

А. Є. Стрижак,  
О. С. Кузьменко,  
О. Ю. Засенко,  
І. В. Дейнека

## STEM-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОБДАРОВАНИХ УЧНІВ: МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ

**Анотація.** У статті досліджено теоретичні і практичні засади розвитку обдарованості та науково-дослідницької діяльності учнів у контексті STEM-освіти. Проведено комплексний аналіз чинників ефективності навчання, зокрема інтеграції когнітивних, технологічних і педагогічних компонентів, що сприяють формуванню системного мислення та міждисциплінарних компетентностей. Особлива увага приділена застосуванню семантичних мереж як інструменту структурованого представлення знань, що дає учням змогу систематизувати інформацію, формувати аналітичні навички і критично оцінювати дослідницькі дані. Обґрунтовано модель STEM-орієнтованої підтримки дослідницької діяльності обдарованої учнівської молоді, яка охоплює персоналізацію навчальних траєкторій, адаптацію завдань до індивідуальних особливостей та інтеграцію сучасних цифрових сервісів для наукових досліджень. Виокремлено сучасні технологічні підходи й цифрові інструменти, серед яких робототехнічні комплекти, віртуальні та доповнені лабораторії, хмарні платформи, IoT-сенсори, когнітивні сервіси та знаннєві графи, що забезпечують активну взаємодію учнів із навчальними об'єктами і стимулюють науково-дослідницьку активність. Проєктування засобів підтримки дослідницької діяльності ґрунтується на семантичних мережах для моделювання знань та дослідницьких процесів, а також на інтеграції цифрових технологій, що забезпечують автономність навчання та розвиток міждисциплінарного мислення. Запропоновані підходи сприяють підвищенню наукової компетентності учнів і формуванню інноваційного потенціалу.

**Ключові слова:** STEM-освіта, семантичні мережі, обдаровані учні, дослідницька діяльність, цифрові технології.

**Постановка проблеми.** Сучасні виклики, пов'язані зі стрімким розвитком науки і технологій, переходом до цифрової економіки та зростанням ролі інновацій у всіх сферах суспільного життя, зумовлюють потребу в підготовці молоді, здатної до наукового пошуку, критичного мислення і творчого розв'язання складних проблем. Особливої уваги набуває підтримка обдарованої учнівської молоді, яка становить

інтелектуальний потенціал країни і є стратегічним ресурсом її сталого розвитку. У цих умовах актуальності набуває розроблення та впровадження STEM-орієнтованих технологій, що забезпечують якісне середовище для розвитку дослідницьких компетентностей, інтеграції знань і залучення учнів до наукової діяльності. Попри наявність окремих методик системний підхід до проєктування засобів підтримки дослідницької діяльності в контексті STEM залишається недостатньо теоретично обґрунтованим і методично структурованим, що визначає потребу

в поглибленому науковому аналізі та створенні концептуально нових моделей.

Відповідно до вищезазначеного метою дослідження є наукове обґрунтування та проектування моделі STEM-орієнтованих засобів підтримки дослідницької діяльності обдарованої учнівської молоді, спрямованих на формування її інтелектуальних, творчих і дослідницьких компетентностей.

Об'єктом дослідження є процес організації та підтримки дослідницької діяльності обдарованих учнів у контексті STEM-орієнтованої освіти. Предметом — STEM-орієнтовані технології, інструменти й моделі проектування засобів підтримки дослідницької діяльності обдарованої молоді.

З огляду на мету дослідження окреслимо основні завдання: проаналізувати теоретичні засади розвитку обдарованості та дослідницької діяльності учнів у контексті STEM-освіти; обґрунтувати STEM-орієнтовану систему підтримки дослідницької діяльності обдарованої учнівської молоді; визначити сучасні технологічні підходи й цифрові інструменти, що сприяють підтримці науково-дослідницької активності учнівської молоді; обґрунтувати концептуальні підходи до проектування STEM-орієнтованих засобів підтримки дослідницької діяльності.

Отже, успішна реалізація поставлених завдань потребує системного звернення до теоретичних засад і наукових підходів, що розкривають закономірності розвитку обдарованості та особливості організації дослідницької діяльності в STEM-орієнтованому освітньому середовищі. Необхідним є також аналіз сучасних практик, технологічних рішень і методичних моделей, які забезпечують ефективну підтримку інтелектуального й творчого потенціалу учнівської молоді. Такий науковий фундамент створює основу для подальшого обґрунтування та розроблення оптимальних засобів підтримки дослідницької діяльності.

**Аналіз наукових досліджень.** Сучасні дослідження процесу проектування засобів підтримки дослідницької діяльності обдарованих учнів у контексті STEM-освіти демонструють інтенсивний розвиток у двох взаємопов'язаних напрямках: STEM-орієнтованої освітньої практики і створення цифрових знанневих інфраструктур, що забезпечують індивідуалізацію й інтелектуальну підтримку учня. Актуальні міжнародні

дослідження поглиблюють ці підходи, поєднуючи STEM-освіту з maker-рухом, знанневими графами, когнітивною аналітикою та цифровими платформами підтримки обдарованих учнів. Науковці М. Д. Гул, З. Айїк [1] зазначають, що STEM у роботі з обдарованими учнями ґрунтується на розвитку високорівневих компетентностей: дослідницької автономії, творчості та інженерного мислення. Дж. Х. Смедсруд, Б. Бунгум, Е. Е. Фло [2] підтверджують, що участь у STEM-орієнтованих makerspace-програмах розвиває у талановитих здобувачів освіти мотивацію до відкриттів і навички самостійного розв'язання складних технічних задач.

Результати досліджень [3; 4] доводять ефективність *віртуальних* makerspace-середовищ, що істотно розширюють доступ обдарованих дітей до інструментів проектування та експериментування. У дослідженні Г. А. Пірсон, А. К. Дюбе [5] окреслено ключовий аспект — формування самоспрямованості учнів завдяки цифровим STEM-активностям.

Зауважимо, що стрімко розвивається напрям цифрових освітніх знань.

У дослідженнях науковців Б. Чжао, Ц. Сунь, Б. Сюй та ін. [6; 7], Б. Абу-Саліх, С. Алоатаїбі [8] та К. Ку [9] обґрунтовано можливість використання «знанневого графа» (knowledge graph), що є основою адаптивних освітніх сервісів. Він важливий для обдарованої молоді, оскільки такі графи дають змогу відстежувати індивідуальну освітню траєкторію, здійснювати точну діагностику компетентностей і надавати персоналізовані дослідницькі завдання. Наукові дослідження Ю. Ван та ін. [10] демонструють можливість пояснювального прогнозування навчальної діяльності учнів на основі знанневих моделей.

Аналіз праць О. Стрижака [13; 14] та його наукової школи [16] свідчить про значний внесок українських вчених у формування методології освітніх онтологій. Важливим аспектом є обґрунтування принципів побудови *предметних та міждисциплінарних онтологічних моделей*, здатних слугувати базою для проектування когнітивних сервісів, адаптивних траєкторій навчання та цифрових інструментів підтримки дослідницької діяльності. Науковець зазначає, що саме онтологічний підхід дає змогу реалізувати цілі STEM: інтеграцію знань, міждисциплінарність і проблемно-дослідницьке мислення учнів [13; 14].

**Виклад основного матеріалу.** Розвиток обдарованої учнівської молоді у сфері STEM належить до стратегічних пріоритетів сучасної освіти. У більшості країн, які є лідерами технологічного розвитку, питання підтримки інтелектуально здібних учнів розглядається не лише як педагогічне завдання, а як інструмент формування майбутнього наукового та інженерного потенціалу. За даними OECD [15], ефективна робота з обдарованими учнями потребує спеціалізованої підготовки вчителів, що включає диференційовану педагогіку, менторство та системний супровід на шляху академічного розвитку. Обдарованим учням може надаватися комплексна підтримка, яка охоплює адаптовані освітні програми, модифікації освітнього середовища, диференційоване навчання та розвиток індивідуальних талантів у рамках інклюзивної політики. У дослідженнях, які наведені в OECD, зазначено, що поняття «обдарованість» (giftedness) охоплює широкий спектр здібностей — від загального інтелектуального потенціалу до спеціалізованих талантів у сфері STEM — і значною мірою формується під впливом культурного і соціального контексту, що визначає специфіку підходів до підтримки та розвитку обдарованих учнів. Ця проблема актуальна і для України, де системні програми підтримки обдарованих учнів з'явилися порівняно недавно і не охоплюють усього спектра STEM-напрямів.

Сучасні дослідження [1; 2; 6] засвідчують, що ефективна система підтримки обдарованих учнів має бути інтегрованою, цифрово орієнтованою та концептуально цілісною. Така система передбачає поєднання педагогічних підходів,

організаційної інфраструктури та цифрових технологій, які спільно забезпечують розвиток дослідницьких здібностей.

На основі аналізу актуальних публікацій та українських напрацювань (зокрема, праць О. Стрижака щодо онтологічних систем у STEM [13; 14]) у нашому дослідженні сформовано узагальнену модель STEM-орієнтованої підтримки обдарованої молоді (рис. 1).

Структура STEM-орієнтованої системи підтримки обдарованої учнівської молоді є інтеграцією трьох ключових компонентів: педагогічного, організаційного та цифрового. Їх взаємодія формує цілісну інфраструктуру для підтримки обдарованих учнів, забезпечуючи доступ до інструментів, середовищ і форм діяльності, необхідних для повноцінної реалізації дослідницького потенціалу.

У такому підході принципово важливою є цілісність, адже без цифрових інструментів неможливо забезпечити персоналізацію, без педагогічних стратегій — системність, а без організаційної інфраструктури — сталість та координацію.

Суттєвою інновацією STEM-орієнтованої підтримки є її здатність створювати індивідуальні дослідницькі траєкторії, які адаптуються під темп навчання, інтереси й когнітивний стиль учня. Підтвердженням цього є результати дослідження Ю. Ван та ін. [10], які доводять ефективність застосування онтологічних моделей та знанневих графів для персоналізації навчання у STEM-дисциплінах.

Цифрові технології радикально розширили можливості індивідуальної та групової дослідницької діяльності учнів. Із 2020 по 2024 рр.

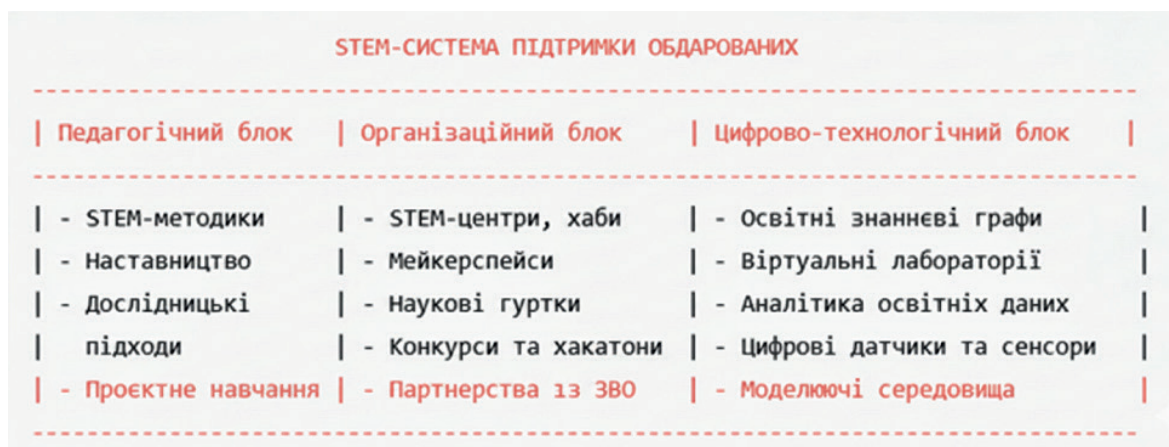


Рис. 1. Структура STEM-орієнтованої системи підтримки обдарованої учнівської молоді

кількість платформ, що забезпечують доступ до віртуальних лабораторій для здобувачів освіти, зросла більш ніж у 2,5 рази. Паралельно збільшилася кількість мейкерських просторів, а знаннєві графі стали ключовою технологією структурування навчального контенту.

Дослідження науковців С. Девіс, П. Сейтамаа-Хаккарайнен [4] підтверджує, що використання віртуальних лабораторій підвищує рівень сформованості експериментальних умінь на 30–50 %, залежно від дисципліни. Для обдарованих учнів важливим є те, що такі середовища: дають змогу працювати з великими масивами даних, моделювати складні системи; забезпечують доступ до недосяжних для шкіл ресурсів (як-от спектроскопи, симулятори мікрочастинок). Тому змінюються формати навчання й розширюються межі дослідницького пошуку.

Згідно з обґрунтуваннями, наданими в роботах Дж. Х. Смедсруд, Б. Бунгум, Е. Е. Фло [2], makerspace-середовища особливо ефективні в роботі з обдарованими учнями, оскільки забезпечують: самостійність у дослідницьких діях, розвиток інженерного мислення, можливість реалізації складних креативних проєктів, формування навичок матеріального конструювання.

Результати досліджень свідчать, що регулярна участь у makerspace-проєктах підвищує показники інженерного мислення на 35–40 %, а креативності — на 30–33 %.

Віртуальні makerspace [3] не менш результативні, оскільки додають до традиційних інструментів можливості моделювання в цифровому 3D-просторі та підтримку алгоритмічного мислення.

Розвиток освітніх знаннєвих графів, як-от EDUKG [6], спричинив появу персоніфікованих інтелектуальних систем, які: визначають рівень

готовності учня до виконання певного типу досліджень, пропонують індивідуальні освітні траєкторії, виявляють прогалини в знаннях, інтегрують навчальний контент із різних дисциплін у єдину мережу.

Окремо зауважимо, що цифрові онтології для STEM [16], які забезпечують структуроване представлення понять та їх взаємозв'язків, є важливими у роботі з учнями, здатними до абстрактного мислення. Застосування таких онтологічних моделей створює підґрунтя для більш усвідомленого занурення підлітків у дослідницьку діяльність, оскільки вони отримують не фрагментарні знання, а цілісні концептуальні структури. Це особливо важливо для обдарованих учнів, які швидко опановують абстрактні взаємозв'язки і потребують розширеного інструментарію для поглибленого аналізу навчальних явищ. У цьому контексті доцільно розглянути основні групи цифрових інструментів STEM-підтримки, здатних забезпечити індивідуалізацію їхнього інтелектуального розвитку (табл. 1).

Наведені в табл. 1 цифрові інструменти охоплюють різні напрями STEM-активності і демонструють, як технології підтримують розвиток здібних учнів у взаємодоповнювальний спосіб. Інструменти, орієнтовані на експеримент і вимірювання, формують уміння працювати з даними і будувати причинно-наслідкові висновки, тоді як середовища типу makerspace стимулюють технічну творчість, інженерне проєктування та практичне застосування знань. Знаннєві графі і Learning Analytics виконують іншу, не менш важливу функцію — вони забезпечують аналітичну, адаптивну та персоналізовану підтримку навчання, даючи учням змогу рухатися за індивідуальними траєкторіями. Разом ці інструменти формують цілісну цифрову інфраструктуру,

Таблиця 1

Основні групи цифрових інструментів STEM-підтримки обдарованих учнів

Група інструментів	Можливості	Освітній ефект
Віртуальні лабораторії	Моделювання, симуляції, робота з даними	Підвищення експериментальних умінь
Makerspace	Інженерне конструювання, робототехніка	Розвиток проєктно-технічних навичок
Знаннєві графі	Персоналізація навчання, аналітика знань	Розвиток системного мислення
Вимірювальні цифрові комплекти	Практичні вимірювання, цифрові експерименти	Формування дослідницьких умінь
Learning Analytics	Моніторинг навчальної діяльності	Персоналізація освітнього середовища

в якій обдаровані здобувачі освіти можуть послідовно розвивати дослідницькі, технічні та аналітичні компетентності.

Аналітика даних дає змогу: визначати рівень освітнього прогресу, прогнозувати інтелектуальний розвиток, адаптувати навчальні завдання, формувати автоматизовані рекомендації.

Європейські дослідження ([https://school-education.ec.europa.eu/en/discover/viewpoints/survey-high-achievers?utm\\_source=chatgpt.com](https://school-education.ec.europa.eu/en/discover/viewpoints/survey-high-achievers?utm_source=chatgpt.com)) демонструють, що використання навчальної аналітики підвищує результативність участі обдарованих учнів у STEM-проєктах у середньому на 12–18 %.

Проектування інноваційних засобів має спиратися на комплекс концепцій, що враховують як особливості розвитку обдарованості, так і специфіку STEM-галузей.

Діяльнісний та когнітивний підходи передбачають: акцент на формуванні способів мислення, а не лише знань; виконання учнями повного циклу дослідження; розвиток рефлексивної та аналітичної культури.

Застосування діяльнісних підходів у STEM-просторах підтверджено результатами наукових досліджень Г. А. Пірсон, А. К. Дюбе [5], де учні показали зростання рівня саморегуляції та здатності до автономного планування дослідження.

Проектно-інженерний підхід ґрунтується на реальних інженерних завданнях та залученні учнів до: довготривалих науково-дослідницьких проєктів; конкурсів, хакатонів, турнірів; практико-орієнтованого конструювання.

Упровадження персоналізованого супроводу дає змогу використовувати індивідуальні освітні карти, адаптивне навчання, цифрові профілі обдарованості. Для того щоб персоніфікований розвиток обдарованих учнів був справді ефективним, у STEM-освіті застосовують низку когнітивних моделей, серед яких:

1. Модель поширення активацій — вузли концептів пов'язані асоціативними зв'язками, активація одного поняття збуджує сусідні.

2. Модель ЕЛІНОР — зберігає знання у вигляді понять, подій та епізодів, що об'єднані пропозиційними зв'язками (is a, has, then, at the moment, time).

3. Семантична мережа — орієнтований граф, вершини якого відповідають об'єктам предметної області, ребра визначають відносини між ними.

З огляду на різну природу цих когнітивних моделей та специфіку їх застосування в освітньому процесі, доцільним є порівняння їхніх ключових характеристик і потенціалу для розвитку дослідницьких умінь учнів, що узагальнено в табл. 2.

Отже, різні семантичні моделі знань забезпечують комплексну підтримку дослідницької діяльності учнів, поєднуючи розвиток логічного й асоціативного мислення з можливістю організовувати та візуалізувати інформацію. Вони сприяють формуванню навичок планування експериментів та системного підходу до роботи з даними на основі STEM-технологій. Застосування цих моделей у навчанні дає учням змогу ефективніше вибудовувати власні дослідницькі траєкторії і глибше опановувати навчальний матеріал.

Отже, на основі проведеного аналізу та апробації STEM-орієнтованих підходів визначено:

- система підтримки обдарованих учнів має інтегрувати три рівні діяльності — пропедевтично-формульальний, навчально-розвивальний та контролююче-продовгований;
- використання сучасних цифрових інструментів (makerspace, knowledge graph, моделювання та візуалізація даних) підвищує ефективність формування дослідницьких умінь;
- концептуальні і семантичні моделі знань забезпечують когнітивну підтримку, стимулюють розвиток критичного мислення та саморегуляцію дослідницької діяльності;

Таблиця 2

Порівняння семантичних моделей знань

Модель	Основний принцип	Переваги для дослідницької діяльності
Поширення активацій	Асоціативні зв'язки між поняттями	Стимулює логічне та асоціативне мислення
ЕЛІНОР	Знання як пропозиції: поняття, події, епізоди	Зберігає часові та логічні зв'язки, допомагає планувати дослід
Семантична мережа	Графова структура знань	Візуалізація відносин, систематизація знань

- матеріальні та ідеальні засоби взаємодіють, створюючи умови для комплексного розвитку інтелектуального і творчого потенціалу учнів.

Відповідно, реалізація STEM-орієнтованої системи підтримки обдарованої учнівської молоді є ефективною стратегією розвитку науково-дослідницьких компетентностей у сучасному освітньому середовищі. Одним із ключових аспектів такої системи є ефективна організація та візуалізація знань, що дає учням змогу усвідомлено будувати власні дослідницькі траєкторії і глибше опановувати матеріал. У цьому контексті особливо цінними стають семантичні мережі як інструмент структурованого представлення знань у вигляді взаємопов'язаних концептів, що складаються з вузлів та дуг, які встановлюють зв'язки між вузлами. У контексті STEM-освіти вузли мережі відповідають ключовим концептам природничих, математичних або інженерних дисциплін, а дуги відображають різноманітні типи відносин між цими концептами: причинно-наслідкові, частково-цілісні, часові чи функціональні.

Ключовою перевагою семантичних мереж є здатність інтегрувати знання з різних дисциплін у єдину когнітивну модель. Наприклад, у проєкті з фізики вузли можуть відображати об'єкти, змінні та процеси (учень, датчик, швидкість тіла, сила), а дуги — дії та відносини між ними (вимірює, взаємодіє, спричиняє). Таке графічне подання сприяє розвитку аналітичного і системного мислення, що є критично важливим для обдарованих учнів у STEM-середовищі.

Ключовим принципом семантичних мереж є те, що набір можливих типів відносин не задається універсально — він визначається конструктором моделі залежно від цілей навчального чи дослідницького проєкту. У природничих науках, техніці, інженерії або робототехніці кількість можливих зв'язків між поняттями практично невичерпна. Із цієї причини семантична мережа формує не статичну таблицю термінів, а динамічну інтелектуальну структуру, де предикати описують як прості, так і комплексні відношення між об'єктами.

Для STEM-систем значущими є кілька типів базових зв'язків. Одним із них є класова ієрархія, яку описує тип відношення «належності» (аналог зв'язку ISA). Він визначає, що конкретний об'єкт є екземпляром певного класу, а отже,

автоматично отримує його суттєві властивості. У навчальних дослідницьких проєктах це дає змогу, наприклад, моделювати структуру технічних пристроїв або біологічних систем, де кожний елемент вписаний у ширшу ієрархію понять. Ще один важливий різновид зв'язку — ієрархія підмножин (АКО). У моделі це уможливорює опис ситуації типу «вид є частиною роду» або «різновид належить до ширшої категорії». Для учнів це критично в контексті розвитку здатності аналізувати рівні узагальнення, розрізняти приватні і загальні властивості, будувати логічні ланцюжки «поняття — група — система».

Для STEM-проєктів надзвичайно корисним є й опис структурних зв'язків, коли один об'єкт складається з кількох компонентів. Тому застосовується відношення «має частину», яке дає змогу формувати цілісну картину складних технічних систем. Учень може представити, наприклад, робототехнічний комплекс як модель, у якій датчики, приводи, контролери та програмні модулі не просто названі, а логічно пов'язані між собою. Окрім цього, семантичні мережі можуть охоплювати: функціональні зв'язки («виконує функцію», «спричиняє дію»); кількісні зв'язки («перевищує», «дорівнює»); просторові зв'язки («розташований поруч», «розміщений вище»); часові зв'язки («передую», «відбувається одночасно»); атрибутивні зв'язки («характеризується параметром», «містить властивість»).

Такі типи відносин є основою для побудови когнітивних моделей у STEM-орієнтованих системах, оскільки дають змогу створювати багатовимірне представлення об'єктів і явищ. Учні не лише фіксують факти, а й опановують уміння аналізувати, порівнювати, оцінювати причинні залежності та прогнозувати результати.

У сучасних цифрових платформах для роботи із семантичними мережами широко використовуються стандартизовані формати (RDF, OWL та XML). Вони забезпечують можливість зберігання знань у структурованому вигляді та подальшого опрацювання даних за допомогою запитів SPARQL або правил у форматі RIF. Для STEM-освіти ці технології відкривають можливість створення адаптивних інтелектуальних середовищ, в яких учні будують власні моделі, досліджують зв'язки між науковими поняттями й автоматизують частину аналітичних операцій.

Хоча концепція семантичної мережі, запропонована світовими стандартами, є масштабною

і в повному обсязі реалізується поступово, її локальне застосування у шкільних STEM-платформах уже сьогодні забезпечує високий рівень підтримки дослідницької діяльності. Завдяки можливості інтегрувати дані з різних джерел, структурувати міждисциплінарні поняття і виконувати логічний аналіз знань, семантичні мережі формують фундамент для створення сучасних цифрових інструментів навчальних досліджень.

Семантичні мережі є ефективним механізмом проектування STEM-орієнтованої системи підтримки обдарованих учнів. Вони дають змогу відобразити складність реальних наукових об'єктів, структурувати знання за логічними правилами та забезпечити учням можливість будувати власні моделі у процесі дослідження. Це сприяє розвитку системного мислення, технологічної грамотності й дослідницьких компетентностей, що є ключовими для сучасної STEM-освіти.

Отже, семантичні мережі дають змогу не лише структурувати знання, а й виконувати логічний аналіз дослідницьких процесів. Кожен вузол мережі можна формально представити як елемент предметної множини, а дугу — як предикат, що встановлює зв'язок між елементами. Такий підхід поєднує математичну строгість із наочністю, що особливо важливо під час моделювання складних явищ у науках про природу або інженерних дисциплінах.

Реляційні графи, як найпростіший тип семантичних мереж, широко застосовуються у навчальних системах для ілюстрації взаємодій між елементами STEM-проектів. Наприклад, у моделюванні експерименту «Вимірювання швидкості руху тіла» вузли графа можуть відповідати поняттям «учень», «тіло», «датчик», «швидкість», а дуги визначають відносини «виконує», «вимірює», «за допомогою». Така візуалізація допомагає учням зрозуміти логіку експерименту, прогнозувати результати та аналізувати взаємозв'язки між змінними.

Семантичні мережі дають можливість створювати багаторівневі структури знань, інтегруючи інформацію з різних галузей STEM. Це сприяє розвитку трансдисциплінарного мислення, стимулює наукове пізнання і підтримує дослідницьку активність учнів. Семантичні мережі стають інструментом, що дає змогу формувати когнітивні і практичні компетентності, необхідні для реалізації проектів у STEM-середовищі.

Важливим елементом STEM-орієнтованої системи підтримки дослідницької діяльності є можливість моделювання структури знань учнів за допомогою семантичних мереж. Аби продемонструвати практичний потенціал цього методу, розглянемо приклад семантичної мережі, побудованої в межах учнівського STEM-проекту з аналізу енергоефективності «розумного будинку» (рис. 2).

У ході роботи учні ставили за мету визначити, які технічні підсистеми, сенсори та елементи автоматизації найбільше впливають на загальне енергоспоживання будівлі. Для цього на етапі моделювання було сформовано перелік ключових понять предметної області: «розумний будинок», «система освітлення», «система опалення», «система керування», «датчики», «виконавчі пристрої», «теплова енергія», «електрична енергія», «енергоспоживання», «оптимізація» тощо. Кожне із цих понять розглядалося як окремий вузол семантичної мережі.

Між вузлами були встановлені різні типи відносин. Насамперед застосовано зв'язки типу HasPart, що дало змогу структурувати об'єкт дослідження за принципом «ціле — частина». Так, «розумний будинок» було пов'язано з підсистемами освітлення, опалення та системою керування. Кожна з цих підсистем, своєю чергою, містила власні компоненти: в системі освітлення — *LED-лампи* та *датчики освітленості*; в системі опалення — *тепловий насос* і *термодатчик*.

Отже, побудована учнями семантична мережа стала не лише зручним інструментом візуалізації досліджуваного об'єкта, а й ефективним засобом організації їхньої проектно-діяльності. Вона дала змогу: системно описати технічні компоненти «розумного будинку»; проаналізувати взаємозв'язки між сенсорами, виконавчими пристроями і підсистемами керування; сформулювати логічну модель впливу окремих факторів на енергоспоживання; підтримати процес формування дослідницьких навичок, як-от аналіз, порівняння, узагальнення та побудова причинно-наслідкових зв'язків.

Використання семантичних мереж у STEM-проектах демонструє високу ефективність цього методу для структурування знань, побудови міждисциплінарних моделей і розвитку системного мислення обдарованих учнів. Такий інструмент є перспективним компонентом сучасних STEM-орієнтованих освітніх платформ, здатним



Рис. 2. Семантична мережа для проекту «Розумний будинок»

значно підвищити рівень автономності й усвідомленості учнів у процесі наукових досліджень.

У STEM-орієнтованій освіті цифрові інструменти вже не виконують роль суто допоміжних засобів — вони стають системоутворюючим елементом усієї дослідницької діяльності. Завдяки поєднанню обчислювальних можливостей, сенсорних технологій, інтелектуальних алгоритмів і хмарних сервісів здобувачі освіти отримують доступ до повного циклу наукового дослідження: від формування проблеми і висунення гіпотез до збору даних, аналітики, моделювання та представлення результатів. Така трансформація зближує учнівські проекти з професійними науковими практиками і значно розширює спектр дослідницьких компетентностей.

Одним із ключових сучасних технологічних рішень є цифрові лабораторії та сенсорні системи, що дають змогу здійснювати експериментальні вимірювання з високою точністю в реальному часі. Комплекти типу Pasco, Arduino, Micro:bit, а також мобільні сенсорні модулі

забезпечують можливість фіксації широкого спектра параметрів: температури, освітленості, вологості, прискорення, електропровідності, магнітного поля та багатьох ін. Дані автоматично збираються й передаються до програмних середовищ, де можуть бути опрацьовані за допомогою статистичних, графічних і математичних інструментів. Залучення таких комплексів підвищує рівень експериментальної культури учнів, формує навички роботи з даними, розвиває вміння планувати експеримент і критично оцінювати його результати. Отже, цифрові датчики не лише розширюють зміст експериментальної діяльності, а й створюють основу для формування компетентностей у сфері цифрової науки (data science).

Важливою складовою сучасного STEM-навчання є робототехнічні та автоматизаційні комплекси. Використання наборів на кшталт LEGO Education, VEX Robotics, Arduino Robotics Kit або Fischertechnik дає учням можливість будувати, програмувати й тестувати механізми різної складності. Інтеграція механіки, електроніки

та алгоритмічного мислення створює умови для глибокого розуміння принципів роботи кіберфізичних систем і формує навички інженерного проєктування. Робототехніка сприяє розвитку здатності працювати з абстракціями, оптимізувати керуючі алгоритми, проводити експериментальну перевірку моделей, а також формує вміння працювати в команді, що є важливою компетентністю для майбутніх фахівців технічних галузей.

Не менш значущими стають віртуальні і хмарні лабораторії, які відкривають доступ до експериментів, недосяжних у шкільних умовах через складність обладнання або підвищені ризики. Платформи PhET Interactive Simulations, LabXchange, Go-Lab, ChemCollective пропонують інтерактивні моделі фізичних, хімічних, біологічних та інженерних процесів. Завдяки цьому учні можуть багаторазово повторювати експерименти, змінювати умови, перевіряти гіпотези і спостерігати наслідки в безпечному цифровому середовищі. Хмарні лабораторії також сприяють розвитку навичок самостійного планування дослідження, аналізу параметрів моделі та інтерпретації результатів.

Дедалі більшого поширення набувають інструменти моделювання і візуалізації — вони дають змогу переходити від емпіричного експерименту до теоретичного узагальнення. Платформи Tinkercad, GeoGebra, Matlab Simulink, Algodoо і середовища для 3D-візуалізації створюють умови для побудови моделей технічних об'єктів, математичних залежностей, цифрових прототипів та віртуальних конструкцій. Використання цих інструментів сприяє розвитку просторового мислення, навичок аналітичного прогнозування та вміння переносити результати моделювання в реальні системи.

Особливої уваги заслуговує швидке впровадження технологій ШІ у дослідницьку діяльність учнів. Інтелектуальні системи можуть виконувати функції аналітичних помічників: виявляти закономірності у великих масивах даних, здійснювати класифікацію явищ, оптимізувати параметри моделей, пропонувати варіанти гіпотез або візуально інтерпретувати результати. Застосування ШІ не лише підвищує рівень дослідницької роботи, а й формує у школярів розуміння сучасних технологічних тенденцій, які визначають розвиток науки та економіки.

Одним із найдинамічніших напрямів залишається інтернет речей (IoT), який інтегрує

сенсори, мікроконтролери та хмарні сервіси в єдині кіберфізичні системи. На базі IoT учні створюють моделі «розумного будинку», системи енергомоніторингу, автоматизовані теплиці, екологічні станції або пристрої для спостереження за параметрами довкілля. Такі проєкти поєднують вимірювання, аналіз, автоматичне управління й візуалізацію даних, створюючи максимально наближені до реальних інженерних систем умови. Участь у таких розробках сприяє формуванню комплексного технічного мислення та навичок роботи з багатокомпонентними системами.

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що сучасні цифрові інструменти не лише підсилюють дослідницьку діяльність учнів, а й стають ключовим чинником розвитку STEM-компетентностей. Вони забезпечують інтеграцію теоретичних знань, практичного експерименту, математичного моделювання й інтелектуальної аналітики, що створює основу для високотехнологічної освіти та формує нову культуру наукового мислення учнівської молоді.

**Висновки та перспективи наукових досліджень.** Дослідження теоретичних основ розвитку обдарованості та науково-дослідницької активності учнів у рамках STEM-освіти свідчить, що ефективність навчання значною мірою визначається синтезом когнітивних, технологічних і педагогічних складових. Семантичні мережі виступають як інструмент організації знань у структурованому вигляді, що сприяє формуванню системного мислення, виявленню міждисциплінарних зв'язків і розвитку навичок критичного мислення у здобувачів освіти.

STEM-орієнтована система підтримки дослідницької діяльності обдарованих учнів передбачає моделювання індивідуальних навчальних траєкторій, адаптацію завдань під рівень підготовки та інтеграцію сучасних цифрових ресурсів. Сучасні технології, як-от робототехнічні комплекти, віртуальні й доповнені лабораторії, хмарні платформи, IoT-сенсори, а також когнітивні сервіси та знанневі графи, забезпечують активну взаємодію учнів із навчальними об'єктами, стимулюють дослідницьку активність і дають змогу аналізувати результати досліджень.

Проєктування STEM-орієнтованих засобів підтримки дослідницької діяльності ґрунтується

на застосуванні семантичних мереж для моделювання знань, відображенні структури наукових процесів та інтеграції цифрових інструментів, що забезпечують автономність навчання та міждисциплінарний підхід. Отже, поєднання семантичних мереж із сучасними технологічними ресурсами створює ефективну систему розвитку обдарованих учнів, сприяє підвищенню їхньої наукової компетентності та підготовці до інноваційної діяльності.

Подальші наукові дослідження спрямовані на розроблення інтегрованих цифрових ЕСО-систем для STEM-освіти, моделі інтелектуальної підтримки учнівських досліджень, оцінювання ефективності використання AI- та IoT-інструментів, а також створення адаптивних методик формування дослідницьких компетентностей у різних вікових групах.

#### Список використаних джерел

- Gul M. D., Ayık Z. Comprehensive Science Mapping of STEM Studies in Gifted Education. *Journal of Turkish Science Education*. 2024. Vol. 21. Issue 1. Pp. 153–174. DOI: <https://doi.org/10.36681/tused.2024.009>.
- Smedsrud J. H., Bungum B., Flo E. E. Gifted students' experiences with participation in enrichment programs at talent centers in Norway. *Scandinavian Journal of Educational Research*. 2025. Vol. 69. Issue 5. Pp. 1080–1096. DOI: <https://doi.org/10.1080/00313831.2024.2394388>.
- Self-Determined Learning in a Virtual Makerspace: a pathway to improving spatial reasoning for upper primary students / S. Fowler et al. *International Journal of Technology and Design Education*. 2024. Vol. 34. Pp. 563–584. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09840-y>.
- Davies S., Seitamaa-Hakkarainen P. Research on K-12 maker education in the early 2020s — a systematic literature review. *Int J Technol Des Educ*. 2025. Vol. 35. Pp. 763–788. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09921-6>.
- Pearson H. A., Dubé A. K. Developing maker activities to enhance adolescents' self-directed learning: A systematic review. *International Journal of Child-Computer Interaction*. 2025. Vol. 44. 100739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2025.100739>.
- EDUKG: A Heterogeneous Sustainable K-12 Educational Knowledge Graph / B. Zhao et al. arXiv:2210.12228. 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2210.12228v1> (дата звернення: 09.12.2025).
- Teaching Knowledge Graph for Knowledge Graphs Education / E. Ilkou et al. URL: <https://www.semantic-web-journal.net/system/files/swj3788.pdf> (дата звернення: 09.12.2025).
- Abu-Salih B., Alotaibi S. A Systematic Literature Review of Knowledge Graph Construction Methodologies and Applications in Education. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. Issue 3. e25383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25383>.
- A Survey of Knowledge Graph Approaches and Applications in Education / K. Qu et al. *Electronics*. 2024. Vol. 13. 2537. URL: <https://ru.scribd.com/document/900653602/A-Survey-of-Knowledge-Graph-Approaches-and-Applications> (дата звернення: 08.12.2025).
- Knowledge ontology enhanced model for explainable knowledge tracing / Y. Wang et al. *Journal of King Saud University — Computer and Information Sciences*. 2024. Vol. 36. Issue 5. 102065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.102065>.
- Şahin E., Sarı U., Şen Ö. F. STEM Professional Development Program for Gifted Education Teachers: STEM Lesson Plan Design Competence, Self-Efficacy, Computational Thinking and Entrepreneurial Skills. *Thinking Skills and Creativity*. 2024. Vol. 51. 101439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101439>.
- Johnson-Leslie N. A., Hays A., Marsh R. S. Science Instruction for Students Identified as Gifted and Talented: The Efficacy of Makerspace in This Digital Age. 2023. *Teacher Education Faculty Publications*. URL: <https://arch.astate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=ebs-tedu-facpub> (дата звернення: 08.12.2025).
- Nadutenko M., Prykhodniuk V., Shyrokov V., Stryzhak O. Ontology-Driven Lexicographic Systems. K. Arai (Ed.). *Advances in Information and Communication. FICC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 438. Cham : Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98012-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98012-2_16).
- Ivanytska N. A., Stryzhak O. Y. Role of ontology in the system of formation of educational and cognitive competences on physics of secondary school pupils. *ITLT*. 2014. Vol. 39. Issue 1. Pp. 160–169. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v39i1.975>.
- Rutigliano A., Quarshie N. Policy Approaches and Initiatives for the Inclusion of Gifted Students in OECD Countries. *OECD Education Working Papers*. 2021. № 262. URL: [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/12/policy-approaches-and-initiatives-for-the-inclusion-of-gifted-students-in-oecd-countries\\_2e86bfc7/c3f9ed87-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/12/policy-approaches-and-initiatives-for-the-inclusion-of-gifted-students-in-oecd-countries_2e86bfc7/c3f9ed87-en.pdf) (дата звернення: 09.12.2025).
- Shapovalov V. B., Shapovalov Ye. B. Mathematical Interpretation and Digital Ontologies for Educational Studies. *CEUR Workshop Proceedings*. 2025. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Mathematical-interpretation-and-digital-ontologies-Shapovalov-Shapovalov/c58ab9fd3bd3606e6994f9777f260ba6bb052d8f> (дата звернення: 07.12.2025).

## References

- Gul, M. D., & Ayık, Z. (2024). Comprehensive Science Mapping of STEM Studies in Gifted Education. *Journal of Turkish Science Education*, 21 (1), 153–174. DOI: <https://doi.org/10.36681/tused.2024.009>.
- Smedsrud, J. H., Bungum, B., & Flo, E. E. (2025). Gifted students' experiences with participation in enrichment programs at talent centers in Norway. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 69 (5), 1080–1096. DOI: <https://doi.org/10.1080/00313831.2024.2394388>.
- Fowler, S., Kennedy, J. P., Cutting, C., Gabriel, F., & Leonard, S. N. (2024). Self-Determined Learning in a Virtual Makerspace a pathway to improving spatial reasoning for upper primary students. *International Journal of Technology and Design Education*, 34, 563–584. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09840-y>.
- Davies, S., & Seitamaa-Hakkarainen, P. Research on K-12 maker education in the early 2020s — a systematic literature review. *Int J Technol Des Educ*, 2025. 35, 763–788. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09921-6>.
- Pearson, H. A., & Dubé, A. K. (2025). Developing maker activities to enhance adolescents' self-directed learning: A systematic review. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 44, 100739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2025.100739>.
- Zhao, B., Sun, J., Xu, B., Lu, X., Li, Yu., Yu, J. et al. (2022). EDUKG: A Heterogeneous Sustainable K-12 Educational Knowledge Graph. arXiv:2210.12228. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2210.12228v1>
- Ilkou, E., Abu-Rasheed, H., Chaves-Fraga, D., Engelbrecht, E., Jiménez-Ruiz, E. & Labra-Gayo, J. E. (2024). Teaching Knowledge Graph for Knowledge Graphs Education. Retrieved from <https://www.semantic-web-journal.net/system/files/swj3788.pdf>
- Abu-Salih B., & Alotaibi, S. (2024). A Systematic Literature Review of Knowledge Graph Construction Methodologies and Applications in Education. *Heliyon*, 10 (3), e25383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25383>.
- Qu, K., Li, K. Ch., Wong, B. T. M., Wu, M. M. F., & Liu, M. (2024). A Survey of Knowledge Graph Approaches and Applications in Education. *Electronics*, 13, 2537. Retrieved from <https://ru.scribd.com/document/900653602/A-Survey-of-Knowledge-Graph-Approaches-and-Applications>
- Wang, Ya., Huo, Yu., Yang, Ch., Huang, X., Xia, D., & Fen, F. (2024). Knowledge ontology enhanced model for explainable knowledge tracing. *Journal of King Saud University — Computer and Information Sciences*, 36 (5), 102065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.102065>.
- Şahin, E., Sarı, U., & Şen, Ö. F. (2024). STEM Professional Development Program for Gifted Education Teachers: STEM Lesson Plan Design Competence, Self-Efficacy, Computational Thinking and Entrepreneurial Skills. *Thinking Skills and Creativity*, 51, 101439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101439>.
- Johnson-Leslie, N. A., Hays, A., & Marsh, R. S. (2023). Science Instruction for Students Identified as Gifted and Talented: The Efficacy of Makerspace in This Digital Age. *Teacher Education Faculty Publications*. Retrieved from <https://arch.astate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=ebs-tedu-facpub>
- Nadutenko, M., Prykhodniuk, V., Shyrokov, V., & Stryzhak, O. (2022). Ontology-Driven Lexicographic Systems. K. Arai (Ed.). *Advances in Information and Communication. FICC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, 438. Cham : Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98012-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98012-2_16).
- Ivanytska, N. A., & Stryzhak, O. Ye. (2014). Role of ontology in the system of formation of educational and cognitive competences on physics of secondary school pupils. *ITLT*, 39 (1), 160–169. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v39i1.975> [in Ukrainian].
- Rutigliano, A., & Quarshie, N. (2021). Policy Approaches and Initiatives for the Inclusion of Gifted Students in OECD Countries. *OECD Education Working Papers*, 262. Retrieved from [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/12/policy-approaches-and-initiatives-for-the-inclusion-of-gifted-students-in-oecd-countries\\_2e86bfc7/c3f9ed87-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/12/policy-approaches-and-initiatives-for-the-inclusion-of-gifted-students-in-oecd-countries_2e86bfc7/c3f9ed87-en.pdf)
- Shapovalov, V. B., & Shapovalov, Ye. B. (2025). Mathematical Interpretation and Digital Ontologies for Educational Studies. *CEUR Workshop Proceedings*. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Mathematical-interpretation-and-digital-ontologies-Shapovalov-Shapovalov/c58ab9fd3bd3606e6994f9777f260ba6bb052d8f>

A. Ye. Stryzhak,  
O. S. Kuzmenko,  
O. Yu. Zasenka,  
I. V. Deyneka

#### STEM-ORIENTED SYSTEM FOR SUPPORTING THE RESEARCH ACTIVITIES OF GIFTED STUDENTS: MODELING AND PROJECTING

**Abstract.** This article examines the theoretical and practical foundations for fostering giftedness and supporting scientific research activities among students within STEM education. It analyzes factors influencing learning effectiveness, emphasizing the integration of cognitive, technological, and pedagogical components that develop systematic thinking, problem-solving, and interdisciplinary competencies. Special attention is given to semantic

networks as tools for structured knowledge representation, enabling students to organize information, enhance analytical and critical thinking, and evaluate research data effectively. A STEM-oriented model for supporting gifted students' research activities is proposed, including personalized learning trajectories, task adaptation to individual cognitive and motivational characteristics, and integration of modern digital services. The model also emphasizes independent research, collaborative problem-solving, and project-based learning to stimulate creativity and deepen understanding of complex concepts. The research highlights technological approaches and digital tools that engage students with educational objects and research processes, including robotics kits, virtual and augmented laboratories, cloud platforms, IoT sensors, cognitive services, and knowledge graphs. These tools provide hands-on interaction, support data collection and analysis, and foster autonomous learning and interdisciplinary thinking. Research support tools are designed using semantic networks to model knowledge and research processes, combined with digital technologies promoting self-directed exploration and analytical reasoning. The proposed approaches enhance students' scientific competence, develop innovative potential, and build transferable skills necessary for addressing complex real-world problems. Overall, the study offers a practical framework for implementing STEM-based strategies that nurture giftedness and research skills, preparing students for academic and professional success in a knowledge-driven society.

**Keywords:** STEM education, semantic networks, gifted students, research activities, digital technologies.

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Стрижак Алла Євгенівна** — д. філос., учений секретар, Інститут прикладних систем управління НАН України, м. Київ, Україна, stryzhakae@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8266-2013>

**Кузьменко Ольга Степанівна** — д. пед. н., професор, учений секретар секретаріату Вченої ради, Донецький державний університет внутрішніх справ, м. Кропивницький; провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

**Засенко Олексій Юрійович** — канд. екон. наук, науковий співробітник відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, o.zasenko@icloud.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2943-3021>

**Дейнека Ігор Васильович** — канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, ivd711@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8656-3987>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Stryzhak A. Ye.** — D. of Philosophy (PhD), Academic Secretary, Institute of Applied Control Systems of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, stryzhakae@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8266-2013>

**Kuzmenko O. S.** — D. Sc. in Pedagogy, Professor, Academic Secretary of the Secretariat of the Academic Council, Donetsk State University of Internal Affairs, Kropyvnytskyi; Leading Researcher of the Department of Information and Didactic Modelling, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

**Zasenko O. Yu.** — PhD in Economic, Researcher of the Department of Creation and Use of Intelligent Network Tools, NC "Junior Academy of Science of Ukraine", Kyiv, Ukraine, o.zasenko@icloud.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2943-3021>

**Deyneka I. V.** — PhD in Physics and Mathematics, Senior Researcher of the Department of Information and Didactic Modeling, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, ivd711@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8656-3987>

Рукопис надійшов до редакції / Received 29.08.2025

Рукопис прийнято до друку / Accepted 11.12.2025



Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License