

УДК 378.018.8:373.5.011.3-051:51]:37.017:[159.943.7:159.953.2]:[004.91:51](045)
DOI: 10.31499/2307-4914.2(32).2025.348669

ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА GEOGEBRA ДЛЯ ФОРМУВАННЯ НАВИЧОК ВІЗУАЛІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ В МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ

Віталій Дубовик, доктор філософії, доцент кафедри вищої математики та методики навчання математики, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини.

ORCID: 0000-0003-0717-4719

E-mail: vitalij.dybovuk@udpu.edu.ua

У статті розглянуто формування навичок візуалізації навчального матеріалу у майбутніх учителів математики засобами програмного середовища GeoGebra в умовах цифровізації освіти. Обґрунтовано доцільність використання GeoGebra під час вивчення математичних дисциплін та практичної підготовки для розвитку візуального мислення та фахової компетентності студентів. Представлено методику проведення занять і приклад динамічного моделювання геометричного матеріалу. Визначено педагогічний потенціал GeoGebra та окреслено основні труднощі його впровадження у процес професійної підготовки майбутніх учителів.

Ключові слова: GeoGebra; візуалізація; майбутні вчителі математики; математична освіта; підготовка вчителя; навчальна практика; фахові компетентності; педагогічна майстерність; практична підготовка.

USING THE GEOGEBRA ENVIRONMENT TO DEVELOP VISUALIZATION SKILLS IN FUTURE MATHEMATICS TEACHERS

Vitalii Dybovyk, PhD, Associate Professor at the Department of Higher Mathematics and Methods of Teaching Mathematics, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

ORCID: 0000-0003-0717-4719

E-mail: vitalij.dybovuk@udpu.edu.ua

This article explores the process of developing visualization skills in future mathematics teachers as a key component of their professional training. In the context of ongoing digitalization in education, there is a growing need for specialists who not only master mathematical content but can also effectively represent abstract concepts using innovative tools, particularly digital technologies. One such tool is the GeoGebra software environment, which offers capabilities for graphical interpretation of mathematical objects. This opens up broad opportunities for developing students' visual thinking and applying these skills in their future teaching practice.

The use of GeoGebra is considered appropriate and methodologically sound when studying mathematical disciplines such as Selected Topics in the School Course of Algebra and Geometry, Elementary Mathematics, and Geometric Constructions. These courses provide a suitable context for the deliberate development of skills in constructing graphs of functions, geometric figures, and modeling mathematical processes and phenomena. Lessons structured according to a step-by-step

methodology (from familiarization with the interface to creating one's own interactive materials) enable students not only to master GeoGebra's toolkit but also to critically assess its didactic value for school teaching practice.

The article presents a methodology for conducting classes, including a detailed discussion of the topic «Perpendicular Bisector», which illustrates a successful combination of geometric content and dynamic modeling. The provided examples demonstrate how the use of GeoGebra enhances students' cognitive engagement, analytical thinking, and pedagogical reflection. Special attention is given to the practical aspect – applying the knowledge and skills gained through working with GeoGebra during their subject-related teaching practice in general secondary education institutions. It is emphasized that during practice, students have the opportunity to create original didactic tools, visualize complex problems, conduct demonstrations during lessons, and participate in organizing mathematics clubs and olympiads.

GeoGebra is considered a means of integrating digital technologies into school mathematics education, and the ability to use it is viewed as an essential component of a modern teacher's professional competence. The article also outlines the main challenges in implementing this tool – insufficient digital training among students, limited time within the curriculum, and a lack of methodical materials adapted to the Ukrainian context. At the same time, it emphasizes that these difficulties can be overcome through a systematic approach to integrating GeoGebra into the educational process, strengthening the practical orientation of teacher training, and actively using digital resources during pedagogical practice.

Keywords: GeoGebra; visualization; future mathematics teachers; mathematics education; teacher training; teaching practice; professional competencies; pedagogical mastery; practical training.

У сучасному освітньому середовищі, яке стрімко змінюється під впливом цифрових технологій, важливою складовою професійної підготовки майбутніх учителів математики є формування вміння візуалізувати навчальний матеріал. Математика, як наука абстрактна, потребує особливої уваги до засобів, що полегшують її сприйняття – і візуалізація тут відіграє ключову роль. Здатність учителя ефективно подавати матеріал у формі наочних моделей, схем, графіків, динамічних побудов дозволяє значно покращити розуміння та засвоєння учнями навіть складних математичних понять.

Підготовка майбутніх учителів має передбачати не лише знання змісту математичної науки, але й володіння сучасними засобами її репрезентації. Середовище GeoGebra – одна з найбільш універсальних і доступних платформ для створення візуальних математичних моделей – дає можливість студентам педагогічних спеціальностей розвивати навички наочного подання інформації, моделювання процесів, дослідження властивостей математичних об'єктів. Засвоєння цього інструменту відкриває широкі перспективи для інноваційного підходу до навчання математики в школі, підвищення мотивації учнів та адаптації освітнього процесу до їхніх індивідуальних потреб.

В Україні низка науковців досліджує формування навичок візуалізації у студентів під час вивчення математики, особливо у контексті підготовки майбутніх учителів. Серед них: Білошапка Н. М. [1], Бондаренко З. В. [4], Возносименко Д. А. [6], Друшляк М. Г. [2], Пилипенко О. С. [5], Поліщук Т. В. [6], Іщенко Г. В. [6], Кирилашук С. А. [4], Клочко В. І. [4], Семеніхіна О. М. [7] та інші. Ці дослідження охоплюють різні аспекти, від теоретичних основ до практичного використання сучасних цифрових інструментів, таких як GeoGebra.

У своїй докторській дисертації «Теорія і практика формування візуально-інформаційної культури майбутніх учителів математики та інформатики у закладах

вищої освіти» [2] науковиця Друшляк М. Г. обґрунтовує педагогічну систему формування візуально-інформаційної культури, яка включає методологічно-цільову, змістово-процесуальну та діагностично-результативну підсистеми. Вона також розробила структурно-функціональну модель формування цієї культури, що передбачає інтеграцію сучасних засобів візуалізації, таких як інтерактивні аплети, доповнена реальність та когнітивно-візуальні моделі.

У дисертаційному дослідженні «Формування у майбутніх учителів математики вмінь використовувати засоби комп'ютерної візуалізації у професійній діяльності» [1] Білошапка Н. М. розкриває структуру вмінь візуалізації, що включає психологічну, предметну, технологічну та інформаційно-аналітичну складові. Вона обґрунтовує модель формування цих вмінь, яка базується на системному, діяльнісному та компетентнісному підходах.

Науковиця Семеніхіна О. В. є автором монографії «Професійна готовність майбутнього вчителя математики до використання програм динамічної математики: теоретико-методичні аспекти» [7], де розглядає теоретичні та методичні аспекти використання програм динамічної математики, зокрема такої як GeoGebra, у професійній підготовці вчителів математики. Вона також досліджує формування умінь візуалізувати навчальний матеріал засобами мультимедіа як фахову компетентність учителя.

У статті «Підготовка майбутніх учителів математики у процесі вивчення математичних дисциплін з використанням пакету GeoGebra» [6] автори аналізують ефективність застосування пакету динамічної математики GeoGebra у процесі навчання математичних дисциплін. Вони підкреслюють, що використання цього інструменту сприяє формуванню у студентів навичок практичного використання ІКТ та створює можливості для виконання завдань прикладного та дослідницького характеру.

Проте на зважаючи на значні наукові доробки, проблематика використання середовища GeoGebra для формування навичок візуалізації навчального матеріалу у майбутніх учителів математики потребує актуалізації через низку факторів: значний технологічний розвиток; удосконалення функціоналу програмного забезпечення; зміну вимог до сучасного вчителя математики; затвердження професійного стандарту «Вчитель закладу загальної середньої освіти» (інформаційно-цифрова компетентність в ньому як одна із ключових); потреба у постійному оновленні та удосконаленні методики навчання математики; впровадження в освітній процес підготовки вчителів нових компонент, зокрема вибіркокових дисциплін тощо.

Метою статті є обґрунтування доцільності та розроблення методичних засад використання програмного середовища GeoGebra для формування навичок візуалізації навчального матеріалу у процесі професійної підготовки майбутніх учителів математики, а також аналіз ефективності його впровадження під час вивчення математичних дисциплін і проходження педагогічної практики.

Формування навичок візуалізації у студентів потребує клопіткої організації освітнього процесу. Ефективне впровадження середовища GeoGebra передбачає поступове навчання студентів роботі з інструментами програми, виконання інтерактивних завдань, які вимагають побудови, трансформації та аналізу математичних моделей, а також створення умов для самостійної творчої діяльності. Важливою умовою є також рефлексія результатів побудови з точки зору математичного

змісту та педагогічної доцільності.

Структура заняття з використанням GeoGebra зазвичай охоплює кілька послідовних етапів. На початковому етапі викладач актуалізує знання студентів та створює мотиваційний фон, ставлячи перед ними проблемне завдання, яке потребує візуального аналізу. Наприклад, демонструється вплив коефіцієнтів на графік квадратичної функції або геометрична побудова, яка змінюється в режимі реального часу. Наступний етап присвячений ознайомленню з функціоналом GeoGebra. Студенти знайомляться з функціоналом для побудови геометричних фігур, створення повзунків, умовного форматування тощо.

Під час практичного етапу студенти виконують завдання, що потребує побудови математичного об'єкта, графіка або моделі. Це можуть бути графіки функцій з параметрами, динамічні моделі геометричних задач, моделювання руху точки по заданій траєкторії або створення повноцінних інтерактивних ресурсів для майбутніх уроків. Після цього відбувається обговорення результатів, де кожен студент має змогу представити власну модель, прокоментувати хід роботи, висловити педагогічні міркування щодо її ефективності. Завершується заняття завданням для самостійної роботи, яке передбачає створення навчального модуля у GeoGebra, що може бути використаний під час педагогічної практики.

Особливо актуальне впровадження системи GeoGebra під час вивчення математичних дисциплін «Вибрані питання шкільного курсу алгебри і геометрії» («Вибрані питання шкільного курсу математики»), «Елементарна математика», «Геометричні побудови у шкільному курсі математики» тощо, тобто ті дисципліни які безпосередньо пов'язані зі шкільним курсом математики.

Так, наприклад, на практичних з дисципліни «Геометричні побудови у шкільному курсі математики» досить вдало можна формувати у здобувачів навички візуалізації. Розглянемо методичні особливості проведення заняття, мета якого формування у студентів практичних навичок побудови геометричних елементів та фігур у середовищі GeoGebra, розвиток розуміння логіки побудови серединного перпендикуляра та його властивостей, підготовка до педагогічного пояснення цього матеріалу учням закладів загальної освіти.

Використання GeoGebra вимагає поетапного впровадження в навчальний процес:

1. Ознайомлення з інтерфейсом програми. На початковому етапі студенти вивчають функціональні можливості, базові інструменти та логіку побудови об'єктів.
2. Розв'язання задач з візуалізацією. Наступний етап передбачає побудову графіків, геометричних конструкцій, динамічних моделей, які ілюструють певні математичні поняття.
3. Створення інтерактивних навчальних матеріалів. Студенти створюють власні інтерактивні презентації, міні-проекти, віртуальні лабораторії для пояснення складних тем.
4. Аналіз педагогічної доцільності. Критичне оцінювання створених моделей з точки зору їх навчальної ефективності, можливостей для диференціації та індивідуалізації навчання.

На першому етапі заняття реалізується ознайомлення студентів з поняттям серединного перпендикуляра як геометричного місця точок, рівновіддалених від кінців

даного відрізка. Застосовується проблемне запитання або демонстраційний експеримент, який акцентує увагу на ключовій властивості серединного перпендикуляра. На цьому етапі студенти мають усвідомити зв'язок між побудовою і теоретичною основою – аксіомами та теоремами геометрії. Наприклад, проблемними запитаннями можуть бути наступні:

- «Яку множину точок описує всі точки, що рівновіддалені від двох заданих точок?» (Після обговорення студенти зазвичай висловлюють різні припущення. Далі викладач демонструє на екрані, як у GeoGebra точка, що знаходиться на серединному перпендикулярі, завжди має рівну відстань до точок A і B).

- «Як побудувати точку, яка буде однаково близько розташована до обох кінців відрізка?» (Це запитання логічно веде до поняття серединного перпендикуляра як геометричного місця точок з рівними відстанями до двох фіксованих точок).

Можна і запропонувати наступний демонстраційний експеримент:

- На екрані у GeoGebra викладач будує дві точки A і B .
- Студенти знаходять точки, рівновіддалені від A і B .
- Викладач починає будувати серію таких точок вручну, вимірюючи відстані.
- Потім викладач демонструє побудову серединного перпендикуляра і пропонує перевірити на ньому рівновіддаленість будь-якої точки.
- Студенти бачать: усі точки на цій прямій – справді однаково віддалені від A і B .

Цей підхід дозволяє активізувати інтуїцію студентів, поєднати теоретичні знання з візуальним сприйняттям, а також підвести їх до узагальнення, яке стане підґрунтям для подальшої побудови й педагогічного аналізу.

Цей же етап передбачає освоєння студентами базових інструментів GeoGebra, необхідних для побудови: створення точок, побудова відрізків, визначення середини відрізка, побудова перпендикулярної прямої до заданої в точці тощо. Важливо, щоб студенти самостійно пропонували послідовність дій, могли за допомогою спроб і помилок виконувати роботу, а не лише повторювали дії за інструкцією. Такий підхід сприяє формуванню інформаційно-цифрової (технологічної) компетентності та розвитку аналітичного мислення. Сервіс GeoGebra має широкий інструментарій для побудови вищезазначених математичних об'єктів (рис.1).

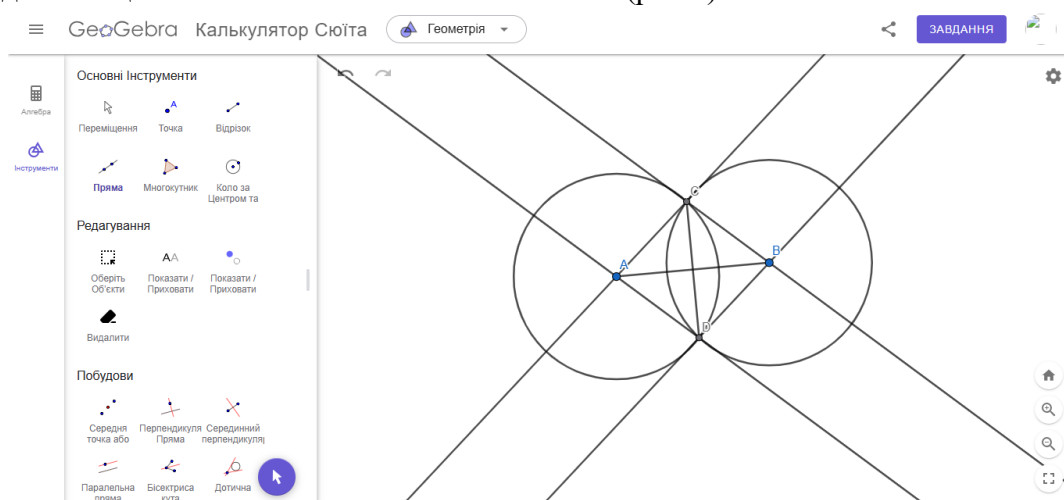


Рис. 1. Побудова серединного перпендикуляра у середовищі GeoGebra

Другий етап – моделювання й аналіз. Після завершення побудови студенти виконують дослідницькі дії: змінюють положення початкових точок, спостерігають динамічну зміну побудови, перевіряють рівновіддаленість точок, які лежать на побудованій прямій, від кінців вихідного відрізка. Це дозволяє актуалізувати поняття геометричного місця точок та забезпечити глибше розуміння властивостей побудови.

Третій етап методики орієнтований на педагогічне осмислення. Студенти аналізують, як таку побудову можна адаптувати до шкільного уроку: на якому етапі її доцільно застосувати – при поясненні, перевірці знань, у задачах на побудову; яким чином забезпечити включення учнів у процес спостереження та дослідження; як сформулювати запитання, які спрямовані на розвиток рефлексивного мислення.

Четвертий етап передбачає створення студентами власних навчально-методичних ресурсів на основі побудованої моделі. Це можуть бути інструктивні картки, інтерактивні аплети, відеоінструкції або мініуроки, які вони зможуть використовувати під час педагогічної практики. Така діяльність розвиває у майбутніх учителів здатність до педагогічного моделювання, формує вміння поєднувати теоретичні знання з практичними цифровими інструментами.

Таким чином, методика викладання відповідного навчального матеріалу у контексті підготовки майбутніх учителів математики охоплює не лише технологічну сторону побудови в GeoGebra, але й забезпечує формування цілісної професійної компетентності – здатності ефективно візуалізувати навчальний матеріал, адаптувати цифрові інструменти до шкільного середовища та здійснювати педагогічну рефлексію.

В межах вивчення алгебри за допомогою GeoGebra студенти створюють графіки функцій, змінюючи їх параметри у реальному часі. Це дозволяє наочно спостерігати залежність між коефіцієнтами функції та формою графіка, досліджувати області визначення і значень, зростання, спадання, екстремуми тощо [3]. У планіметричних та стереометричних побудовах студенти виконують завдання з побудови трикутників, багатокутників, тіл обертання та багатогранників, досліджують властивості симетрії, бісектрис, медіан, моделюють і перевіряють відомі теореми тощо. Окрім того, вивчаються принципи математичного моделювання – побудова динамічних моделей, візуалізація руху, моделювання залежностей між величинами, створення анімацій тощо.

Важливим елементом є інтеграція GeoGebra в педагогічну діяльність. Студенти вчаться не лише створювати моделі, а й критично мислити з точки зору їх використання в школі. Вони оцінюють, наскільки певна модель підходить до теми уроку, як її можна адаптувати до рівня учнів, на якому етапі уроку вона буде найефективнішою, які запитання варто поставити учням для активного включення в процес вивчення матеріалу.

Застосування цієї методики дозволяє досягти кількох важливих результатів. По-перше, студенти розвивають візуальне та логічне мислення, що є основою математичної грамотності. По-друге, підвищується рівень мотивації до навчання та самоосвіти. По-третє, формується цифрова педагогічна компетентність, що дозволяє майбутнім учителям ефективно використовувати сучасні ІКТ у навчальному процесі.

Навички візуалізації (як розвивати так і застосовувати) здобувачі освіти можуть під час практичної підготовки (у межах педагогічної практики), а GeoGebra виступає для цього незамінним помічником. На відміну від аудиторних занять, студенти в

більшій мірі самостійно набувають навички візуалізації навчального матеріалу, а керівник практики та методист надають лише консультації.

Під час практики студенти можуть використовувати GeoGebra для демонстрації нових понять на етапі пояснення матеріалу (наприклад, властивості графіків функцій, геометричні побудови, симетрії, трансформації). Вони також можуть застосовувати її на етапі закріплення знань або при розв'язуванні задач – як засіб перевірки правильності, візуалізації умов або пошуку оптимального підходу. Крім того, GeoGebra дає змогу створювати авторські інтерактивні завдання та тести, які можна використовувати для індивідуальної чи групової роботи з учнями, сприяючи формуванню критичного мислення та дослідницьких навичок.

Зокрема, зважаючи на завдання навчальної (предметної) практики (формування практичних умінь і навичок розв'язування задач олімпіадного характеру та задач підвищеної складності зі ШКМ; надбання та розвиток навичок організації та проведення математичних олімпіад, роботи МАН; удосконалення професійних знань, умінь і навичок необхідних вчителю математики у сучасних умовах з обдарованою учнівською молоддю; вироблення практичних умінь виготовлення дидактичних засобів навчання математики; формування фахових компетентностей майбутнього вчителя математики), навички візуалізації студенти формують у процесі розв'язання цих завдань.

Під час формування практичних умінь і навичок розв'язування задач олімпіадного характеру та задач підвищеної складності з шкільного курсу математики (ШКМ), GeoGebra виступає як інструмент глибокого аналізу умов задач, виявлення прихованих зв'язків між об'єктами, перевірки гіпотез. Студенти створюють динамічні моделі, які дозволяють варіювати параметри та досліджувати вплив окремих елементів на побудову фігур чи поведінку функцій. Це не тільки сприяє їхньому власному розумінню задачі, а й дозволяє реалізувати візуальні пояснення для учнів, які здійснюють підготовку до участі в олімпіадах.

У процесі надбання навичок організації та проведення математичних олімпіад і заходів Малої академії наук, студенти можуть застосовувати GeoGebra для створення інтерактивних стендів, демонстраційних моделей, презентацій, що супроводжують розбір задач або методику їх розв'язання. Така діяльність формує вміння візуально структурувати навчальний матеріал, а також навички створення цифрових засобів представлення математичного контенту.

Удосконалення професійних умінь і знань, необхідних учителю для роботи з обдарованою учнівською молоддю, передбачає здатність адаптувати складний матеріал до рівня учнів, пояснювати його через моделювання та експеримент. Використовуючи GeoGebra, студенти розробляють візуальні засоби, які підсилюють абстрактні поняття: наприклад, побудову дотичних, розв'язування задач на максимум і мінімум, вивчення властивостей геометричних місць точок.

При виготовленні дидактичних засобів навчання студенти створюють електронні моделі, які можуть бути використані як інтерактивні робочі аркуші, аплети для фронтальної роботи або ресурси для дистанційного навчання. Такий досвід сприяє формуванню технічної грамотності та дизайнерського мислення у візуалізації математичного змісту.

Загалом, виконання цих завдань сприяє глибокому формуванню фахових

компетентностей майбутнього вчителя математики: умінню застосовувати цифрові технології, візуалізувати навчальний матеріал, організовувати освітній процес із врахуванням індивідуальних особливостей та інтересів учнів, особливо тих, які проявляють здібності до математичної діяльності.

Загалом, інтеграція GeoGebra у практичну діяльність студентів під час педагогічної практики дозволяє їм не лише ефективно реалізовувати навчальні цілі, а й набувати досвіду використання сучасних цифрових інструментів, які відповідають вимогам Нової української школи та цифрової трансформації освіти.

Згідно з дослідженнями та анкетуваннями студентів педагогічних спеціальностей, використання GeoGebra сприяє:

- підвищенню мотивації до вивчення математики;
- покращенню розуміння складних тем;
- формуванню навичок самостійного дослідження і експериментування;
- розвитку ІКТ-компетентностей;
- готовності до застосування цифрових інструментів у майбутній професійній діяльності.

Попри очевидні переваги, впровадження GeoGebra стикається з такими труднощами:

- недостатній рівень цифрової грамотності у частини студентів;
- обмежений час на освоєння інструменту в рамках навчальної програми;
- потреба у методичних матеріалах, орієнтованих на українську шкільну програму.

Отже, використання програмного середовища GeoGebra у професійній підготовці майбутніх учителів математики сприяє ефективному формуванню навичок візуалізації математичного матеріалу, аналітичного, логічного та візуального мислення студентів, формуванню їхньої інформаційно-цифрової та педагогічної компетентності.

Методично обґрунтоване та поетапне впровадження GeoGebra під час вивчення математичних дисциплін дозволяє не лише опанувати інструмент, а й осмислити його дидактичну цінність. Важливо, що студенти мають можливість застосовувати набуті вміння і під час педагогічної практики: створювати авторські дидактичні ресурси, проводити демонстрації, моделювати математичні процеси, організовувати математичні заходи.

Практичне застосування GeoGebra сприяє розвитку вміння візуалізувати складні математичні поняття, адаптувати подачу матеріалу до різних рівнів учнів, підвищує мотивацію до навчання як у студентів, так і в школярів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білошапка Н. М. Формування у майбутніх учителів математики вмінь використовувати засоби комп'ютерної візуалізації у професійній діяльності : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Суми, 2018. 283 с.
2. Друшляк М. Г. Теорія і практика формування візуально-інформаційної культури майбутніх учителів математики та інформатики у закладах вищої освіти : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04. Суми, 2020. 541 с.
3. Дубовик В. В., Рудницький С. О. Visualization of educational content in the training of future mathematics teachers using GeoGebra. *Збірник наукових праць Сумського державного педагогічного університету. Серія: Педагогіка*. 2022. Вип. 2. С. 56–62. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-034-2-005>.

4. Кириласчук С. А., Бондаренко З. В., Клочко В. І. Проектування технології візуалізації вивчення курсу вищої математики. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. № 4. С. 73–78.
5. Пилипенко О. С. Формування STEM-компетентностей студентів закладів фахової передвищої освіти у навчанні математики : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Кривий Ріг, 2021. 230 с. DOI: <https://doi.org/10.31812/123456789/8070>.
6. Поліщук Т. В., Іщенко Г. В., Возносименко Д. А. Підготовка майбутніх учителів математики у процесі вивчення математичних дисциплін з використанням пакету GeoGebra. *Психолого-педагогічні проблеми сучасної школи*. 2020. № 2. С. 123–128. DOI: <https://doi.org/10.31499/2307-4914.21.2020.205462>.
7. Семеніхіна О. В. Професійна готовність майбутнього вчителя математики до використання програм динамічної математики: теоретико-методичні аспекти : монографія. Суми : СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2016. 268 с.

REFERENCES

1. Biloshapka, N. M. (2018). Formuvannya u maibutnikh uchyteliv matematyky vmin vykorystovuvaty zasoby kompiuternoї vizualizatsii u profesiinii diialnosti [Formation of future mathematics teachers' skills to use computer visualization tools in professional activity] (PhD dissertation). Sumy [in Ukrainian].
2. Drushlyak, M. H. (2020). Teoriia i praktyka formuvannya vizualno-informatsiinoї kultury maibutnikh uchyteliv matematyky ta informatyky u zakladakh vyshchoї osvity [Theory and practice of forming visual-information culture of future teachers of mathematics and informatics in higher education institutions] (Doctoral dissertation). Sumy [in Ukrainian].
3. Dubovyk, V. V., & Rudnytskyi, S. O. (2022). Visualization of educational content in the training of future mathematics teachers using GeoGebra. *Collected Scientific Works of Sumy State Pedagogical University*, (2), 56–62. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-034-2-005>.
4. Kyrylashchuk, S. A., Bondarenko, Z. V., & Klocho, V. I. (2020). Designing visualization technologies for higher mathematics course [Proektuvannya tekhnolohii vizualizatsii vyvchennia kursu vyshchoї matematyky]. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, (4), 73–78 [in Ukrainian].
5. Pylypenko, O. S. (2021). *Formation of STEM competencies of vocational college students in mathematics education* [Formuvannya STEM-kompetentnostei studentiv zakladiv fakhovoi peredvyshchoї osvity u navchanni matematyky] (PhD dissertation). Kryvyi Rih. <https://doi.org/10.31812/123456789/8070> [in Ukrainian].
6. Polishchuk, T. V., Ishchenko, H. V., & Voznosymenko, D. A. (2020). Training future mathematics teachers in the study of mathematical disciplines using the GeoGebra software package [Pidhotovka maibutnikh uchyteliv matematyky u protsesi vyvchennia matematychnykh dystsyplin z vykorystanniam paketu GeoGebra]. *Psychological and Pedagogical Problems of the Modern School*, (2), 123–128. DOI: <https://doi.org/10.31499/2307-4914.21.2020.205462> [in Ukrainian].
7. Semenikhina, O. V. (2016). *Profesiina hotovnist maibutnoho vchytelia matematyky do vykorystannia proham dynamichnoi matematyky: teoretyko-metodychni aspekty* [Professional readiness of future mathematics teachers to use dynamic mathematics software: Theoretical and methodological aspects] (Monograph). Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko [in Ukrainian].