритмів оброблення даних, а й від сукупності так званих управлінських умов –

організаційних, санітарно-гігієнічних і нормативних параметрів, у яких відбувається сама процедура.

Таблиця 4.3

Морально-етичні виклики

Етичний аспект	У чому ризик	Засоби вирішення
Автономія та право на помилку	Підліток може сприйняти рекомендацію системи як «вердикт» і обмежити власні мрії.	– Пояснювальні підказки «це лише рекомендація». – Опція «пробувати інші шляхи», консультації з живим спеціалістом.
Психологічний тиск / стигматизація	Однолітки можуть використати результати для булінгу.	– Персональні результати доступні лише дитині, батькам та експертам з профорієнтації.
Цифрова нерівність	Підлітки без швидкого інтернету або сучасного пристрою отримують гірший досвід і результати.	– Локальні сервери. – Забезпечення комп'ютерної кімнати однаковими пристроями.
Приватність і конфіденційність	Збираються персональні дані неповнолітніх; витік чи несанкціоноване використання може зашкодити репутації дитини або вплинути на її подальше навчання.	– Мінімізувати обсяг даних (Data Minimization). – Шифрування «на льоту» та «у спокої». – Письмова згода батьків; прозора політика зберігання й видалення.

Відповідність освітлення, шумових рівнів, мікроклімату та ергономіки робочих місць міжнародним стандартам безпосередньо впливає на когнітивну працездатність, увагу й швидкість реакції учнів, а отже – на об'єктивність отриманих результатів. Крім того, дотримання вимог щодо безпеки (зокрема наявності укриттів у воєнний час) і захисту здоров'я формує довіру з боку батьків та регуляторів і мінімізує етичні ризики. Саме тому перед упровадженням технологічної платформи необхідно окреслити та контролювати комплекс управлінських умов:

– Освітлення 300–500 лк. Удосконалена редакція стандарту EN 12464-1 «Lighting of Indoor Workplaces» наголошує, що рівень освітленості у приміщеннях для

навчання має гарантувати чіткість сприйняття тексту й графіки без зайвого візуального стресу; для екранної роботи з дітьми рекомендовано 300 лк як мінімум і 500 лк для завдань, що потребують підвищеної уваги [136].

- Відстань “очі – екран” 40–70 см. Методичні настанови Cornell Ergonomics уточнюють, що при відстані ближчій до 40 см у дітей підвищується навантаження на акомодацию, тоді як понад 70 см збільшується ризик нахилу корпусу; оптимальний інтервал підтримує природний кут огляду 15–20° униз та знижує втому шийного відділу [137].

- Рівень шуму в класі ≤ 35 дБ(А). Згідно з WHO Guidelines for Community Noise навіть короточасне перевищення 40 дБ(А) призводить до зниження когнітивної продуктивності та погіршення запам'ятовування матеріалу; тому під час тестування рекомендується додаткове звукопоглинальне облаштування або виділення окремих «тихих» аудиторій [138].

- Ергономічне розміщення монітора, клавіатури, стільця. Чек-лист OSHA Computer Workstations eTool радить виставляти верхній край монітора на рівні очей, кут згину колін 90–110°, а клавіатуру – так, щоб зап'ястки залишалися у нейтральній позиції; це попереджає розвиток м'язово-скелетних розладів при багаторазовому проходженні ігрових рівнів [139].

- Гідратація та когнітивна продуктивність дітей. Метааналіз PubMed показує, що навіть 1–2 % зневоднення знижує швидкість реакції та пам'ять у школярів; тому під час тестування рекомендовано забезпечити доступ до питної води та нагадування робити перерви на пиття [140].

- Температура 20–24 °C і приплив свіжого повітря ≥ 15 cfm (cubic feet per minute) на учня. Стандарти ASHRAE 62.1 фіксують, що при концентрації CO₂ нижче 1000 ppm підвищується уважність, а в діапазоні 20–24 °C підтримується оптимальний тепловий комфорт; датчики CO₂ та автоматизована вентиляція допомагають дотримуватися цих параметрів [141].

- Укриття для працівників та дітей. В умовах воєнного стану заклади освіти зобов'язані організувати безпечні укриття згідно з листом ДСНС № 03-1870/162-2 від

14.06.2022; приміщення, де проводиться тестування, має забезпечувати швидкий доступ до захищеного простору для працівників і дітей [142].

Система повинна бути інклюзивною, тобто вона мусить однаково підтримувати підлітків з різними фізичними, сенсорними й когнітивними особливостями та поважати багатоманітність гендерних ідентичностей.

Також варто врахувати можливість подальшого розширення системи на дорослу аудиторію, оскільки це відкриє ширший ринок послуг для перекваліфікації та безперервного навчання, забезпечить додаткові джерела фінансування й дозволить максимально використати уже розроблену методичну та технічну базу.

Нижче наведено ключові напрями й конкретні кроки, що утворюють єдину, цілісну програму забезпечення доступності та гендерної рівності:

1. Гендерна нейтральність інтерфейсу. Запобігає відчуженню та підтримує самоідентифікацію всіх учасників, зокрема небінарних підлітків.

- Опції «обрати аватар / займенник» або можливість узагалі приховати гендерні маркери; аватари подаються як нейтральні силуети без виразних статевих ознак.

- У текстах ігрових завдань професійні ролі подано без статевої прив'язки («фахівець/-чиня», «керівник/-иця»), а зображення демонструють різноманітність персонажів.

2. Прозорість і згода. Знижує тривогу, підвищує довіру з боку підлітків і батьків.

- Чіткий опис, які саме дані збираються, у форматі «easy-to-read» згідно з GDPR та Законом України «Про захист персональних даних».

- Опція «відмовитися без наслідків»: користувач може припинити тест у будь-який момент, а вже зібрані дані буде видалено.

- Пояснення, як персональні результати не впливають на шкільні оцінки; додатково доступне вікно «Чому я отримав такий висновок?», де алгоритм пояснює ключові фактори рішення.

3. Доступність (інклюзія для всіх категорій учасників). Усуває бар'єри для гравців із порушеннями зору, слуху, моторики, нейровідмінностей (ADHD, аутизм).

- На даному етапі розробки не підтримується в повному обсязі. Не всі розглянуті ігри підтримують стандарти для оцінювання підлітків з вадами.

4. Дорослі користувачі. Полегшує обґрунтований вибір нової професії.

- Для цієї групи варто впровадити спеціалізовані гейм-сценарії, що імітують виробничі процеси чи бізнес ситуації.

Таким чином, системне виконання наведених управлінських вимог забезпечує одночасно психофізіологічний комфорт підлітків, методичну коректність процедури оцінювання та дотримання нормативно-правових стандартів щодо безпеки й захисту даних. Реалізація цих умов є обов'язковою передумовою для отримання надійних результатів і збереження довіри всіх зацікавлених сторін.

4.7. Перспектива подальших розробок

Попри досягнуті в цій роботі результати, наразі залишається значний потенціал для подальшого розвитку запропонованої інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінки спеціальних здібностей; саме тому далі подано деталізований план майбутніх удосконалень. План, за яким розробляється система, охоплює п'ять етапів, що формують цілісну дорожню карту її еволюції. Послідовна реалізація аналітико-вимогового, архітектурно-концептуального та інженерно-реалізаційного блоків забезпечить горизонтальне масштабування сервісів і гарантовану безперервність роботи. Експериментально-оцінний етап дозволить емпірично перевірити відповідність цільовим SLA-показникам і скоригувати модель у разі виявлення відхилень, тоді як експлуатаційно-сервісний блок унормує процедури підтримки, оновлення та етичного нагляду. В результаті виконання плану система отримає необхідні властивості продуктивності, безпеки й інклюзивності, що відкриє можливості для її широкомасштабного застосування у профорієнтаційній діяльності різних освітніх закладів і закладе підґрунтя для подальших наукових досліджень у сфері штучного інтелекту в освіті.

Аналітико-вимоговий етап. На першому кроці передбачено формалізацію функціональних вимог, зокрема фіксацію максимального очікуваного навантаження (RPS, кількість паралельних сесій і середні обсяги телеметрії), визначення цільових

метрик затримки для формування рекомендацій та встановлення параметрів безперервності сервісу. Заплановано гарантувати $SLA \geq 99,5 \%$, що допускає не більше ніж 3 год 39 хв простою на місяць, а також $RTO \leq 15$ хв і $RPO \leq 5$ хв, аби відновлення після збою відбувалося швидко й без втрати даних користувача.

Архітектурно-концептуальний етап. Далі система має бути структурована з урахуванням перспектив масштабування: впроваджується балансувальник навантаження, телеметрія з фронтенду надсилається у Kafka-топік raw events, а асинхронна обробка подій мінімізує затримки користувацького інтерфейсу. Для підвищення надійності передбачено щогодинні snapshot-копії RDS та кросрегіонну реплікацію S3-сховищ, що знижує RPO до заданих величин.

Інженерно-реалізаційний етап. Реалізації сприятиме CI/CD-конвеєр на базі GitLab CI із модулем автоматичного тестування, збирання контейнерів і сканування вразливостей. Плавне масштабування забезпечуватиметься HPA, що реагує на завантаження CPU та затримку у Kafka, а зберігання даних здійснюватиметься у кластері PostgreSQL (AWS Aurora Serverless v2), здатному до автоматичного вертикального й горизонтального масштабування.

Експериментально-оцінний етап. До вводу в експлуатацію заплановано лабораторні випробування з навантажувальним тестуванням, що імітує десятки тисяч одночасних користувачів, та вимірюванням часу генерації рекомендацій. Пілотне розгортання у кількох навчальних закладах дозволить зібрати метрики точності й задоволеності, після чого результати будуть зіставлені з експертними оцінками для подальшого перетренування моделі та затвердження регламентів.

Експлуатаційно-сервісний етап. На завершальному кроці визначено процедури підтримки: регулярна ротація KMS-ключів, оновлення залежностей, щоквартальна перевірка упередженості моделі, а також поступове підключення нових навчальних закладів шляхом multi-tenant-схеми та горизонтального масштабування Kafka-кластерів. У паралельному порядку здійснюватиметься етичний моніторинг контенту з ревізією ігор на предмет стереотипів та контроль дотримання Закону України «Про захист персональних даних» під наглядом Data Protection Officer.

Висновки до розділу 4

1. Обґрунтовано вибір нейронної мережі MLP для вирішення задачі генерації рекомендаційного висновку щодо професійної діяльності. Створено навчальну вибірку, на основі якої натреновано обрану модель. Різноманітність даних, що отримані при формуванні вибірки для навчання нейромережі (табл. 4.1), може бути пояснена різними навичками підлітків, що приймали участь в експерименті, і різними стратегіями проходження ігор. Таку варіативність неможливо передбачити, тому використання MLP виправдане тим, що ця нейромережа здатна виявляти нелінійні зв'язки.

2. Запропоновано модель багатошарового перцептрона з послідовними шарами з 32 і 16 вузлів, здатного інтегруватися з існуючими 4-х рівневими професійно-орієнтованими комп'ютерними іграми. Модель може бути масштабована на будь-яку кількість рівнів у комп'ютерній грі не залучаючи великих людських ресурсів і використовуючи один інструмент.

3. Експериментальна перевірка здатності запропонованого багатошарового перцептрона формувати надійний рекомендаційний висновок показала можливість його впровадження в системи профорієнтаційної підтримки підлітків при умові його донавчання на навчальній вибірці достатнього обсягу. При цьому необхідно забезпечити безперервний експертний контроль роботи нейромережі для виправлення можливих помилок і підвищення надійності рекомендаційних висновків.

Основні наукові результати по даному розділу опубліковані у працях [125].

ВИСНОВКИ

1. На основі системного аналізу світового досвіду профорієнтаційної діяльності та існуючих методів оцінки професійних здібностей підлітка встановлено, що цей висновок в основному формується на основі результатів тестування або в профорієнтаційних центрах в режимі співбесіди з експертом, проте ці підходи мають суттєві недоліки в оптимізації коштів або точності результатів.

2. Визначено критерії оцінки професійних здібностей підлітків, які доцільно використовувати при виконанні завдань професійно-орієнтованої комп'ютерної гри. Показано, яким чином ці критерії дають змогу взаємно нівелювати аномальні значення, запобігаючи викривленню оцінки.

3. Розроблено і представлено в аналітичному вигляді математичну модель, згідно з якою рекомендаційний висновок класифікується за оцінками спеціальних здібностей і міри інтересу до професійної діяльності, що відтворюється в комп'ютерній багаторівневій професійно-орієнтованій грі. Оцінки результатів гри підлітка формується зі співвідношень параметрів взаємодії користувача і фахівця з грою. Для нормалізації даних використовуються оцінки результатів фахівця.

4. Розроблено концептуальну модель інфокомунікаційної системи і детально описано взаємодію між її компонентами з перспективою переходу до високонавантаженого розподіленого рішення. Запропоновано структуру бази даних і розглянуто додаткові вдосконалення за рахунок упровадження автоматичних засобів моніторингу продуктивності та такі інструменти як реплікація бази даних.

5. Запропоновано модель багат шарового перцептрона, здатного інтегруватися з існуючими багаторівневими комп'ютерними іграми, яка може бути масштабована на будь-яку кількість рівнів у комп'ютерній грі не залучаючи великих людських ресурсів і використовуючи один інструмент.

6. Експериментальна перевірка здатності запропонованого багат шарового перцептрона формувати надійний рекомендаційний висновок показала можливість його впровадження в системи профорієнтаційної підтримки підлітків при умові його донавчання на навчальній вибірці достатнього обсягу при умові безперервного експертного контролю роботи нейромережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 74% української молоді потребують допомоги з вибором професії: опитування від U-Report і UMIND. URL: <https://thegard.city/articles/408933/skilki-vidsotkiv-molodi-v-ukraini-potrebuyut-dopomogi-u-vibori-profesii>
2. Бородулькіна Т.О. Вплив образу професії на становлення професійної ідентичності особистості. Проблеми загальної та педагогічної психології: Збірник наукових праць Інституту психології ім. Г.С. Костюка АПН України. За ред С.Д. Максименка. Т. IX. 4.2. К., 2007. 420 с.
3. M. Poliakov, D. Mezzane, S. Terenchuk, Y. Riabchun, P. Rusnak and S. Biloshchytska, "Gamefication of Youth's Career Guidance Self-Identification," 2022 *International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022, pp. 1-6, doi: [10.1109/SIST54437.2022.9945751](https://doi.org/10.1109/SIST54437.2022.9945751)
4. M. Poliakov, S. Terenchuk "Modeling of the Intelligent Infocommunication System for the Adolescent's Special Abilities Estimation", ACeSYRI – International Workshop on Modern Experience for PhD students and Young Researchers, November 14-18, 2022, Zilina, Slovakia.
5. Sümeýra N. Tayfur, Susan Prior, Anusua Singh Roy, Linda Irvine Fitzpatrick, Kirsty Forsyth. "Adolescent psychosocial factors and participation in education and employment in young adulthood: A systematic review and meta-analyses." *Educational Research Review*, Volume 34, November 2021, 100404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100404>
6. Sawyer SM, Azzopardi PS, Wickremarathne D, Patton GC. The age of adolescence. *Lancet Child Adolesc Health*. 2018 Mar; Vol. 2(3) p. 223-228. doi: 10.1016/S2352-4642(18)30022-1. Epub 2018 Jan 30. PMID: 30169257.
7. Stages of Adolescent Development. URL: https://actforyouth.org/resources/rf/rf_stages_0504.cfm?fbclid=IwAR1UDK_t-zbr0yudNb1quEIMf3B8aVyA2fq04ArKIKdtYsxJV9wTjtEbYAs
8. Saputra, Fauzan & Uthis, Penpaktr & Suktrakul, Sunisa. (2023). Conduct problems among middle adolescents in the community settings: A concept analysis. *Belitung Nursing Journal*. Vol. 9. P. 293-301. DOI: 10.33546/bnj.2670.

9. Marquez J, Katsantonis I, Sellers R, Knies G. Life satisfaction and mental health from age 17 to 21 years in a general population sample. *Curr Psychol*. 2022 Oct 7;1-11. doi: 10.1007/s12144-022-03685-9. Epub ahead of print. PMID: 36248217; PMCID: PMC9540282.
10. Петренко О.І. (2023) "Підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців у вищих навчальних закладах." Освітній процес: сучасні тенденції, проблеми, перспективи.
11. Професійна орієнтація: суть, завдання та основні принципи. Реферат. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/sociology/30007/>
12. Schmitt, A., & Scheibe, S. Beliefs About the Malleability of Professional Skills and Abilities: Development and Validation of a Scale. *Journal of Career Assessment*, 2022, Vol. 31(3), p. 493-515. DOI: <https://doi.org/10.1177/10690727221120367>
13. Carter, H. D. Chapter III: Measurement and Prediction of Special Abilities. *Review of Educational Research*, 1947, Vol. 17(1), p. 33-52. DOI: <https://doi.org/10.3102/00346543017001033>
14. Ryan, R. M., & Deci, E. L., "Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being," *American Psychologist*, 2000, Vol. 55(1), pp. 68–78.
15. Vondracek F.W., "The construct of identity and its use in career theory and research," *Career Dev. Q.*, Vol. 41(2), 1992, pp. 130-144
16. Bassina, E., "Identification: reality or a theoretic construct?" *Dynamische Psychiatrie. Dynamic Psychiatry*. West Berlin, 1990. P. 31-48.
17. Pysarevska, S.V., Yaremko, Z.M., Tymoshuk, S.V., "Some features of professional motivation formation of young people," *Pedagogical Sciences*, 2016, Vol. 4, pp. 105–110.
18. Ginzberg, E., Ginsburg, S.W., Axelrad, S. and Herma, J. L. "Occupational choice: An approach to a general theory," New York, New York: Columbia University Press, 1951.
19. Johnson, M., "Relations between explicit and implicit self-esteem measures and self-presentation," *Personality and Individual Differences*, 95, 2016, pp. 159–161.
20. D. Liu, R. Santhanam, J. Webster, Towards meaningful engagement: A framework for design and research of gamified information systems, *MIS Quarterly*, 2017, vol. 41(4) p. 1011-1034.

21. Yu. Riabchun, T. Honcharenko, V. Honta, K. Chupryna, O. Fedusenko, Methods and Means of Evaluation and Development for Prospective Students' Spatial Awareness, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 'at, 8 11, 2019 p. 4050-4058. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijitee.k1532.0981119>

22. Call for employers to involve disadvantaged young people in recruitment. URL: <https://www.cypnow.co.uk/content/news/call-for-employers-to-involve-disadvantaged-young-people-in-recruitment>

23. Riabchun, Y., Sereda, D., Zozulia, N., & Poliakov, M. Formation of engineering competences of higher education graduate specialists in knowledge field 13 «Mechanical engineering». *Girnichi, budivelni, Dorozhni Ta meliorativni Mashini*, Kyiv, 2022, № 99, pp. 49-55, DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2022.99.0501>

24. A. Lovén, "Swedish Career Guidance," *Career and Career Guidance in the Nordic Countries*, pp. 93–107, Apr. 2020, doi: 10.1163/9789004428096_007.

25. Crawford, C. et al., "Young people's education and labour market choices aged 16/17 to 18/19," Department for Education Research Report DFE-RR182, London, 2011.

26. Career path. URL: http://proforientator.info/?page_id=100.

27. Register of test methods of Ukraine. URL: <https://vpa.org.ua/test-committee/reestr-testovih-metodik-ukrayni/>.

28. SAT (Reasoning Test SATTM) for admission to US universities (based on the booklet on preparation for the SAT test in 2008): at 2 p.m. Herald. Testing and monitoring in education, 2009. No5. P.33-38; No6. P.21-42.

29. Career guidance test battery "Magellano University". URL: <https://magellano.com.ua/method/>.

30. SAT. URL: <https://logos.fandom.com/wiki/SAT>

31. Профорієнтаційний тест. URL: <https://osvita.diia.gov.ua/prof-orientation-quiz>.

32. What Is the SAT and How to Apply for an SAT Test in 2022? URL: <https://www.mastersportal.com/articles/2973/what-is-the-sat-and-how-to-apply-for-an-sat-test-in2022.html>.

33. Yeremenko, B., Riabchun, Yu., Ploska, A., The introduction of intellectual system for evaluating professional abilities of applicants into the activities of educational

institutions, Technology audit and production reserves, № 6/2(44), 2018. P. 22–26. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.149680>

34. Complex career guidance diagnostics "Applicant". URL: http://cleverdia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=17&Itemid=112&lang=uk.

35. Urdzina-Merca I, Dislere V. "Information and communication technology-based career guidance model for young people." *Rural Environment, Education, Personality*. 2018; Vol. 11 p. 406-415. DOI: 10.22616/REEP.2018.050.

36. Claudia Crişan, Anișoara Pavelea, Oana Ghimbuluț. (2015) "A Need Assessment on Students' Career Guidance." *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Vol. 180, 5 May 2015, p. 1022-1029. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.196>.

37. Cobello S., Berganza P.P., Milli E., Zygoritsas N., "The value of establishing a community of teachers for the gamification of prosocial learning: Pedagogical, social and developmental aspects of a teachers' community space experience. " *9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games*, 2017 p. 189-192. DOI:10.1109/vsgames.2017.8056600.

38. I. Alcivar, A.G. Abad, Design and evaluation of a gamified system for ERP training, *Computers in Human Behavior*, 2016, vol. 58, p. 109-118 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.018>

39. J. Sanchez-Martin, F. Canada-Canada, M.A. Davila-Acedo, Just a game? Gamifying a general science class at university: Collaborative and competitive work implications. *Thinking Skills and Creativity*, 2017, Vol. 26 p. 51-59. doi: 10.1016/j.tsc.2017.05.003.

40. A. Khaddad, Y. Riabchun, S. Terenchuk, B. Yeremenko, Modeling of the Intelligent System of Searching Associative Images, *IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, 2019 p. 439-442. DOI: <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061398>

41. S. Terenchuk, Y. Riabchun, M. Delembovskyi "Identification of entrant's abilities on the basis of Sugeno-type fuzzy inference systems", *Aviation*, 2022. Vol. 26 Issue 3, p. 169-175. DOI: <https://doi.org/10.3846/aviation.2022.17636>

42. B. Yeremenko, Y. Riabchun, V. Ploskiy, I. Aznaurian, Daoud Mezzane, N. Kryvinska "Intelligent information technologies implementation to the process of professional self-identification", *IntelITSIS'2021: 2nd International Workshop on Intelligent Information Technologies and Systems of Information Security*, March 24–26, 2021, Khmelnytskyi, Ukraine. P. 168-177. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2853/paper16.pdf>
43. Terenchuk S., Riabchun Yu., Poltorachenko N., Poliakov M. and Levashenko V. (2022). "Information technology of adolescents' professional self-identification." *3rd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security (IntelITSIS-2022)*. P. 208-217. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3156/paper14.pdf>.
44. Wang, T.-H. (2010). "Web-based Dynamic Assessment: Taking Assessment as Teaching and Learning Strategy for Improving Students' e-Learning Effectiveness." *Computers & Education*. Vol. 54,(4) , May 2010, p. 1157-1166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.11.001>.
45. Brusilovsky, P., & Millán, E. "User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems." *The Adaptive Web*. 2007 vol. 11(1) p. 194-207.
46. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). "From Game Design Elements to Gamefulness: Defining 'Gamification'." *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*. DOI: [10.1145/2181037.2181040](https://doi.org/10.1145/2181037.2181040).
47. Aznaurian I., Pohrebniak Y., Riabchun Y., Delembovskyi M., Poltorachenko N., Panko O. (2024). "Human-Computer Testing of Students' Knowledge." *2024 IEEE Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. 2024, pp. 250-255, DOI: [10.1109/SIST61555.2024.10629260](https://doi.org/10.1109/SIST61555.2024.10629260)
48. Baptista R., Coelho A., Carvalho C. (2024). "Training and Certification of Competences through Serious Games." *Computers* 2024, vol. 13(8), p. 201. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers13080201>.
49. Michael C. Campion, Emily D. Campion, "Using Practice Employment Tests to Improve Recruitment and Personnel Selection Outcomes for Organizations and Job Seekers," *Journal of Applied Psychology*, Vol. 104, No. 9, 2019, pp. 1089-1102.
50. Antonov, Y.V., 2022. Gamification of the Educational Process: Concept Analysis. *Innovative Transformations in Modern Education: Challenges, Realities, Strategies:*

Collection of Materials from the IV All-Ukrainian Open Scientific-Practical Online Forum, Kyiv, October 27, 2022, pp. 250-252.

51. Rob van Roy, Bieke Zaman "Need-supporting gamification in education: An assessment of motivational effects over time." *Computers & Education*, 2018, Vol. 127, December 2018, p. 283-297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.08.018>

52. Horban, O., Maletska, M., 2020. Philosophical and Educational Aspects of Video Game Activity in the Context of Online Learning. *Educational Discourse*, No. 3 (30), pp. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.28925/2312-5829.2020.3.1>

53. Lyaschenko, T.O., Gryshunina, M.V., Pichkur, V.R., 2018. Gamification as One of the Innovative Forms of the Educational Process. *Management of Complex Systems Development: Collection of Scientific Papers* / Kyiv National University of Construction and Architecture; Chief Editor: Lizunov P.P. Kyiv: KNUCA, No. 35, pp. 113-123.

54. Kazaryan, S. How Gamification Has Penetrated All Areas of Our Lives. The History of the Phenomenon and Case Studies of Ukrainian Digital Products. URL: <https://telegraf.design/yak-gejmifikatsiya-pronykla-v-usi-sfery-nashogo-zhyttya/>.

55. Konstankevych, L., Radkevych, M., Lehitsky, T., 2022. Gamification as an Innovative Approach in the Educational Process. *New Pedagogical Thought*, No3, pp. 47-51.

56. Kryvonos, O.M. et al., 2022. Formation of Digital Competence in Students of Specialized Classes. *Science and Technology Today*, No. 7(7), pp. 128-141.

57. Mehed, K.M., 2020. Gamification of Learning as an Innovative Tool for Implementing the Competency-Based Approach in Higher Education Institutions. *Bulletin of the National University "Chernihiv Collegium" named after T.G. Shevchenko*, Vol. 7 (163) / National University "Chernihiv Collegium" named after T.G. Shevchenko; Chief Editor: M.O. Nosko. Chernihiv: NUC, pp. 19-22. (Series: Pedagogical Sciences).

58. Deterding, Sebastian & Dixon, Dan & Khaled, Rilla & Nacke, Lennart. (2011). From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, MindTrek 2011. Vol. 11. p. 9-15. DOI: 10.1145/2181037.2181040.

59. Y. R. Shi and J. L. Shih, "Game-Based Career Guidance Systems Design Concept," *2012 IEEE Fourth International Conference On Digital Game And Intelligent*

Toy Enhanced Learning, Takamatsu, Japan, 2012, pp. 187-191, DOI: 10.1109/DIGITEL.2012.53.

60. Putz, L. M., Doppler, V., & Stockhammer, V. Gamified workshops in career choice: Gamification to reduce the lack of personnel in the logistics sector. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3147, vol.124-134. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3147/paper13.pdf>.

61. España-Delgado, J. A. Kahoot, Quizizz, and Quizalize in the English Class and their Impact on Motivation. *HOW*, 30(1), 2023, p. 65–84. DOI: <https://doi.org/10.19183/how.30.1.641>.

62. Derya Orhan Göksün, Güliden Gürsoy, Comparing success and engagement in gamified learning experiences via Kahoot and Quizizz, *Computers & Education*, Vol. 135, 2019, p. 15-29, ISSN 0360-1315, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.02.015>.

63. Çetin, E.; Solmaz, E. Ask-Response-Play-Learn: Students' views on gamification based interactive response systems. *J. Educ.Instr. Stud. World* 2017, Vol. 7, p. 28–40.

64. Yong, A.; Rudolph, J. A review of Quizizz—A gamified student response system. *J. Appl. Learn. Teach.* 2022, Vol. 5, p. 146–155. DOI: <https://doi.org/10.37074/jalt.2022.5.1.18>.

65. Srimathi, S.; Anitha, D. A Multi Criteria Decision Making approach to integrate Gamification in Education. *J. Eng. Educ.Transform.* 2024, Vol. 37, p. 262–270. DOI: <https://doi.org/10.16920/jeet/2024/v37is2/24049>

66. Muszynska, K.; Swacha, J. Selection of student response system for gamification at the higher education level. *In Proceedings of the ICERI2019 Proceedings*, Seville, Spain, 11–13 November 2019; pp. 10449–10455. DOI: <https://doi.org/10.21125/iceri.2019.2559>

67. Tan, P.M.; Saucerman, J.J. Enhancing learning and engagement through gamification of student response systems. *In Proceedings of the 2017 ASEE Annual Conference & Exposition*, Columbus, OH, USA, 24–28 June 2017. DOI: <https://doi.org/10.18260/1-2--28276>

68. На кафедрі комп'ютерних наук та системного аналізу відбувся випуск на курсах для учнів 8-11 класів. URL: <https://knsa.chdtu.edu.ua/archives/2872>

69. Socrative - Teacher (Android). URL: <https://sd2.itd.cnr.it/index.php?r=site/scheda&id=6195>

70. Vallely, K.S.A.; Gibson, P. Effectively Engaging Students on their Devices with the use of Mentimeter. *Compass J. Learn. Teach.* 2018, Vol. 11(2). DOI: <https://doi.org/10.21100/compass.v11i2.843>

71. Mayhew, E. (2019). No Longer a Silent Partner: How Mentimeter Can Enhance Teaching and Learning Within Political Science. *Journal of Political Science Education*, Vol. 15(4), p. 546–551. DOI: <https://doi.org/10.1080/15512169.2018.1538882>

72. Swacha, Jakub & Kulpa, Artur. (2025). Gamitest: A Game-like Online Student Assessment System. *Future Internet*. Vol. 17. p. 103. DOI: 10.3390/fi17030103.

73. Holovnia, Olena & Shchur, Natalia & Sverchevska, Iryna & Bailiuk, Yelyzaveta & Pokotylo, Oleksandra. Interactive surveys during online lectures for IT students. *CTE Workshop Proceedings*. 2023, Vol. 10. p. 185-206. DOI: 10.55056/cte.556.

74. The Importance of Using Game-Based Methods in Career Guidance. URL: <https://bizgame.top/korporativnyi-blog-uk/vazhlyvist-zastosuvannya-igrovyh-metodiv-u-proforiyentacziyi/>.

75. B.M. Yeremenko, Yu. Riabchun, A.O. Pashko, Development of an intelligent system for assessing the professional abilities of applicants. *Construction, materials science, mechanical engineering*, 101, 2018 p. 215-222

76. Terenchuk, S., Riabchun, Y., Poltorachenko, N., Aznaurian, I., Levashenko, V., & Mezzane, D. Identification of entrant's abilities on the basis fuzzy inference systems. *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, vol. 3039, p. 73-81. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3039/short18.pdf>

77. Sallai, Gyula. Defining Infocommunications and Related Terms. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2012, Vol. 9. p. 5 - 15. DOI: 10.12700/APH.9.6.2012.6.1.

78. Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory. *APL Artificial Intelligence Technology Roadmap*. Laurel, MD, USA: Johns Hopkins Univ. Applied Physics Lab, 2020

79. BSN Degree – Undergraduate Bachelor of Science in Nursing Program, URL: <https://www.gmercyu.edu/academics/programs/bachelor-science-nursing-bsn>.

80. Information Systems Technology: Cybersecurity Specialization. URL: <https://www.pvcc.edu/programs/information-systems-technology-cybersecurity-specialization>.

81. Computer and Information Sciences, M.S. URL: https://catalog.cofc.edu/preview_entity.php?catoid=15&ent_oid=1411.
82. Fischer, F., Kollar, I., Stegmann, K., and C. Wecker. Toward a script theory of guidance in computer-supported collaborative learning. *Educational Psychologist*, vol. 48, 2013, № 1, pp. 56-66. DOI: <https://doi.org/10.1080/00461520.2012.748005>
83. Toward a Script Theory of Guidance in Computer-Supported Collaborative Learning. Fischer F. et. al. *Educational Psychologist*. 2013. Vol. 48, Issue 1. P. 56-66.
84. Poliakov, M., Yeremenko, B., Poltorachenko, N., & Riabchun, Y. (2025). Gamification of decision support process for adolescents' career choice. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3 (133), p. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.322428>.
85. Monolithic vs. Microservices Architecture. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/monolithic-vs-microservices-architecture/>
86. Microservices. URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>
87. What is a REST API? URL: <https://www.redhat.com/en/topics/api/what-is-a-rest-api>
88. What Is the Django Framework? The Complete Beginner's Guide. URL: <https://careerfoundry.com/en/blog/web-development/django-framework-guide/>
89. Comparison of Flask, Django, and FastAPI: Advantages, Disadvantages, and Use Cases. URL: <https://medium.com/@tubelwj/comparison-of-flask-django-and-fastapi-advantages-disadvantages-and-use-cases-63e7c692382a>
90. RabbitMQ vs SQS — What's the Difference? (Pros and Cons). URL: <https://medium.com/@kishanvir0099/rabbitmq-vs-sqs-whats-the-difference-pros-and-cons-c0823acc5e6b>
91. Drawbacks of Kafka. URL: <https://medium.com/@harsh.b26/d-of-kafka-fcb459a50ee5>
92. Kafka vs. RabbitMQ: Architecture, Performance & Use Cases. URL: <https://www.upsolver.com/blog/kafka-versus-rabbitmq-architecture-performance-use-case>
93. Advantages and Disadvantages of Kafka. URL: <https://data-flair.training/blogs/advantages-and-disadvantages-of-kafka>

94. The WebSocket API (WebSockets). URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API
95. What is a Key-Value Database? URL: <https://redis.com/nosql/key-value-databases/>
96. Redis Pub/Sub. URL: <https://redis.io/docs/interact/pubsub/>
97. AMQP 0-9-1 Model Explained. URL: <https://www.rabbitmq.com/tutorials/amqp-concepts.html>
98. What is NATS. URL: <https://docs.nats.io/nats-concepts/what-is-nats>
99. LISTEN. URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/sql-listen.html>
100. Choosing between messaging services for serverless applications. URL: <https://aws.amazon.com/blogs/compute/choosing-between-messaging-services-for-serverless-applications/>
101. Pub/Sub Service Level Agreement (SLA). URL: <https://cloud.google.com/pubsub/sla>
102. Azure Service Bus vs AWS SQS (Simple Queue Service): Which Tool is Better for Your Next Project? URL: <https://www.projectpro.io/compare/azure-service-bus-vs-aws-sqs-simple-queue-service>
103. Lists in Redis. URL: <https://redis.io/glossary/lists-in-redis/>
104. Background Tasks. URL: <https://fastapi.tiangolo.com/tutorial/background-tasks/>
105. Backends and Brokers. URL: <https://docs.celeryq.dev/en/stable/getting-started/backends-and-brokers/index.html>
106. Cloud Data Storage Deep Dive: S3, GCS, and Azure Blob Storage Compared. URL: <https://airbyte.com/data-engineering-resources/s3-gcs-and-azure-blob-storage-compared>
107. 5+ Differences: Relational Database vs Non-Relational Database. URL: <https://aloha.co/blog/relational-vs-non-relational-database-pros-cons>
108. Salunke, S.V.; Ouda, A. A Performance Benchmark for the PostgreSQL and MySQL Databases. *Future Internet* 2024, Vol. 16(10), p. 382. DOI: <https://doi.org/10.3390/fi16100382>

109. Difference between MySQL and PostgreSQL. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-mysql-and-postgresql/>
110. The Java™ Tutorials. URL: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/javaOO/enum.html>.
111. M. Poliakov, O. Stetsyk and B. Yeremenko, "Modeling of the System for the Electronic Estimation of Adolescents' Special Abilities," *2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Astana, Kazakhstan, 2024, pp. 577-582, doi: [10.1109/SIST61555.2024.10629625](https://doi.org/10.1109/SIST61555.2024.10629625).
112. Transaction Isolation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/transaction-iso.html>
113. The WebSocket API (WebSockets). URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API
114. Raptis, Theofanis & Cicconetti, Claudio & Passarella, Andrea. Efficient topic partitioning of Apache Kafka for high-reliability real-time data streaming applications. *Future Generation Computer Systems*. 2024 154. DOI: 10.1016/j.future.2023.12.028.
115. Monitoring and Alerting using Datadog. URL: <https://medium.com/globant/monitoring-and-alerting-using-datadog-7459dd9186ae>
116. Pricing. URL: <https://www.datadoghq.com/pricing/>
117. Grafana Labs. (n.d.). Grafana. URL: <https://grafana.com/>
118. OpenSearch Project. (n.d.). OpenSearch. URL: <https://opensearch.org/>
119. Redis. Redis persistence. Retrieved February 17, 2024, from <https://redis.io/docs/management/persistence/>
120. Supervised versus unsupervised learning: What's the difference? URL: <https://www.ibm.com/think/topics/supervised-vs-unsupervised-learning>
121. Machine learning 101: Supervised, unsupervised, reinforcement learning explained. URL: <https://datasciencedojo.com/blog/machine-learning-101/>
122. What are RNNs and LSTMs in Deep Learning? URL: <https://www.unite.ai/uk/what-are-rnns-and-lstms-in-deep-learning/>
123. Convolutional Neural Network - a simple explanation of CNN and its application. URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/cnn.html>

124. Tree-Based Models. URL: <https://itwiki.dev/data-science/ml-reference/ml-glossary/tree-based-models>

125. Поляков, М., & Єременко, Б. (2024). Інфо-комунікаційна система електронного оцінювання спеціальних здібностей підлітків. *Управління розвитком складних систем*, №58, с. 139–145. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.58.139-145>

126. How ReLU includes non linearity in neural network? URL: <https://medium.com/@kumaranupam2020/how-relu-includes-non-linearity-in-neural-network-b9f03fbcba9>

127. Softmax Activation Function: Everything You Need to Know. URL: <https://www.pinecone.io/learn/softmax-activation/>

128. F. MohiEldeen Alabbasy, A.S. Abohamama, Mohammed F. Alrahmawy, Compressing medical deep neural network models for edge devices using knowledge distillation, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Vol. 35, (7), 2023, p. 101616, ISSN 1319-1578, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101616>.

129. Xu, Bing & Wang, Naiyan & Chen, Tianqi & Li, Mu. (2015). Empirical Evaluation of Rectified Activations in Convolutional Network.

130. Adam Optimizer. URL: <https://www.ultralytics.com/fr/glossary/adam-optimizer>

131. Sebastian Ruder. (2017). An overview of gradient descent optimization algorithms.

132. Rocket Lab. URL: <https://howthingsfly.si.edu/activities/rocket-lab>

133. Art. 25 GDPR. Data protection by design and by default. URL: <https://gdpr-info.eu/art-25-gdpr/>

134. NIST Special Publication 800-53. Revision 5. Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-53r5.pdf>

135. Man-in-the-middle attack (MitM). URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/man-in-the-middle-attack-MitM>

136. Lighting requirements for indoor spaces: Understanding the latest changes in EN12464-1. URL: <https://www.etaplighting.com/en/blog/lighting-requirements-for-indoor-spaces-understanding-latest-changes-en12464-1>

137. Workstation Ergonomics Guidelines for Computer Use by Children. URL: <https://ergo.human.cornell.edu/cuweguideline.htm>

138. Noise. URL: <https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/noise>

139. Computer Workstations eTool. URL: <https://www.osha.gov/etools/computer-workstations/checklists/evaluation/>

140. Hydration and cognitive function in children. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17063927/>

141. ASHRAE CO2 Standards for Classrooms. URL: <https://www.co2meter.com/blogs/news/ashrae-co2-standards-classrooms>

142. Лист ДСНС від 14.06.2022 р. № 03-1870/162-2 “Про організацію укриття працівників та дітей у закладах освіти”. URL: <https://document.vobu.ua/doc/13513>

ДОДАТКИ

ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
(КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ

КОМУНАЛЬНИЙ ЗАКЛАД ПРОФЕСІЙНОЇ (ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ) ОСВІТИ
«КИЇВСЬКИЙ ПРОФЕСІЙНИЙ КОЛЕДЖ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ
ТА БУДІВЕЛЬНОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ»
(КПКАТБМ)

вул. Івана Дзюби, 15-А, м. Київ, 03680, тел. 099-670-02-73; 099-670-01-98; 099-670-01-64
E-mail: vpuavto@gmail.com, сайт: www.budmechavto.com.ua, Код ЄДРПОУ 02544454

24.05.2025 № 063/к - 149
на № _____ від _____

ДОВІДКА

про апробацію результатів дисертаційного дослідження
«Інтелектуальна інфокомунікаційна система оцінки
спеціальних здібностей підлітків»
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
Полякова Микити Олександровича

Запропонована в дисертаційній роботі база професійних ігор для оцінки професійних здібностей підлітків, які моделюють різні практичні ситуації сфери автомобільного транспорту та будівельної механізації, надають обґрунтування для оцінки рівню відповідності спеціальних (професійних) здібностей підлітків (абітурієнтів коледжів) кадровим кваліфікаційним вимогам до профіля фахівця.

Матеріали дисертаційної роботи наразі актуальні, а використання запропонованої системи надало можливість підвищити не тільки надійність рекомендацій консультантів приймальної комісії, а й усвідомити власний інтерес до набуття певної спеціальності, що безпосередньо впливає на якість і успішність подальшого навчання за вибраною спеціальністю.



В. о. директора,
кандидат педагогічних наук,
відмінник освіти України

Вікторія Вікторівна Лук'яненко



УКРАЇНА

ШЕВЧЕНКІВСЬКА РАЙОННА В МІСТІ КИЄВІ
ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
УПРАВЛІННЯ ОСВІТИ

вул. Зоологічна, 6-А, м. Київ, 04119, тел. (044) 489-02-50, тел./ факс 489-02-50
E-mail: priyom.shevrno@kyivcity.gov.ua, код ЄДРПОУ 37470086

10.06.2015 № 109/33/08-1248/1
на № _____ від _____

ДОВІДКА

про апробацію результатів дисертаційного дослідження
«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНКИ СПЕЦІАЛЬНИХ
ЗДІБНОСТЕЙ ПІДЛІТКІВ»
ПОЛЯКОВА МИКИТИ ОЛЕКСАНДРОВИЧА

Цією довідкою засвідчується направленість дисертаційного дослідження «Інтелектуальна інфокомунікаційна система оцінки спеціальних здібностей підлітків» на реалізацію завдань Концепції державної системи професійної орієнтації населення, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2008 р. № 842, щодо підвищення ефективності діяльності закладів освіти з професійної орієнтації підлітків і молоді, що навчається, та формування компетентностей для успішної самореалізації у суспільстві.

Апробація матеріалів дисертаційного дослідження підтвердила практичну можливість використання закладами загальної освіти інтелектуальної інфокомунікаційної системи оцінювання професійних здібностей підлітків, спрямованої на гейміфікацію кар'єрних стратегій, із використанням уже наявних професійно-орієнтованих комп'ютерних ігор, здатність запропонованої автором системи надавати науково-обґрунтовану підтримку рішенням (у формі рекомендаційного висновку) щодо вибору професії на основі визначення спеціальних здібностей, необхідних при виконанні майбутньої операційної діяльності.

Запропоновані автором принципи, критерії, моделі та технологія створюють сприятливі передумови для формування і практичного впровадження методики діагностики професійних здібностей підлітків за результатами виконання завдань комп'ютерної професійно-орієнтованої гри, дозволяють масштабувати кількість рівнів гри, не залучаючи надмірних людських ресурсів, що дає можливість закладам освіти адаптуватися до запитів сучасних підлітків і сприяти їх визначенню з професією за умов обмеженого офлайн-спілкування.

Наукові дослідження, виконані Поляковим М. О. у рамках дисертаційного дослідження, є актуальними, своєчасними та економічно доцільними.

Начальник

Євгенія ЯРОВА



**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗАЦІЇ І ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

«07» квітня 2025 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНКИ
СПЕЦІАЛЬНИХ ЗДІБНОСТЕЙ ПІДЛІТКІВ**

Запропонована в дисертаційній роботі Полякова М.О. інтелектуальна інфокомунікаційна система є прикладом інноваційного проекту цифрової трансформації освітнього простору, що зумовлена потребою навчальних закладів в:

- адаптації до вимог і бажань сучасних підлітків вирішувати проблеми професійного самоототожнення при обмеженому офлайн спілкуванні;
- створенні дешевих в реалізації систем оцінювання професійних здібностей підлітків, які підтримують інтерактивну та цікаву атмосферу.

Впровадження досліджених Поляковим М. О. технологій побудови архітектури інфокомунікаційних систем, нереляційних баз даних і штучних нейромереж в освітні програми спеціальностей 126 – «Інформаційні системи і технології»; 126 – «Інформаційні системи і технології. Штучний Інтелект. Когнітивні технології» 174 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» факультету автоматизації і інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури надає можливість задовольнити попит в набутті теоретичних знань і практичних навичок здобувачів освіти галузі інформаційних технологій.

Це підтверджує актуальність, вагоме теоретичне і практичне значення роботи у процесі підготовки майбутніх спеціалістів галузі.

декан факультету АІТ,
доктор технічних наук, професор



Олександр ТЕРЕНТІЄВ