



УДК 378.147:004.4

[https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-11\(51\)-2905-2915](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-11(51)-2905-2915)

Шліхта Ганна Олександрівна д.п.н., доцент, професор кафедри інформаційних технологій та моделювання, Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, <https://orcid.org/0000-0002-7184-1822>

Шевцова Наталія Вікторівна к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та моделювання, Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, <https://orcid.org/0000-0002-3401-5468>

ІНТЕГРАЦІЯ ГРАФОВИХ СТРУКТУР У ПРОФЕСІЙНУ ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ У КОНТЕКСТІ АРХІТЕКТУРИ ПРОЄКТУВАННЯ ОСВІТНІХ СИСТЕМ

Анотація. У статті досліджено теоретико-методологічні засади інтеграції графових структур у професійну підготовку фахівців з комп'ютерних технологій у контексті архітектури проєктування освітніх систем. Показано, що графові структури — це універсальний апарат дискретного аналізу, який забезпечує можливість моделювання складних зв'язків між компонентами освітнього середовища: курсами, навчальними ресурсами, користувачами, компетентностями. Обґрунтовано, що включення графових моделей у зміст дисциплін «Архітектура та проєктування освітніх систем», «Програмування» та «Дискретний аналіз» сприяє формуванню системного, аналітичного й алгоритмічного мислення, розвитку навичок проєктування освітніх процесів і цифрової інфраструктури. Визначено, що графові структури можуть виступати як педагогічна технологія, що дозволяє інтегрувати навчальний контент, оптимізувати освітні маршрути, створювати мережеві моделі знань.

Запропоновано педагогічні умови ефективної інтеграції графових підходів у професійну підготовку: міждисциплінарна координація курсів, практична орієнтація навчання, використання цифрових інструментів для візуалізації графів (Gephi, yEd, Graphviz) і розвиток рефлексивного аналізу студентів.

Доведено, що застосування графових структур у навчальному процесі не лише підвищує рівень професійної підготовки, але й формує компетентності архітектурного мислення, здатність бачити освітню систему як цілісну мережу взаємопов'язаних елементів. Результати дослідження мають практичне значення для модернізації змісту освітніх програм і розроблення нових дидактичних моделей цифрової освіти.

Ключові слова: графові структури, архітектура та проєктування освітніх систем, професійна підготовка, дискретний аналіз, програмування, системне мислення.





Shlikhta Ganna Oleksandrivna D.Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Information Technologies and Modeling, Rivne State University of the Humanities, Rivne, <https://orcid.org/0000-0002-7184-1822>

Shevtsova Nataliia Viktorivna PhD, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Modeling, Rivne State University of the Humanities, Rivne, <https://orcid.org/0000-0002-3401-5468>

INTEGRATION OF GRAPH STRUCTURES INTO THE PROFESSIONAL TRAINING OF SPECIALISTS IN THE CONTEXT OF EDUCATIONAL SYSTEMS DESIGN ARCHITECTURE

Abstract. The article explores the theoretical and methodological foundations for integrating graph structures into the professional training of specialists in computer technologies within the context of educational systems design architecture. Graph structures are presented as a universal tool of discrete mathematics that enables modeling of complex interrelations among educational environment components such as courses, learning resources, users, and competencies.

The integration of graph-based models into the content of courses like “Educational Systems Architecture,” “Programming,” and “Discrete Analysis” contributes to the development of system, analytical, and algorithmic thinking, as well as design skills in educational process and digital infrastructure modeling.

Graphs are interpreted as a pedagogical technology that allows integration of learning content, optimization of educational trajectories, and creation of network knowledge models. The pedagogical conditions for effective integration of graph approaches are defined as follows: interdisciplinary coordination of courses, practice-oriented learning, the use of digital graph visualization tools (Gephi, yEd, Graphviz), and fostering students’ reflective analysis. It is proven that the application of graph structures in the educational process not only improves the quality of professional training but also forms architectural thinking competencies, enabling learners to perceive the educational system as a holistic network of interconnected elements. The results have practical significance for modernizing educational program content and developing new didactic models of digital education.

Keywords: graph structures, educational systems architecture, professional training, discrete analysis, programming, system thinking, educational modeling..

Постановка проблеми.

Сучасна система професійної освіти зазнає глибоких змін під впливом цифрової трансформації, яка вимагає не лише оновлення змісту навчальних програм, а й переосмислення методологічних засад підготовки фахівців. У центрі цих змін — необхідність формування системного мислення, здатності майбутніх спеціалістів бачити освітні, технологічні та організаційні процеси як



взаємопов'язані елементи цілісної системи. У цьому контексті особливого значення набувають інструменти дискретного аналізу, зокрема графові структури, які надають універсальні можливості для моделювання, аналізу та оптимізації складних освітніх систем.

Графові структури як об'єкт дослідження поєднують у собі математичну строгість і візуальну наочність, що робить їх ефективним засобом для опису взаємозв'язків між навчальними курсами, компетентностями, ресурсами, учасниками освітнього процесу та цифровими сервісами. У межах архітектури освітніх систем графи дають змогу описувати структуру навчальних середовищ, визначати логіку взаємодії між елементами та виявляти вузлові точки освітньої комунікації. Для викладача це відкриває можливість системно проектувати навчальний процес, а для студента — усвідомлювати власну освітню траєкторію, бачити її взаємозв'язки з іншими компонентами системи.

Попри очевидні переваги графових моделей, їх педагогічний потенціал залишається недостатньо реалізованим. У більшості навчальних програм дисципліни «Дискретний аналіз» або «Математичні основи інформатики» розглядають графи лише як теоретичний розділ математики, не пов'язуючи їх з архітектурним мисленням і практичними завданнями цифрової освіти. Водночас дисципліни прикладного характеру — «Програмування», «Архітектура та проектування освітніх систем», «Інформаційні технології в освіті» — лише частково використовують графові моделі для структурування даних чи візуалізації процесів. У результаті втрачається можливість цілісного, міждисциплінарного підходу до формування компетентностей з проектування освітніх систем.

Проблема, отже, полягає в тому, що між потенціалом графових структур як моделі мислення і фактичним рівнем їх використання у професійній підготовці фахівців існує значний розрив. Освітня практика потребує не лише технічного ознайомлення студентів із теорією графів, а насамперед — педагогічного осмислення графових структур як інструменту архітектурного проектування освітнього середовища. Актуальність цього підходу визначається потребою у фахівцях, здатних до системного аналізу освітніх процесів, гнучкого мислення та цифрової культури, що відповідають сучасним вимогам до побудови адаптивних освітніх систем і розумних навчальних середовищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематика інтеграції елементів дискретного аналізу в освітній процес розглядається у працях як українських, так і зарубіжних дослідників. В основі сучасних наукових підходів лежить ідея про те, що математичні структури, зокрема графи, можуть бути не лише інструментом технічного моделювання, а й дидактичним засобом для формування системного та алгоритмічного мислення. Як зазначає С. Семеріков, розвиток дискретного мислення є фундаментом інтелектуальної діяльності фахівця, який працює в умовах цифрової освіти [1]. М. Шишкіна акцентує на тому, що застосування математичних моделей у



підготовці педагогів сприяє формуванню здатності до аналізу освітніх процесів та їх структурної оптимізації [2].

Питання використання графових структур безпосередньо в освітньому контексті висвітлюють зарубіжні автори. У дослідженні R. Diestel [3] граfi розглядаються як універсальна мова опису відношень у складних системах, що робить їх зручними для моделювання освітніх середовищ, курсів і навчальних маршрутів. Праця Т. Кормена, Ч. Лейзерсона, Р. Рівеста і К. Штайна [4] заклала алгоритмічне підґрунтя для застосування графових структур у комп'ютерних науках, що сьогодні активно трансформується у сферу освітніх технологій.

Серед українських педагогічних досліджень важливу увагу приділено проблемам інтеграції цифрових технологій у зміст освіти. Н. Морзе та О. Глазунова [5] розробили методологію формування цифрової компетентності педагогів, у якій логічне та структурне мислення розглядається як складова цифрової грамотності. Дослідження Л. Карпачової [6] вказує на перспективність використання графових моделей у побудові навчальних траєкторій та візуалізації освітніх зв'язків між предметами. У роботах В. Бикова [7] наголошено на необхідності переходу від лінійних до мережових структур в освітніх системах, що цілком корелює з графовими принципами моделювання.

Отже, аналіз наукових праць засвідчує зростання інтересу до використання графових структур як теоретико-практичного інструменту в освітніх дослідженнях. Проте більшість робіт фокусуються на математичному або технологічному аспектах графів, залишаючи поза увагою їх педагогічний потенціал у формуванні архітектури освітніх систем. Недостатньо розробленими залишаються питання педагогічного проєктування освітніх середовищ із використанням графових моделей, методик навчання, що інтегрують ці підходи, а також оцінювання сформованості системного мислення студентів. Це й визначає наукову нішу дослідження, спрямованого на виявлення педагогічних умов ефективної інтеграції графових структур у професійну підготовку фахівців.

Мета статті.

Мета статті полягає у всебічному обґрунтуванні теоретичних, методичних і педагогічних засад інтеграції графових структур у професійну підготовку фахівців у галузі комп'ютерних технологій у контексті архітектури проєктування освітніх систем. Ідеться не лише про математичне чи технологічне використання графів, а про формування нового дидактичного підходу, який забезпечує розвиток системного, аналітичного й архітектурного мислення студентів.

Для досягнення поставленої мети необхідно з'ясувати педагогічну доцільність використання графових моделей як засобу навчання, визначити їх роль у створенні цілісного уявлення про структуру освітньої системи та взаємодію її компонентів. Особливу увагу приділено дослідженню способів інтеграції елементів теорії графів у зміст дисциплін комп'ютерного циклу («Архітектура освітніх систем», «Програмування», «Дискретний аналіз»), що дозволяє забезпечити логічну послідовність формування компетентностей – від



математичного моделювання до практичного проектування освітнього середовища. Завданнями дослідження є: узагальнення сучасних теоретичних підходів до моделювання освітніх систем на основі графових структур; визначення функцій графових моделей як інструментів архітектурного мислення в освітньому процесі; розроблення педагогічних умов інтеграції графових структур у професійну підготовку; обґрунтування дидактичних принципів використання графових моделей для розвитку цифрової компетентності студентів; аналіз практичних можливостей використання цифрових засобів візуалізації графів (Gephi, yEd, Graphviz) у навчальному процесі.

Реалізація поставленої мети має забезпечити створення інтеграційного простору між математичними, технологічними та педагогічними аспектами підготовки майбутніх фахівців, спрямованого на формування компетентностей проектування, системного мислення й цифрової культури, що є основою архітектури сучасних освітніх систем.

Виклад основного матеріалу.

Питання інтеграції графових структур у професійну підготовку фахівців розглядається крізь призму поєднання трьох вимірів: когнітивного (розвиток мислення), дидактичного (побудова навчального процесу) та технологічного (застосування цифрових інструментів моделювання). За науковими дослідженнями [2,3] – **графові структури як інтелектуальний каркас системного мислення.**

У межах дискретного аналізу графи виступають моделлю, що відображає відносини між елементами системи. Для освітнього процесу це означає можливість формалізувати зв'язки між темами, модулями, компетентностями, педагогічними цілями. Графові структури стимулюють розвиток системного мислення, дозволяючи студентам бачити навчальний матеріал як взаємопов'язану мережу знань, а не як набір ізольованих тем. Таке уявлення є ключовим для архітектурного підходу до побудови освітніх систем, де кожен елемент повинен бути логічно вмотивованим і структурно узгодженим із цілим. **Розглянемо педагогічну доцільність застосування графових моделей.**

Використання графів у навчанні має не лише когнітивний, а й методологічний ефект. Графові моделі допомагають викладачеві створювати наочні схеми взаємодії між навчальними компонентами, виявляти надмірність або дублювання матеріалу, вибудовувати оптимальні маршрути вивчення. Студент, працюючи з графом, набуває здатності моделювати процес навчання, аналізувати вузлові точки та шляхи розвитку системи [4]. Такий підхід підсилює рефлексивність і формує навички аналітичного мислення, необхідного для подальшої педагогічної або ІТ-діяльності. **Побудуємо схематичну інтеграцію графових структур у зміст професійної підготовки.**

У дисципліні «Дискретний аналіз» студенти засвоюють базові поняття теорії графів: вершини, ребра, зв'язність, дерева, орієнтовані графи, маршрути, мережі потоків. Ці знання закладають основу логічного моделювання освітніх



систем. У курсі «Програмування» графові структури застосовуються для створення алгоритмів пошуку, оптимізації, розподілу даних, побудови моделей баз даних. У «Архітектурі освітніх систем» граfi стають методологічним інструментом – за їх допомогою можна моделювати архітектуру навчального середовища, визначати взаємозв'язки між підсистемами (управління, навчання, комунікації, аналітика).

Таким чином, інтеграція графових структур реалізується через послідовне поєднання теоретичного, прикладного та педагогічного рівнів. Важливо, щоб підготовка фахівців не зводилася лише до технічного вивчення графів, а включала формування здатності застосовувати їх для вирішення педагогічних завдань – побудови адаптивних курсів, мережових взаємодій, освітньої аналітики. **Якими ж повинні бути педагогічні умови такої інтеграції?**

Реалізація інтеграційного підходу потребує виконання кількох умов:

- *міждисциплінарна координація* змісту курсів, щоб поняття й методи графів узгоджувалися між дисциплінами;
- *практична спрямованість* завдань – студенти мають створювати власні графові моделі освітніх процесів;
- *цифрова візуалізація* – застосування програм Gephi, yEd, Graphviz сприяє глибшому розумінню структурних зв'язків;
- *рефлексивно-аналітична діяльність* – обговорення студентами результатів побудови графових моделей і їх ефективності у візуалізації освітніх систем (рис. 1)



Рис. 1. Умови інтеграції елементів графових структур до освітніх компонентів

Інтеграція графових структур у педагогічну практику має багатовимірний характер і може реалізовуватися як на рівні організації освітнього контенту, так і на рівні управління навчальними процесами. У першому випадку графові моделі застосовуються для побудови структури навчальних курсів, у яких кожна тема або модуль представлений як вершина, а зв'язки між ними – як орієнтовані ребра, що визначають логіку вивчення, послідовність або залежності між



поняттями. Так, у системах Moodle чи Canvas можна створювати інтерактивні карти навчального матеріалу, що допомагає студентам візуально сприймати структуру курсу й усвідомлювати, як поточне завдання пов'язане з попередніми чи майбутніми темами.

Такі графові репрезентації стають інструментом когнітивної візуалізації, що підтримує процес запам'ятовування та формування цілісного розуміння навчального змісту. Викладачі ж, аналізуючи створені графи, отримують змогу діагностувати прогалини в логіці побудови курсу, виявляти надмірно лінійні або, навпаки, недостатньо структуровані фрагменти, оптимізуючи архітектуру освітнього контенту.

Другий рівень використання графових структур пов'язаний з аналітикою освітнього процесу – аналізом взаємодій між студентами, викладачами та цифровими ресурсами. Використовуючи графові алгоритми у середовищах навчальної аналітики, можна будувати соціальні граfi навчальної взаємодії, де вершинами є учасники освітнього процесу, а ребрами – комунікаційні зв'язки (повідомлення, відповіді у форумах, спільні проєкти тощо).

Аналіз таких графів дозволяє ідентифікувати центральних учасників, виявляти ізольовані групи або студентів, що випадають із активної взаємодії. Отримані результати використовуються для педагогічного втручання – викладач може цілеспрямовано активізувати комунікацію, забезпечити парну або групову роботу, посилити інтеграцію студентів у навчальну мережу. Окрім цього, графові структури застосовуються для побудови рекомендаційних систем у середовищах адаптивного навчання: вони дозволяють автоматично формувати освітні траєкторії, ґрунтуючись на схожості інтересів, успішності або попереднього досвіду студентів. Таким чином, використання графів в освітній практиці сприяє створенню інтелектуально насичених, взаємопов'язаних і адаптивних освітніх систем, де дані, взаємодії та знання формують єдину мережеву структуру, що розвивається.



Рис. 2. Приклади застосування графових моделей в освітній практиці



На схемі (рис. 2) відображено дві ключові площини застосування графових структур у професійній підготовці фахівців. Перший рівень – **організаційний**, що стосується побудови структури навчального контенту: вершини графа репрезентують **теми, модулі, компетентності та завдання**, а ребра визначають логічні зв'язки між ними. Така модель дозволяє викладачеві візуально проектувати освітню програму, встановлювати міжпредметні взаємозв'язки та оптимізувати навчальні маршрути студентів. Другий рівень — **аналітичний**, який описує взаємодію учасників освітнього процесу: **студенти, викладачі, ресурси, комунікації**. Побудова соціальних графів дає змогу досліджувати динаміку комунікацій, активність учасників, визначати центральні вузли мережі й ефективність колаборацій. Стрілки, що поєднують рівні, символізують інтеграцію педагогічних і аналітичних аспектів: дані, отримані на рівні аналітики, можуть бути використані для корекції структури навчального контенту, а зміни в архітектурі курсу впливають на взаємодію між учасниками. Така двошарова модель ілюструє, як графові структури забезпечують цілісний підхід до організації та аналізу освітнього процесу.

Інтеграція графових структур у професійну підготовку фахівців сприяє глибокому перетворенню когнітивного стилю навчання, зміщуючи його фокус із запам'ятовування фактів на системне моделювання зв'язків і закономірностей.

Як зазначає В. Биков [7], розвиток сучасної освіти потребує переходу від лінійних до мережових принципів мислення, які відображають складність взаємозв'язків у цифровому суспільстві. Використання графових моделей дозволяє формувати в студентів системне мислення, що базується на вмінні бачити структуру освітнього простору як динамічну мережу об'єктів і процесів. Це сприяє усвідомленню логіки функціонування освітніх систем, їх гнучкості та адаптивності до змін. Візуальне представлення зв'язків між темами, завданнями та компетентностями активізує роботу обох півкуль мозку – аналітичної та творчої, що, за спостереженнями Н. Морзе та О. Глазунової [5], підвищує рівень когнітивної залученості студентів і сприяє розвитку інтегративного мислення.

Педагогічний результат інтеграції графових структур виявляється не лише у сфері пізнавальної діяльності, а й у формуванні ключових професійних компетентностей. Згідно з підходами, запропонованими М. Шишкіною [2], в освітньому процесі сучасного педагога або ІТ-фахівця надзвичайно важливо навчити студента бачити систему як багаторівневу структуру, де кожна дія має наслідки для цілого. Робота з графами забезпечує саме таке розуміння: студенти вчаться оцінювати вплив окремих елементів системи, прогнозувати зміни при модифікації її частин, а отже — мислити категоріями архітектурного проектування.

Такий досвід безпосередньо переноситься на сферу професійної діяльності: майбутні викладачі можуть застосовувати графові моделі для побудови навчальних програм і взаємозв'язків між дисциплінами, а фахівці ІТ-галузі — для структуризації складних інформаційних систем і баз даних.



В обох випадках реалізується принцип інтеграції знань, який, за твердженням С. Семерікова [1], є ключем до підготовки фахівця нової формації – здатного мислити міждисциплінарно.

Зрештою, освітній ефект інтеграції графових структур полягає у переході від навчання як передачі інформації до навчання як побудови мережі знань. Це відповідає сучасним моделям цифрової освіти, які, за визначенням R. Diestel [3], оперують не ізольованими поняттями, а системами відношень між ними. На практичному рівні це означає підвищення аналітичної грамотності, здатності до систематизації даних, побудови логічних зв'язків і бачення освітнього процесу як архітектурної системи. Застосування графових структур сприяє також розвитку рефлексивного мислення – студент може осмислювати власну освітню траєкторію через побудову графа власного навчального досвіду. Таким чином, педагогічний результат інтеграції графових моделей полягає в розвитку системного, аналітичного та архітектурного мислення, що є фундаментом цифрової культури сучасного фахівця (рис. 3).

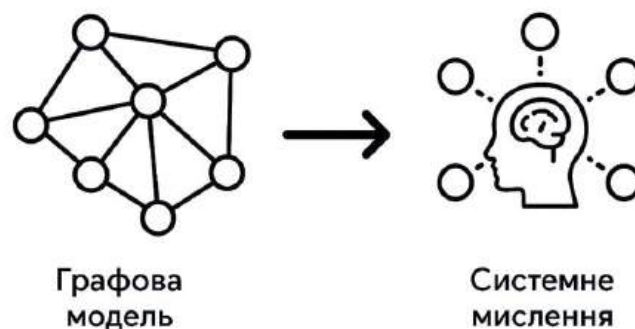


Рис. 3. Освітні ефекти інтеграції графових структур у професійну підготовку фахівців

Переглянемо конкретні значення графових структур для цифрової педагогіки.

Розвиток цифрової педагогіки у XXI столітті характеризується глибокою взаємодією освітньої науки з технологіями даних, аналітикою й інтелектуальними системами підтримки навчання. У цьому контексті графові структури виступають не просто математичним інструментом, а методологічним засобом, що дозволяє переосмислити саме поняття освітнього процесу. Як зазначає В. Биков [7], цифрова педагогіка потребує нової логіки проектування освітнього середовища — мережевої, адаптивної, відкритої до інтеграції різномірних компонентів. Саме графові структури здатні забезпечити цю мережевість, адже вони описують не лише взаємозв'язки між елементами системи, а й їхню динаміку, тобто зміни зв'язків у часі. Це особливо важливо для створення інтелектуальних освітніх платформ, які аналізують активність студентів, коригують навчальні маршрути та автоматично генерують персоналізовані рекомендації.



Другий аспект значення графових структур полягає у їхньому дидактичному потенціалі. Згідно з підходом М. Шишкіної [2], сучасна цифрова педагогіка має не лише передавати знання, а й формувати у студентів здатність структурувати інформацію, розуміти її логіку й зв'язки. Використання графів у навчанні сприяє розвитку цих умінь: студент не просто споживає контент, а конструює власну когнітивну карту знань. У результаті формується рефлексивна здатність мислити у форматі “вузол–зв’язок–система”, що є суттю архітектурного підходу до навчання. Графові структури, зокрема у поєднанні з візуальними середовищами (Gephi, Graphviz), перетворюються на інструмент цифрової педагогічної творчості, коли візуалізація стає формою мислення, а не лише ілюстрацією. Третій вимір значення графових структур стосується перспектив розвитку штучного інтелекту в освіті. Сучасні моделі машинного навчання (зокрема graph neural networks — GNN) спираються саме на графові репрезентації даних, які відображають структуру зв’язків між елементами освітнього простору: користувачами, ресурсами, завданнями [3].

Для педагога майбутнього володіння логікою графових структур означає здатність інтерпретувати роботу таких систем, розуміти їхні алгоритмічні принципи та педагогічні можливості. Це дає змогу впроваджувати елементи навчальної аналітики, автоматизованого оцінювання та адаптивного навчання на основі аналізу графів взаємодії. Таким чином, графові структури в цифровій педагогіці виступають мостом між аналітикою даних, когнітивним моделюванням і дидактичними методами навчання, забезпечуючи інтеграцію науки, технології та педагогіки у єдину освітню екосистему.

Висновки.

Інтеграція графових структур у професійну підготовку фахівців у контексті архітектури проєктування освітніх систем відкриває нові можливості для модернізації освітнього процесу. Графові моделі виступають ефективним інструментом розвитку системного, аналітичного й архітектурного мислення студентів, сприяють усвідомленню взаємозв’язків між компонентами освітнього середовища та формуванню навичок структурування знань. Вони дозволяють реалізувати педагогічний принцип інтеграції — поєднати математичні основи дискретного аналізу з практичними аспектами проєктування освітніх систем, забезпечуючи єдність теорії та практики у професійній підготовці.

Результати проведеного дослідження засвідчують, що графові структури можуть і повинні стати складовою методології цифрової педагогіки. Вони не лише полегшують організацію та аналіз навчального процесу, а й стимулюють розвиток рефлексивного мислення, цифрової грамотності та здатності до моделювання освітніх систем. Перспективами подальших досліджень є розроблення практичних кейсів інтеграції графових структур у підготовку педагогів, створення програмних інструментів для автоматичного побудови графів навчальних курсів і впровадження аналітичних моделей освітніх даних, що базуються на принципах графової теорії.



Література:

1. Семеріков С. О., Теплицький І. О., Шишкіна М. П. *Теоретичні та методичні засади використання ІКТ у навчанні інформатики*. – Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2020.
2. Шишкіна М. П. *Інформаційно-комунікаційні технології в освіті: розвиток теорії і практики використання*. – Київ: Педагогічна думка, 2019.
3. Diestel R. *Graph Theory*. – Springer, 2018.
4. Cormen T., Leiserson C., Rivest R., Stein C. *Introduction to Algorithms*. – MIT Press, 2022.
5. Морзе Н. В., Глазунова О. Г. *Цифрові компетентності в освіті: методологічні підходи та педагогічні інструменти*. – Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2021.
6. Карпачова Л. В. Використання графових моделей для побудови індивідуальних освітніх траєкторій студентів // *Інформаційні технології і засоби навчання*. – 2021. – №6 (86). – С. 45–56.
7. Биков В. Ю. *Моделі організаційних систем відкритої освіти*. – Київ: Атіка, 2009.

References:

1. Semerikov, S. O., Teplytskyi, I. O., & Shyshkina, M. P. (2020). *Teoretychni ta metodychni zasady vykorystannia IKT u navchanni informatyky* [Theoretical and methodological principles of ICT use in computer science education]. Kyiv: NPU named after M. P. Drahomanov.
2. Shyshkina, M. P. (2019). *Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii v osviti: rozvytok teorii i praktyky vykorystannia* [Information and communication technologies in education: Development of theory and practice of use]. Kyiv: Pedahohichna dumka.
3. Diestel, R. (2018). *Graph Theory* (5th ed.). Springer.
4. Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R., & Stein, C. (2022). *Introduction to Algorithms* (4th ed.). MIT Press.
5. Morze, N. V., & Hlazunova, O. H. (2021). *Tsyfrovi kompetentnosti v osviti: metodolohichni pidkhody ta pedahohichni instrumenty* [Digital competencies in education: Methodological approaches and pedagogical tools]. Kyiv: Taras Shevchenko National University.
6. Karpachova, L. V. (2021). *Vykorystannia hrafovyykh modelei dlia pobudovy indyvidualnykh osvitnikh traiektorii studentiv* [Using graph models for constructing individual educational trajectories of students]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia* [Information Technologies and Learning Tools], 6(86), 45–56.
7. Bykov, V. Yu. (2009). *Modeli orhanizatsiinykh system vidkrytoi osvity* [Models of organizational systems of open education]. Kyiv: Atika.