

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД «ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ПІКАЛОВА ВАЛЕНТИНА ВАЛЕРІЇВНА

УДК [004.94+51]:378.147

ДИСЕРТАЦІЯ

**ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ GEOGEBRA ЯК ІНСТРУМЕНТА
РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ STEM-ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ
МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ**

13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті

01 – Освіта/Педагогіка

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В. В. Пікалова

Науковий керівник **Семеріков Сергій Олексійович**, доктор педагогічних наук,
професор

Кривий Ріг – 2021

АНОТАЦІЯ

Пікалова В. В. Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Аналіз психолого-педагогічної літератури показав, що STEM-освіта є інноваційним підходом, що впроваджується та розвивається спільними зусиллями науковців і освітян багатьох країн світу, зацікавлених у розвитку наукоємних виробництв і високих технологій. STEM-освіта поширюється на всі освітні рівні, що зумовлює особливе значення її впровадження в систему підготовки майбутнього вчителя, оскільки саме вчитель є головним рушієм змін в освіті.

STEM-освіту визначено як інноваційну модель природничо-математичної освіти XXI століття, а її впровадження – як широкомасштабний світовий експеримент, у ході якого визначається змістова компонента моделі (здійснюється добір і структуризація змісту освіти), апробується процесуальна компонента (використовувані форми, методи, засоби навчання, специфіка організації освітнього процесу в його конкретних аспектах), уточнюється концептуальна компонента (термінологічний апарат, засадничі принципи тощо).

Виокремлено інтегративний, діяльнісний та технологічний підходи як ключові для STEM-освіти. Показано, що збільшення обсягу і значущості самостійної дослідницької роботи потребує її раціональної організації на технологічних засадах.

Проаналізовано потенціал математики як STEM-дисципліни у шкільній та університетській освіті. Визначено інтегративну роль математики в комплексі STEM-дисциплін, зумовлену універсальністю математичного апарату, повсюдністю його використання, математизацією різних галузей знань; істотним впливом математичної освіти на розумовий, морально-вольовий та естетичний розвиток особистості; винятковою значущістю математичного

моделювання та обчислювального експерименту на його основі як провідного методу науково-дослідницької, інженерно-технічної та практичної діяльності людини.

Окреслено проблеми в підготовці вчителів математики до впровадження елементів STEM-навчання, які зумовлюють необхідність проведення теоретичних обґрунтувань і розвідок щодо модернізації вищої педагогічної освіти в контексті реалізації концепції STEM-освіти.

Розкрито освітньо-розвивальний потенціал та визначальні особливості пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики: позиціонування пакету як системи комп'ютерної математики, орієнтованої на підтримку навчально-дослідницької діяльності; потужність пакету і неперервність його вдосконалення, здійснюваного міжнародним колективом розробників; широкий діапазон застосувань у STEM-освіті та її відгалуженнях (STEAM, STREAM та інших), у науково-дослідницькій і практичній діяльності різного спрямування; вільне поширення повнофункційної версії пакету українською мовою; незалежність від апаратури та операційної системи; наявність хмаро орієнтованої версії; велика база вільно поширюваних освітніх STEM-ресурсів, створених відкритою GeoGebra-спільнотою; можливість візуалізації комп'ютерних моделей у віртуальній і доповненій реальності та їх матеріалізації засобами 3D-друку.

Розроблено й теоретично обґрунтовано педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики: створення хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra; уведення в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra; застосування комплексу засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації їхньої

позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального й групового коучингу.

Проведено педагогічний експеримент для перевірки ефективності обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики. Розроблено критерії та показники сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти: мотиваційно-ціннісний (усвідомлення майбутніми вчителями цінності математичних знань, математичного апарату як основи комп'ютерних досліджень будь-яких об'єктів; мотивація до оволодіння математикою; готовність до подолання труднощів); практиологічний (уміння майбутніх учителів покроково планувати комп'ютерне дослідження, застосовуючи технологію його проведення; уміння раціонально застосовувати функціонал GeoGebra для проведення дослідження; уміння аналізувати його результати й робити висновки); метакогнітивний (здатність майбутніх учителів критично оцінювати рівень власних знань для вирішення поставленої проблеми; уміння ефективно використовувати різні способи набуття знань; прагнення до постійного освітнього зростання; здатність до застосування пакету GeoGebra для проведення трансдисциплінарних досліджень). Схарактеризовано репродуктивний, частково-пошуковий та творчий рівні сформованості за кожним із критеріїв, розроблено шкали для їх вимірювання, визначено та дібрано діагностичний інструментарій. Опрацювання експериментальних даних здійснено з використанням методів математичної статистики. Отримані результати засвідчили ефективність обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що: *вперше* теоретично обґрунтовано педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх

учителів математики: створення хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra; уведення в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra; застосування комплексу засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації їхньої позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального й групового коучингу; визначено критеріально-діагностичний апарат для оцінки ефективності запропонованих педагогічних умов; уточнено освітньо-розвивальний потенціал пакету GeoGebra у STEM-освітній підготовці майбутнього вчителя математики; удосконалено STEM-орієнтовані методи й форми організації навчання майбутніх учителів математики; набули подальшого розвитку теоретико-методичні засади реалізації STEM-освіти в підготовці майбутніх учителів та використання систем комп'ютерної математики для реалізації навчальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в їхній достатній готовності до впровадження в процес підготовки майбутніх учителів математики в закладах вищої освіти; локалізовано пакет GeoGebra українською мовою; розроблено навчально-методичне забезпечення використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики в педагогічних закладах вищої освіти: навчальний посібник з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти; комплекти дослідницьких завдань і навчальних моделей для проведення STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra; хмаро орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей, представлений у GeoGebra Book; завдання для індивідуальної STEM-орієнтованої навчально-дослідницької діяльності студентів з використанням GeoGebra-моделювання (тематичні розробки,

сценарії, презентації, добірки аудіо- та відеоматеріалів тощо).

Виконане дослідження не вичерпує всіх аспектів аналізованої проблеми. До перспективних напрямів подальших наукових розвідок нами віднесено розробку моделі професійної підготовки майбутніх учителів математики на засадах інтегративного підходу, методичних засад реалізації STEM-освіти в навчанні майбутніх учителів фізики, інформатики та технологій.

Ключові слова: пакет GeoGebra, GeoGebra-моделювання, концепція STEM-освіти, підготовка майбутніх учителів математики, педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Pikalova V. V. Using GeoGebra as a tool for implementing the concept of STEM education in the process of pre-service mathematics teachers' training. – Qualification scientific work on the rights of manuscript.

The analysis of scientific literature showed that STEM education that is both being implemented and developed by the joint effort of scientists and educators of many countries in the world, interested in the development of knowledge-intensive industry and high technology. The concepts of STEM education are applied to all the levels of education, implementing them into the professional pre-service mathematical teachers' training acquires special importance, as the teacher is the main driver of change in education.

STEM education is defined as an innovative model of natural and mathematical education of the XXI century, and its implementation – as a large-scale global experiment, which determines the semantic component of the model (selection and structuring of educational content), testing the procedural component (used forms, methods, teaching aids, the specifics of the organization of the educational process in its specific aspects), the conceptual component is specified (terminological apparatus, basic principles, etc.).

Integrated, activity and technology-based approaches as key for STEM-education are singled out. It is shown that the increase in the volume and significance

of independent research work requires its rational organization on a technological basis.

The potential of mathematics as a STEM discipline in school and university education is analyzed. The integrative role of mathematics in the complex of STEM disciplines, determined by the universality of the mathematical apparatus, the ubiquity of its use, the mathematization of various branches of knowledge is determined; significant influence of mathematical education on the mental, moral and aesthetic development of the individual; the exceptional importance of mathematical modeling and computational experiment on its basis as a leading method of research, engineering and practical human activities.

Problems in the preparation of mathematics teachers for the introduction of elements of STEM learning are outlined. That is necessitate theoretical substantiation and research on the modernization of higher pedagogical education in the context of effective implementation of the STEM concept.

The educational and development potential and defining features of the GeoGebra as a tool for implementing the concept of STEM education in the process of training pre-service mathematics teachers are revealed: positioning GeoGebra as a system of computer mathematics focused on supporting research activities; the power of the software and the continuity of its improvement, carried out by an international team of developers; a wide range of applications in STEM education and its branches (STEAM, STREAM and others), in research and practical activities in various fields; free distribution of the full-featured version in Ukrainian; independence from hardware and operating system; availability of cloud-oriented version; a large database of freely distributed educational STEM resources created by the global GeoGebra community; the ability to visualize computer models in virtual and augmented reality and their materialization by 3D printing.

Developed and theoretically substantiated pedagogical conditions for using the GeoGebra as a tool for implementing the concept of STEM education in the training pre-service mathematics teachers, such as designing a cloud-based educational environment that contains software, information, didactic and methodological

resources for organizing and supporting various educational activities using GeoGebra; introduction into the educational process of training mathematics pre-service teachers the workshop on computer STEM research using GeoGebra; application of a set of tools to stimulate students to STEM-based GeoGebra-modeling based on the organization of their extracurricular activities, involvement in the GeoGebra-community and the use of individual and group coaching.

In order to test the effectiveness of reasonable pedagogical conditions for using GeoGebra as a tool for implementing STEM education in the process of training pre-service mathematics teachers the pedagogical experiment was conducted. Criteria and indicators of pre-service mathematics teachers ability to use GeoGebra as a tool to implement the concept of STEM-education: motivational-value (awareness of pre-service teachers of the value of mathematical knowledge, mathematical apparatus as a basis for computer research of any objects; motivation to master mathematics, readiness to overcome difficulties); praxiological (the ability of pre-service teachers to plan step-by-step computer research using the technology of its implementation; the ability to rationally use the functionality of GeoGebra for research; the ability to analyze its results and draw conclusions); metacognitive (the ability of pre-service teachers to critically assess their own knowledge to solve the problem; the ability to effectively use different ways of acquiring knowledge; the desire for continuous educational growth; the ability to use the GeoGebra for transdisciplinary research). Reproductive, partial search and creative levels of formation according to each of the criteria are characterized, scales for their measurement are developed, diagnostic tools are defined and selected. The experimental data were processed using the methods of mathematical statistics. The obtained results testified to the effectiveness of reasonable pedagogical conditions of using the GeoGebra as a tool for implementing the concept of STEM education in the process of training pre-service mathematics teachers.

The scientific novelty and theoretical significance of the obtained results is that: for the first time the pedagogical conditions of using the GeoGebra as a tool for implementing the concept of STEM-education in the training of pre-service

mathematics teachers are theoretically substantiated: a cloud-based educational environment that contains software, information, didactic and methodological resources for organizing and supporting various educational activities using GeoGebra; introduction into the educational process of training mathematics pre-service teachers the workshop on computer STEM research using GeoGebra; application of a set of tools to stimulate students to STEM-based GeoGebra-modeling based on the organization of their extracurricular activities, involvement in the GeoGebra community and the use of individual and group coaching; the criteria and indicators for an estimation of efficiency of the offered pedagogical conditions is defined; the educational and developmental potential of the GeoGebra in STEM-based educational training of the pre-service teacher of mathematics is specified; improved STEM-based methods and forms of organizing the training of pre-service mathematics teachers; theoretical and methodological principles of STEM-education in the training of pre-service teachers and the use of computer mathematics systems for the implementation of educational research have been further developed.

The practical significance of the obtained results lies in their sufficient readiness for implementation in the process of training pre-service mathematics teachers in higher education institutions; localized GeoGebra software in Ukrainian; educational and methodological support for the use of the GeoGebra as a tool for implementing the concept of STEM education in the training of pre-service mathematics teachers in higher education: developed a textbook for mastering GeoGebra software as a tool for implementing the concept of STEM education; sets of research tasks and training models for conducting STEM research with GeoGebra; cloud-oriented set of interdisciplinary models presented in GeoGebra Book; tasks for individual STEM-based educational and research activities of students using GeoGebra modeling (thematic designs, scripts, presentations, selections of audio and video materials, etc.).

The study does not cover all aspects of the analyzed problem. Further scientific research of its solution is expedient in the following areas: design the model of professional training for pre-service mathematics teachers based on integrated

approach, methodical support for the implementation of STEM in the training of pre-service teachers of physics, computer science and engineering.

Keywords: GeoGebra, GeoGebra modelling, concept of STEM-education, training of pre-service mathematics teachers, pedagogical conditions using GeoGebra as a tool for implementing the concept of STEM education in the process of pre-service mathematics teachers' training.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Пікалова В. В. Відкриття геометрії засобами динамічної геометрії. Науковий часопис Нац. пед. ун-ту імені М. П. Драгоманова, Сер. 2, Вип. 4, 2001. С. 119 – 127.
2. Пікалова В. В. Підтримка навчальних досліджень у курсі геометрії засобами пакета DG. Комп'ютер у школі та сім'ї, 4(28), 2003. С. 34 – 40.
3. Пікалова В. В. Реалізація STEM-освіти в проєктній діяльності майбутнього вчителя математики. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*, Вип. 9, 2020. С. 95 – 103. DOI: 10.28925/2414-0325.2020.9.8
4. Пікалова В. В. Організація позааудиторної роботи майбутніх учителів математики в середовищі GeoGebra. Педагогічні науки, Вип. 92, 2020. С. 68 – 73.
5. Пікалова В. В. GeoGebra як інструмент упровадження STEM орієнтованих досліджень у практику підготовки майбутнього вчителя математики. Науковий часопис Нац. пед. ун-ту імені М. П. Драгоманова, Сер. 2, Вип. 22(29), 2020. С. 134 – 139.
6. Bilousova L. I., Gryzun L. E., Zhytienova N. V., Pikalova V. V. Search algorithms learning based on cognitive visualization. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2387, 2019. P. 472 – 478. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190472.pdf>. (*Scopus*)
7. Bauch M., Pikalova V. Exploring linear functions: representational relationships. International Journal Information Technologies and Knowledge, Vol. 1,

2007. P. 67 – 71.

8. Пікалова В. В. Сотрудничество с Международным институтом GeoGebra как инструмент совершенствования математической подготовки будущего педагога. Образовательные технологии и общество, Том 16, 2013. С. 564 – 574. URL: http://ifets.ieee.org/russian/depository/v16_i1/html/12.htm.

9. Пікалова В. В., Токарева А. В. Шляхи інтеграції – створення та підтримка освітніх середовищ відкритого доступу в мережі Інтернет. V наук.-практ. конф. молодих учених «Методологія сучасних наукових досліджень», Харків, 2008. С. 92 – 93.

10. Pikalova V. Teaching and Exploring Geometry with GeoGebra. Proc. of the Intl. Conf. Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education, Univ. of South Bohemia, Hluboka nad Vltavou, Czechia, 2010. P. 31. URL: http://home.pf.jcu.cz/~cadgme2010/annotations/43_Valentyna_Pikalova.pdf.

11. Pikalova V. Discovering Steiner's Theorem with GeoGebra. Proc. of the Intl. Conf. GeoGebra, Warsaw, Poland, 2012. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/aVYvB97f>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

12. Пікалова В. В., Шерстюк В. М. Розробка відкритого он-лайн курсу Використання пакету динамічної математики GeoGebra у викладанні математики. III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми теорії і практики дистанційного і електронного образования», Ялта, 2014. С. 112 – 115.

13. Гризун Л. Е., Грудина Ю. О., Пікалова В. В. Розробка комплексу завдань у середовищі GeoGebra для підтримки вивчення функціональної змістової лінії у межах позакласної роботи з математики із старшокласниками. Науково-дослідна робота студентів як чинник удосконалення професійної підготовки майбутнього вчителя: зб. наук. пр. Харків: Харківський нац. пед. ун-т імені Г. С. Сковороди, Вип. 12, 2014. С. 53 – 59.

14. Пікалова В. В. Система підготовки майбутнього вчителя математики до використання пакету GeoGebra у майбутній професійній діяльності.

VI Всеукр. конф. «Інформаційні технології в освіті», Мелітополь, 2014. С. 252 – 262.

15. Pikalova V. GeoGebra-Integrated Professional Development of Pre-service Math Teachers within Discrete Mathematics Course. Proc. of GeoGebra: Global Gathering Conf., Johannes Kepler University, Linz, Austria, 2015. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/oz0TtfO8>.

16. Білоусова Л. І., Пікалова В. В., Столбов Д. В. Особливості використання пакету GeoGebra у системі підготовки майбутнього вчителя математики та інформатики. V Міжнар. наук.-практ. конф. «Математика. Інформаційні технології. Освіта», Луцьк, 2016. С. 119 – 120.

17. Pikalova V. Teaching and Learning Math Behind Computer Science with the Help of GeoGebra and Python. Web Proc. Sixth Central- and Eastern European Conf. Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education, Targu Mures, Romania, 2016. URL: <https://cadgme.ms.sapientia.ro/>.

18. Pikalova V. Play, Invent and Program with Python, GeoGebra, Makey Makey and App Inventor2. Proc. of East West Conf. on Mathematics Education (EWCOME 2017), Warsaw, Poland, 2017. P. 26 – 27.

19. Hrytsenko O., Pikalova V. & Rusina I. Using GeoGebra and Python in Modelling Ukrainian Embroidery. Proc. of East West Conf. on Mathematics Education (EWCOME 2018), Warsaw, Poland, 2018. P. 32 – 33.

20. Hrytsenko O., Pikalova V. & Rusina I. STEAM project: Exploring and Modelling Ukrainian Embroidery. Education Conf. “Gamification and Creativity in STEAM”, Johannes Kepler Univ., Linz, Austria, 2019. URL: <http://mintlinz.pbworks.com/w/page/129872385/Gamification%20and%20Creativity%20in%20STEAM%20Education%20Conference%3A%2017-18%20Jan%202019>.

21. Пікалова В. В. Використання СДМ GeoGebra у ракурсі STEM-освіти майбутніх вчителів. Наук.-практ. інтернет-конференція «Інформаційні технології в освітньому процесі», Чернігів, 2020. URL: <https://tvorchistd.blogspot.com/2020/11/2020.html>.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

22. Гризун Л. Е., Пікалова В. В., Русіна І. Д., Цибулька В. А. Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти: навч. посіб., Харків: ХНПУ імені Г.С. Сковороди, 2018. 80 с.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ІКТ У РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ STEM-ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ.....	25
1.1 Сутність концепції STEM-освіти	25
1.2 STEM-освіта як інноваційний підхід у практиці підготовки майбутніх учителів	39
Висновки до розділу 1	59
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕДАГОГІЧНИХ УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ GEOGEBRA ЯК ІНСТРУМЕНТА РЕАЛІЗАЦІЇ STEM-ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ.....	63
2.1 Специфіка реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики.....	63
2.2 Особливості пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики	74
2.3 Умови ефективного використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики.....	99
Висновки до розділу 2	116
РОЗДІЛ 3 ОРГАНІЗАЦІЯ, ПРОВЕДЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	121
3.1 Критеріально-діагностичний апарат для оцінки ефективності використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики	121
3.2 Загальні питання організації та проведення експериментального дослідження	132

3.3 Використання пакету GeoGebra у процесі підготовки майбутніх учителів математики під час проведення педагогічного експерименту	146
3.4 Аналіз результатів експериментального дослідження.....	183
Висновки до розділу 3	190
ВИСНОВКИ	196
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	200
ДОДАТКИ.....	229
Додаток А Основні компоненти пакету GeoGebra та розділи GeoGebraBook «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra»..	230
Додаток Б GeoGebra Book для підтримки «Практикуму з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти»	237
Додаток В Вхідна анкета для перевірки сформованості мотиваційно-ціннісного критерію.....	246
Додаток Г Діагностична карта для встановлення рівня сформованості кожного з показників практиологічного критерію.....	249
Додаток Д Програма спостережень за зовнішніми проявами показників метакогнітивного критерію та правила їх оцінювання	250
Додаток Е Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	253
Додаток Ж Відомості про апробацію результатів дисертації	257
Додаток И Список закладів вищої освіти та установ, у яких упроваджено результати дослідження	258
Додаток К Довідки про провадження результатів дослідження.....	259

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Підвищення якості природничо-математичної освіти є ключовим завданням для країн, які зорієнтовані на зміцнення конкурентоспроможності економіки та розвиток людського капіталу для забезпечення наукоємних виробництв і технологій. Визнаним індикатором стану природничо-математичної освіти (STEM-освіти) країни є міжнародні порівняльні дослідження її якості (PISA, TIMSS), які надають можливість звірити поступ національної системи освіти зі світовими тенденціями її розвитку. Так, останні дослідження PISA виявили тенденцію до суттєвого відставання України в природничій, а особливо математичній підготовці старшокласників [57]. Результати вступних кампаній останніх років підтверджують зниження інтересу вступників до природничо-математичних спеціальностей, що створює стратегічні ризики для соціально-економічного та технологічного розвитку України. Так, у 2020 році до десяти найпоширеніших спеціальностей, обраних абітурієнтами, увійшли лише дві, що стосуються природничо-математичної освіти, причому лише одного з її складників – інформаційних технологій [162]. Необхідність зростання престижності STEM-освіти як запоруки розвитку країни зумовлює потребу в підвищенні якості професійної підготовки майбутніх учителів STEM-дисциплін.

Стратегічні завдання з підготовки майбутнього вчителя визначено в законах України «Про освіту» [222], «Про вищу освіту» [220], у Концепції розвитку педагогічної освіти [221] та інших нормативних документах, у яких до пріоритетних напрямів реформування освіти віднесено досягнення якісно нового рівня математичної освіти шляхом запровадження прогресивних концепцій, оптимального поєднання гуманітарного та природничо-математичного складників освіти, використання новітніх педагогічних та інформаційних технологій, підготовку нової генерації педагогічних кадрів. Прийнята в Україні Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) [223] базується на документах ЮНЕСКО, зокрема Інчхонській

декларації «Освіта 2030» [20], де STEM-освіту визнано ключовою стратегією досягнення цілей сталого розвитку. Концепція передбачає її широкомасштабне впровадження на всіх рівнях освіти, відзначає ключову роль математики у STEM-освіті та наголошує на необхідності суттєвих змін у системі підготовки, зокрема, майбутніх учителів математики.

Отже, існує суспільний запит і законодавчо обґрунтована необхідність підвищення якості професійної підготовки майбутніх учителів математики через реалізацію концепції STEM-освіти.

Проблеми підвищення якості математичної освіти в середній і вищій школі та професійної підготовки майбутніх учителів математики є предметом досліджень К. Власенко [121], Р. Гуревича [141], М. Жалдака [150], Н. Морзе [193], С. Ракова [132], Ю. Рамського [229], О. Семеніхіної [240], С. Семерікова [170], О. Співаковського [245], Ю. Триуса [241] та ін. Професійну підготовку майбутніх учителів математики до реалізації STEM-освіти розглянуто в працях В. Ачкана [74], Н. Балик [96], Н. Валько [116], Т. Крамаренко [176] та ін.

Дидактичний потенціал і практичні аспекти застосування систем комп'ютерної математики в освітньому процесі з математичних дисциплін розкрито в студіях В. Бикова [100], Л. Білоусової [90], В. Величка [118], В. Гороха [132], М. Жалдака [150], Т. Кобильника [165], У. Когут [165], О. Колгатіна [102], Т. Крамаренко [170], М. Мар'єнко [219], С. Ракова [226], Н. Рашевської [230], О. Семеніхіної [240], С. Семерікова [250], К. Словак [241], О. Спіріна [255], О. Федоренко [118], М. Шишкіної [263], С. Шокалюк [242] та ін. Методиці використання систем комп'ютерної математики в підготовці майбутніх учителів математики присвячено наукові розвідки К. Власенко [121], Л. Гризун [107], Т. Годованюк [128], О. Гриб'юк [135], М. Друшляк [61], О. Семеніхіної [240] та ін.

Дослідники вказують на значний дидактичний потенціал систем комп'ютерної математики педагогічного призначення, таких як пакети GRAN та GeoGebra [255], у реалізації STEM-освіти у вищій та середній школі. Разом з тим проблема ефективного використання зазначених систем як інструментів

упровадження STEM-освіти в практику професійної підготовки майбутніх учителів математики на цей час залишається недостатньо розробленою і в теоретичній, і в практичній площинах.

Проведений аналіз дозволив виявити *протиріччя* між: запитом суспільства на підвищення якості природничо-математичної освіти та її незадовільним станом на ключовому рівні – рівні загальної середньої освіти; визнанням STEM-освіти провідним напрямом модернізації природничо-математичної освіти й недостатнім рівнем запровадження STEM-підходу в процес професійної підготовки майбутнього вчителя математики; потенціалом пакету GeoGebra для реалізації STEM-навчання математики й нерозробленістю науково обґрунтованих підходів до ефективного використання пакету GeoGebra як інструменту реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Актуальність окресленої проблеми, її недостатня розробленість у педагогічній теорії та практиці, а також необхідність розв'язання виокремлених протиріч зумовили вибір теми дисертаційної роботи: **«Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано згідно з планом науково-дослідної роботи Криворізького державного педагогічного університету в межах комплексної теми «Теоретико-методичні основи використання мобільних інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні» (РК № 0116U001867) та відповідно до плану роботи спільної науково-дослідної лабораторії з питань використання хмарних технологій в освіті Криворізького державного педагогічного університету та Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України (м. Київ). Тему уточнено на засіданні Вченої ради Криворізького державного педагогічного університету (протокол № 05 від 10 грудня 2020 року).

Об'єкт дослідження – реалізація концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Предмет дослідження – педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Гіпотеза дослідження. Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики набуде ефективності, якщо розробити та впровадити науково обґрунтовані педагогічні умови, що полягають у: створенні хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra; уведенні в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra; застосуванні комплексу засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації їхньої позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального і групового коучингу.

Відповідно до мети й гіпотези визначено такі основні **завдання дослідження:**

1. Розкрити сутність концепції STEM-освіти та проаналізувати досвід її впровадження в практику підготовки майбутніх учителів математики.

2. Схарактеризувати освітньо-розвивальний потенціал та особливості пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

3. Теоретично обґрунтувати педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

4. Розробити критеріально-діагностичний апарат для перевірки ефективності обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти та провести педагогічний експеримент з перевірки їхньої ефективності.

Теоретико-методологічні засади дослідження становлять положення філософії освіти (В. Андрющенко [91], В. Кремень [146], В. Курило [171]); інноваційних технологій в освіті (Н. Волкова [145], І. Дичківська [70], О. Пехота [205]); професійної підготовки майбутнього вчителя математики (М. Жалдак [150], І. Лов'янова [74], О. Матяш [190], Ю. Рамський [229], О. Семеніхіна [240], С. Скворцова [244]), зокрема організації самостійної роботи студентів (В. Буряк [113], О. Колгатін [102], О. Малихін [188]); цифровізації освітнього процесу у ЗВО (В. Биков [100], К. Власенко [121], М. Жалдак [150], О. Колгатін [102], В. Кухаренко [37], О. Меньяйленко [80], Н. Морзе [193], Л. Панченко [47], Ю. Рамський [229], І. Роберт [55], О. Спіріна [255], О. Федоренко [118]); використання хмарних технологій в освіті (В. Биков [100], Т. Вакалюк [115], К. Власенко [74], Т. Волошина [126], С. Литвинова [184], М. Мар'єнко [219], Н. Морзе [193], З. Сейдаметова [239], С. Семеріков [170], О. Спірін [255], А. Стрюк [62], Ю. Триус [241], М. Шишкіна [263]); використання ІКТ у математичній освіті (В. Биков [100], Л. Білоусова [90], Ю. Горошко [133], Л. Гризун [107], Р. Гуревич [141], М. Жалдак [150], Н. Житеньова [104], Т. Кобильник [165], С. Раков [226], Ю. Рамський [229], Н. Рашевська [230], О. Семеніхіна [240], К. Словак [241], О. Співаковський [245], Ю. Триус [241], С. Шокалюк [242]); реалізації STEM-освіти (Н. Валько [116], Ж. Лавіца (Z. Lavicza) [25], Н. Морзе [193], І. Сліпухіна [218], О. Струтинська [67], К. Фенівеші (K. Fenyvesi) [38], М. Хохенвратер (M. Hohenwarter) [38], І. Чернецький [218]).

Досягненню мети й реалізації завдань дослідження сприяло застосування **комплексу методів дослідження: теоретичних** – аналіз, порівняння, систематизація та узагальнення наукової літератури з метою виявлення стану розробленості теми дисертаційної роботи та уточнення понятійно-

термінологічного апарату; аналіз досвіду реалізації STEM-освіти в підготовці майбутніх учителів математики; узагальнення та систематизація теоретичних положень для обґрунтування педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики; *емпіричних* – спостереження, анкетування, тестування, опитування, аналіз результатів виконання контрольних та індивідуальних навчально-дослідних завдань для виявлення ефективності використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти; педагогічний експеримент з метою перевірки розроблених педагогічних умов; *методи математичної статистики* для визначення статистичної значущості отриманих результатів експерименту.

Експериментальна база дослідження. Дослідно-експериментальну роботу проведено протягом 2015 – 2020 років на базі Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди, Криворізького державного педагогічного університету, Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського, Волинського національного університету імені Лесі Українки, Чернігівського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти імені К. Д. Ушинського, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». На різних етапах дослідження було залучено 343 студенти та 26 викладачів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що: *вперше* теоретично обґрунтовано педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики: створення хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra; уведення в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra; застосування комплексу засобів

стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації їхньої позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального й групового коучингу; визначено критеріально-діагностичний апарат для оцінки ефективності запропонованих педагогічних умов; *уточнено* освітньо-розвивальний потенціал пакету GeoGebra у STEM-освітній підготовці майбутнього вчителя математики; *удосконалено* STEM-орієнтовані методи й форми організації навчання майбутніх учителів математики; *набули подальшого розвитку* теоретико-методичні засади реалізації STEM-освіти в підготовці майбутніх учителів та використання систем комп'ютерної математики для реалізації навчальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в їхній достатній готовності до впровадження в процес підготовки майбутніх учителів математики в закладах вищої освіти; локалізовано пакет GeoGebra українською мовою; розроблено навчально-методичне забезпечення використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики в педагогічних закладах вищої освіти: навчальний посібник з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти; комплекти дослідницьких завдань і навчальних моделей для проведення STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra; хмаро орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей, представлений у GeoGebra Book; завдання для індивідуальної STEM-орієнтованої навчально-дослідницької діяльності студентів з використанням GeoGebra-моделювання (тематичні розробки, сценарії, презентації, добірки аудіо- та відеоматеріалів тощо).

Результати дослідження можуть бути використані в процесі підготовки майбутніх учителів STEM-дисциплін; у системі післядипломної педагогічної освіти та підвищення кваліфікації вчителів математики; у системі неформальної освіти; у навчанні математичних дисциплін у закладах загальної середньої освіти, а також позашкільній освіті.

Результати дослідження **впроваджено** в освітній процес ЗВО України й підтверджено довідками про впровадження: Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди (довідка № 01/10-599 від 10.12.2020 р.), Криворізького державного педагогічного університету (довідка № 09/1-156/3 від 22.02.2021 р.), Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (довідка № 06/05 від 02.02.2021 р.), Волинського національного університету імені Лесі Українки (довідка № 03-28/02/215 від 28.01.2021 р.), Чернігівського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти імені К. Д. Ушинського (довідка № 20/01-13/88 від 01.02.2021 р.), Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (довідка № 66-01-324/7 від 01.02.2021 р.).

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, полягає в: розробці інтегрованої моделі організації залучення студентів до навчально-дослідницької діяльності [7], комплекту завдань STEM-орієнтованих навчальних досліджень [12], технології локалізації пакету GeoGebra та методико-дидактичних матеріалів українською мовою [226], комплекту завдань для STEM-орієнтованих досліджень з використанням пакету GeoGebra [139], рекомендацій щодо роботи з онлайн-матеріалами курсу з використання пакету GeoGebra у викладанні математики [214], системи підготовки майбутнього вчителя математики до використання пакету GeoGebra в майбутній професійній діяльності [108], структури навчально-методичного забезпечення використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики [140], концептуальній ідеї розробки та запровадження міждисциплінарного науково-дослідницького STEAM-проекту [34; 66].

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на конференціях різного рівня: *Міжнародних* – International Conference Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education (Глубока над Влтаву, Чехія, 2010), International Conference GeoGebra (Варшава, Польща, 2012), III конференції

«Проблемы теории и практики дистанционного и электронного образования» (Ялта, 2014), GeoGebra: Global Gathering Conference (Лінц, Австрія, 2015), Sixth Central- and Eastern European Conference Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education (CADGME 2016) (Тиргу-Муреш, Румунія, 2016), V конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта» (Луцьк, 2016), East West Conference Mathematics Education (EWCOME 2017, 2018) (Варшава, Польща, 2017, 2018), 15th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (Херсон, 2019), Education Conference «Gamification and Creativity in STEAM» (Лінц, Австрія, 2019); *Всеукраїнських* – V конференції «Методологія сучасних наукових досліджень» (Харків, 2008), VI конференції «Інформаційні технології в освіті» (Мелітополь, 2014); конференції «Інформаційні технології в освітньому процесі» (Чернігів, 2020); засіданнях кафедри інформатики та прикладної математики Криворізького державного педагогічного університету, кафедри математики Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди.

Публікації. Результати дослідження висвітлено у 22 публікаціях, з них 12 – одноосібні; 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття в науковому періодичному виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 стаття в зарубіжному періодичному виданні, 1 навчальний посібник.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (264 найменування, із них 82 – іноземними мовами), 9 додатків на 37 сторінках, 15 рисунків та 16 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 266 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ІКТ У РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ STEM-ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ

1.1 Сутність концепції STEM-освіти

В Україні, як і в багатьох країнах світу, в яких перспективи європеосоціально-економічного розвитку пов'язують із створенням наукоємних виробництв і впровадженням сучасних технологій в усі сфери життєдіяльності, багато уваги приділяється формуванню національного кадрового капіталу для забезпечення нагальних потреб і запитів ринку праці. Саме це й дало поштовх розвитку STEM-освіти, провідною метою якої є зацікавити учнів у набутті знань з природничих наук і технологій, створити умови для формування в них ключових компетенцій людини XXI століття, які визначають її успішність у сучасному цифровому світі, спрямувати інтерес молоді та забезпечити її готовність до оволодіння професіями, гостро затребуваними в інноваційних галузях економіки. Необхідність інтегрованого розвитку особистості у галузях природничо-математичних дисциплін, інженерії та технологій стимулювало інтегрований підхід до навчання, в рамках якого академічні науково-технічні концепції вивчаються в контексті реального життя. Спрямованістю такого підходу дослідники Н. Цупрос (N. Tsupros), Р. Колер (R. Kohler) та Дж. Холлінен (J. Hallinen) також вважають створення стійких зв'язків між освітою, суспільством, працею і цілим світом [71].

Аналіз джерел засвідчує, що концепція STEM еволюціонувала протягом кількох останніх десятиріч. Аббревіатура STEM походить від Science, Technology, Engineering, Mathematics. На основі STEM з'явилися нові варіанти даного поняття, найбільш поширеними з яких є STEAM (наука, технології, інженерія, мистецтво і математика) і STREM (наука, технології, робототехніка, інженерія та математика).

Завдяки стрімкому розвитку технологій з'являються нові професії, як наслідок затребуваність STEM фахівців повсюдно зростає. Наприклад, в країнах ЄС частка працевлаштованих фахівців в даній області збільшилася з 2000 по 2013 рр. на 12%. Також в європейських країнах прогнозується, що попит на професіоналів в області STEM виросте до 2025 року на 8%, тоді як на інші професії – тільки на 3%. У 2011 році з 16 розглянутих країн ОЕСР в Фінляндії спостерігалось найбільш високе число випускників STEM-спеціальностей, а саме 1109 осіб на 100 тис. населення у віці 20-39 років. Даний показник удвічі більше, ніж в Канаді і Швейцарії. Це, вірогідно, пов'язано з тим, що у Фінляндії інституційна рамка розвитку STEM-освіти була створена ще наприкінці 90-х років. Можна вважати, що саме тоді зародилася саме концепція STEM-освіти. Зокрема, Національний науковий освітній центр LUMA почав координувати взаємодію між школами, університетами, промисловістю і бізнесом. Даний центр розробляє заходи для школярів, наприклад, науково-технічні табори, а також організовує курси підвищення кваліфікації та семінари для вчителів без відриву від роботи. Крім того, LUMA служить в якості ресурсного центру, який надає різні навчально-методичні матеріали в області STEM [9].

Дещо іншою є ситуація у США, де на 100 тис. населення у віці 20-39 років відводиться тільки 475 випускників STEM-спеціальностей. Обмеженість пулу талантів підтверджується і тим, що за станом на 2012-2013 рр. в цій країні налічувалося лише 23,9% випускників з вищою і / або післявузівською освітою в області STEM. Проте, відповідно до тенденції, статус STEM-освіти в США стає все більш значущим. Актуальність STEM-освіти в США підкреслюється і прийнятим у 2013 році Стратегічного плану з розвитку STEM-освіти. В рамках Плану планується до 2020 року підготувати 100 000 нових ефективних вчителів STEM і надати підтримку чинному контингенту педагогів. Іншою метою є збільшення до 50% частки учнів, залучених до STEM, кожного року навчання в середній школі. Крім цього, в США планується збільшити число випускників коледжів і вузів по STEM-спеціальностями на 1 мільйон осіб.

В інших країнах світу також прийняті державні програми з розвитку математичної та науково-технічної освіти. Наприклад, в рамках Плану розвитку освіти Малайзії на 2013-2025 рр. передбачена реформа STEM-освіти. Її планується здійснити в три етапи, кожний з яких має свою конкретну мету: підвищення якості STEM-освіти через вдосконалення навчальних програм, підготовку вчителів, використання комплексних методів навчання (2013-2015 рр.); підвищення громадської обізнаності та зацікавленості в STEM через кампанії в ЗМІ та партнерські зв'язки (2016-2020 рр.); оцінювання успішності ініціатив перших двох етапів і розробка перспективного плану з новими ініціативами і програмами (2021-2025 рр.).

В Австралії в 2015 році була прийнята Національна стратегія розвитку STEM-освіти в школах на 2016-2026 роки (National STEM School Education Strategy) [6], в якій визначено декілька ключових завдань, а саме: підвищити залучення та зацікавленість школярів до STEM; збільшити потенціал вчителів і якість викладання STEM-предметів; підтримати можливості для отримання якісної STEM-освіти в школах; сприяти ефективним партнерським відносинам з вишами, бізнесом і промисловістю тощо.

Подібні національні стратегії та ініціативи прийняті у більш ніж 10 країнах Європи, серед яких Австрія, Німеччина, Франція, Італія, Нідерланди, Норвегія, Великобританія, Італія, Ірландія, Іспанія та інші, а також у країнах пострадянського простору (Україна, Росія, Казахстан, країни Балтії).

Важливим фактом є те, що сьогодні також поширюється міжнародне співробітництво в сфері розвитку STEM-освіти. Серед міжнародних проєктів одним з найбільших вважають проєкт «In Genious», який тривав з 2011 по 2014 роки. У ньому брали участь Австрія, Бельгія, Чехія, Данія, Естонія, Фінляндія, Німеччина та ін. Даний проєкт був спрямований на створення репозиторію інноваційних практик в індустріально-освітній галузі, їх поширення і стимулювання. До участі були залучені понад 1500 вчителів, встановлено співпрацю між 158 школами і представниками промисловості, організовані різні семінари, літні школи, онлайн-конференції тощо.

Іншим прикладом крупного міжнародного проєкту є запусканий у 2013 році трирічний проєкт «MASCIL», в якому взяли участь 11 країн: Австрія, Болгарія, Кіпр, Чехія, Греція, Литва, Нідерланди, Норвегія, Іспанія, Туреччина і Великобританія. Проєкт передбачав розробку та організацію навчальних курсів для вчителів з підтримкою з боку промислової галузі.

Слід відзначити також проєкт «INSTEM» (2012-2015 рр.), націлений на сприяння дослідному навчанню з метою збору інноваційних методів викладання і підвищення інтересу учнів до науки, а також надання всеосяжної інформації про кар'єру в області STEM. У INSTEM взяли участь Австрія, Німеччина, Греція, Ірландія, Італія, Норвегія, Румунія, Туреччина та Великобританія. Крім цього, проєкт став комплексним джерелом навчальних матеріалів і методик викладання предметів STEM.

Проведений аналіз міжнародного досвіду засвідчує, що поступово STEM-освіта стала світовим освітнім трендом. Отже, доцільним є визначення сутності концепції і аналіз причин такого її розповсюдження у світі на основі вивчення нормативних документів [220, 221, 222, 223] та досліджень таких авторів, як Н. Балик [95], С. Кода [167], Н. Поліхун [218], І. Сліпухіна [218], І. Чернецький [218] та інших.

Відповідно до джерел [176; 60], концепція STEM-освіти як окремий напрям дидактики виокремилася в США 2009 року під час президентської кампанії «Educate to Innovate», яка ініціювала партнерство провідних промислових компаній, університетів та установ з метою підвищення мотивації та заохочення молоді до видатних досягнень у STEM.

Отже, можна заключити, що аббревіатура STEM поєднує характерні риси кожного з науково-педагогічних напрямів. Сутність такого поєднання виражається у реалізації міждисциплінарних практико-орієнтованих підходів до вивчення природничо-математичних дисциплін [32; 35]. Отже, в основу STEM-освіти покладено інтегративний підхід до вивчення природничо-математичних дисциплін у комплексі з усіма іншими, що передбачає акцентування на реалізації міждисциплінарних зв'язків, та діяльнісний підхід,

який наголошує на значущості особистісного досвіду набуття знань у процесі практичної діяльності – самостійної або у взаємодії з іншими учасниками, яка не тільки потребує комплексного застосування знань з різних дисциплін, а й спонукає до набуття знань. STEM, таким чином, представляє єдину навчальну парадигму, яка ґрунтується на ідеї практичного застосування знань для розв'язання реальних соціальних, економічних і техніко-технологічних проблем [68]. Формуючи понятійне поле дослідження, необхідно взяти до уваги, що сутність та складові STEM-підходу відповідають сутності навичок, визначених у [69], які прийнято вважати ключовими навичками для фахівців 21 століття, а саме: навички в освоєнні дисциплін, визнаних провідними (рідна та іноземна мова, мистецтво, математика, економіка, природничі дисципліни, географія, історія, держава і право); передові навчальні навички (критичне мислення, творчість, оригінальність у розв'язанні задач, спілкування, співпраця); навички цифрової та медіа-грамотності; 4) навички для успішної кар'єри та життя (адаптивність, ініціативність, самореалізація, крос-культурна взаємодія тощо).

Крім цього, розвиток STEM-підходу в освіті добре узгоджується із групами компетентностей, які визнано найбільш затребуваними на ринку праці 21-го сторіччя, відповідно до результатів дослідження, проведеного із залученням провідних роботодавців світу, і які також корелюють із вищезгаданими здатностями (а деякі групи навіть співпадають).

До таких груп компетентностей дослідники [218] відносять, зокрема такі:

– готовність до розв'язання комплексних практичних проблем в екстремальних ситуаціях професійної діяльності;

– когнітивна гнучкість як здатність до розглядання складної проблеми одночасно у декількох аспектах, швидке адаптування до нових цілей, завдань та зовнішніх факторів, урахування усіх можливих варіантів розв'язання проблеми та прийняття оптимального рішення;

– критичне мислення як уміння будувати й оцінювати факти, виявляти невідповідності і помилки в отриманих даних та у власних судженнях, робити висновки тощо, та креативність;

– організаційні здібності та уміння працювати в команді;

– емоційний інтелект і здатність до ефективної взаємодії та інші групи.

Світовий освітній досвід переконливо демонструє дієвість і практичну спрямованість концепції STEM-освіти для формування означених здатностей і компетентностей, необхідних фахівцям 21 століття. На відміну від звичних освітніх моделей, STEM-освіта фокусується на реальних задачах повсякденного життя, розв'язання яких передбачає застосування комплексного наукового й інженерного мислення, інтегративних знань та узагальнених (а не суто вузьких) навичок. Звідси випливає, що STEM-підхід в освіті усіх рівнів ґрунтується на побудові змісту освіти, навчальних дисциплін і окремих навчальних елементів на трансдисциплінарних засадах із застосуванням новітніх освітніх технологій. До таких технологій дослідники О. Барна [96], Н. Балик [96], Н. Гончарова [130], С. Кода [167], Т. Крамаренко [176] відносять:

– когнітивні технології як сукупність методів, засобів та прийомів оптимізації пошуку, зберігання, аналізу та використання знань засобами ІКТ, що ґрунтується на інтелектуальній діяльності і спрямована на формування дослідницького стилю мислення й розвиток інтелекту [248];

– соціальні технології як сукупність методів, засобів та прийомів, спрямованих на досягнення поставлених цілей та на зміну свідомості людей, культурних і соціальних структур або ситуацій, що дозволить тим, хто навчається, активізувати власну науково-технічну творчість через ефективну комунікацію;

– трансфер знань, що є технологією взаємовигідного співробітництва між університетами, бізнес-структурами і державним сектором, метою якого є передача матеріальної й інтелектуальної власності, експертизи, навчання та навичок між академічними і неакадемічними спільнотами. Зазначається, що у

такий спосіб трансфер знань сприяє інноваціям в економіці і соціальній сфері, забезпечує підвищення рівня конкурентоспроможності кожної людини [15].

Проведений аналіз світового освітнього досвіду, що демонструє дієвість і практичну спрямованість концепції STEM-освіти, дають підстави для найбільш загального визначення її поняття. Європейська координація STEM-досліджень надає можливість усім учасникам STEM-коаліції вивчати, аналізувати, адаптувати, використовувати інноваційні підходи, вироблені в різних країнах. Попри розбіжності у стратегіях реалізації STEM-освіти в різних країнах, спільними залишаються мета її впровадження, ключові підходи у досягненні цієї мети, очікуваний результат.

Зауважимо, що термін «STEM-освіта» використовується сьогодні у різних значеннях. Зокрема, STEM-освіта тлумачиться як низка чи послідовність курсів або програм навчання, педагогічна технологія, інноваційний напрям або підхід, інноваційна методика, категорія, що визначає відповідний педагогічний процес тощо.

Деякі дослідники розуміють STEM-освіту як педагогічну технологію формування і розвитку розумовопізнавальних і творчих якостей учнів / студентів, рівень яких визначає конкурентну спроможність особистості на сучасному ринку праці. Вважають також, що через STEM-підхід до навчання здійснюється інтеграція змісту і методології природничих наук, технологій, інженерії та математики і логічного мислення у співпраці та дослідженнях. Головну мету STEM-освіти дослідники вбачають з одного боку, у забезпеченні інтегрованого формування наукових і практичних знань шляхом здобування особистого практичного досвіду (особистісний аспект), а з іншого, – у підготовці учнів до подальшого навчання і працевлаштування відповідно до вимог XXI століття (соціальний аспект) [218].

Спираючись на вивчення світового досвіду реалізації концепції STEM-освіти та аналіз її рис, які наголошуються дослідниками Т. Крамаренко [176], О. Пилипенко [176], Г. Шмигер [95], ми у межах нашого дослідження розглядаємо STEM-освіту як інноваційну модель природничо-математичної

освіти XXI століття, а її впровадження – як широкомасштабний світовий експеримент, у ході якого визначається змістова компонента моделі (здійснюється добір і структуризація змісту освіти), апробується процесуальна компонента (використовувані форми, методи, засоби навчання, специфіка організації освітнього процесу в його конкретних аспектах), уточнюється концептуальна компонента (термінологічний апарат, засадничі принципи тощо).

В Україні STEM розглядається сьогодні як один з основних пріоритетів розвитку освіти, що проголошено в прийнятій Концепції розвитку STEM-освіти на період до 2027 року. До реалізації STEM-освіти залучені Інститут модернізації змісту освіти, Національна академія педагогічних наук, «Мала академія наук України» та інші інституції, а також створена Коаліція STEM-освіти, яка відіграє роль платформи для об'єднання зусиль компаній, закладів освіти, асоціацій, експертних організацій, муніципалітетів та ЗМІ задля розвитку STEM-освіти в Україні.

З розвитком STEM-освіти в Україні особливого значення набуває поява низки колегіальних рішень і відповідних заходів, які складають відповідне нормативне забезпечення для впровадження цього інноваційного підходу. До них слід віднести, зокрема, рішення Колегії Міністерства освіти і науки України «Про форсайт соціо-економічного розвитку України на середньостроковому (до 2020 року) і довгостроковому (до 2030 року) часових горизонтах (в контексті підготовки людського капіталу)» [256], План заходів щодо впровадження STEM-освіти в Україні на 2016-2018 рр. [217], концептуальні засади реформування середньої школи «Нова українська школа» [69], створення відділу STEM-освіти на базі Інституту модернізації змісту освіти [119] та інші.

У концепції STEM-освіти в Україні [223] визначено основні підходи та шляхи її впровадження, а саме: особистісний підхід, спрямований на врахування вікових та індивідуальних особливостей тих, хто навчається, а також їхніх інтересів та схильностей; постійне оновлення змісту освіти у

відповідності до сучасних тенденцій науки та технологій; створення цілісної національної системи впровадження STEM-освіти як складової єдиного освітнього простору України; спрямованість STEM-освіти на нарощування людського потенціалу держави, підвищення її конкурентоспроможності на світовій арені; підвищення мотивації учасників освітнього процесу до здійснення науково-дослідницької, проєктної та науково-творчої діяльності.

Аналіз науково-педагогічних та нормативних джерел засвідчує, що упровадження STEM-освіти передбачено на всіх рівнях освіти, проте на цей час основна увага науковців і педагогів-практиків зосереджена на питаннях STEM-освіти учнів закладів загальної середньої освіти, і значно менше досліджень присвячено проблемам її реалізації у закладах вищої освіти.

Разом з тим цілком зрозуміло, що рушієм змін у шкільній освіті є вчитель, і тому особливої актуальності набувають питання модернізації підготовки майбутніх учителів в окресленому напрямі, це і стало останнім часом об'єктом досліджень науковців (О. Барна [96], Н. Балик [96], Н. Гончарова [130], С. Кода [167], Т. Крамаренко [176], О. Пилипенко [176], Г. Шмигер [95] та інших). Зокрема, дослідники Т. Крамаренко і О. Пилипенко [176], спираючись на [224], наголошують на тому, що STEM-орієнтований підхід до навчання є актуальним напрямом модернізації та інноваційного розвитку природничо-математичного й гуманітарного профілів освіти. Підкреслюється також важливість підготовки креативних педагогів, які здатні зробити привабливими освітні програми STEM-напрямку для учнів; генерувати ідеї; гнучко застосовувати фундаментальні знання для впровадження засад STEM-освіти у майбутній професійній діяльності для своїх потенційних вихованців. Підготовка такого покоління вчителів розглядається як запорука запровадження STEM-освіти.

У контексті педагогічної вищої освіти і підготовки вчителів різних освітніх напрямів до реалізації концепції STEM-освіти, на думку науковців, найбільшої уваги набувають питання професійної підготовки саме вчителів математики. Це є природним, завдяки значному потенціалу математики як

наукової та навчальної дисципліни в шкільній та університетській освіті щодо ефективного впровадження STEM-підходу до навчання. Розкриємо цей потенціал математики, спираючись на наукові джерела [157; 159; 160; 161; 187; 257].

Дослідники, зокрема О. Л. Швай [261], відзначають, що математика є фундаментальною наукою із значною історією розвитку, яка оперує абстрактними відношеннями, взаємозв'язками та залежностями, що підпорядковані суворій логіці. Разом з цим, історично ця наука виникла з практичних потреб людини, тому її абстрактний апарат дозволяє описувати цілком конкретні і реальні природні та соціальні процеси.

Сьогодні математика перетворилася в комплексну науку, яку вчені характеризують як засіб для точного висловлення наукової думки, а також для вираження функціональних і структурних відносин досліджуваних реальних явищ, формулювання закономірностей тощо. Крім цього, дослідники наголошують на математизації різноманітних галузей знань, вважаючи цей процес характерною ознакою розвитку сучасної науки. Серед основних причин математизації різних наукових галузей виділяють такі фактори:

1. Потреби самих наук вимагають їх математизації. У кожній науці, крім якісних, є кількісні закономірності. Причому знання кількісних сторін дозволяє краще пізнати якісні сторони. Багато галузей сучасної науки переходять на теоретичний рівень дослідження, вивчаючи більш глибокі внутрішні механізми процесів, що відбуваються в природі і суспільстві.

2. Розвиток математики приводить до створення нових методів, які можна застосовувати в інших науках. Сформовані математикою структури і схеми міркувань часто виявляються однаково придатними й ефективними у фізиці, біології, медицині, економіці, соціології тощо.

3. Швидкому процесу математизації наук сприяють також можливості щодо використання сучасних засобів ІКТ, що приводить до зміни характеру наукового пошуку: виникнення нових методів дослідження, розвитку засобів і методів формалізації і математизації науки.

У контексті виявлення потенціалу математики для реалізації концепції STEM-освіти важливим є аналіз етапів математизації наукових галузей, виділених, зокрема у [257]. Першим етапом вважають кількісну обробку дослідних даних. Наголошується, що навіть гуманітарні науки використовують математику для встановлення кількісних закономірностей і співвідношень, ймовірностей (математична обробка результатів експерименту, статистичні методи оцінки ймовірності гіпотез, встановлення кореляційного зв'язку між явищами, встановлення функціональних залежностей за допомогою методів наближення). Для того, щоб можна було застосовувати математичний апарат до певної науки потрібно виробити у цій науці систему понять, які допускають математичну обробку. Крім того, має бути розвинутий відповідний математичний апарат, що застосовується саме в цій науці.

Наступним етапом математизації тієї чи іншої науки є створення математичних моделей явищ. Математичні моделі дозволяють прогнозувати розвиток явища, розглядати випадки, вивчення яких на практиці неможливо. Розробка та використання комп'ютерних моделей дозволяє підвищити точність опису, уникнути прямих помилок, пов'язаних зі спрощеними моделями. Так, наприклад, комп'ютерні математичні моделі довели свою ефективність у вирішенні багатьох завдань аеродинаміки, у фізиці плазми тощо

Найвищим рівнем математизації науки вважають побудову математизованої теорії у тій чи іншій галузі знань. Часто нова теоретична інтерпретація певного явища вважається повноцінною лише тоді, якщо можливо створити математичний апарат, який відображає основні його закономірності, якщо вдається виявити глибоку аналогію між абстрактними математичними поняттями та досліджуваними явищами. Приклади таких математизованих теорій – актуарна математика, гідро та аеродинаміка тощо. Кожна наука рано чи пізно досягає рівня розвитку, при якому виникають можливості виділення математично формалізованих об'єктів, які однозначно визначаються відповідною математичною теорією. Проте математизація кожної

галузі знань протікає специфічним чином із різною швидкістю та досягає лише певного рівня.

Отже, математика як загально-наукова дисципліна забезпечує процес функціонування наукового пізнання, осмислення його динамічної цілісності, суттєво впливає на вдосконалення відповідних наук, задає вектор розвитку сучасної цифрової цивілізації. Процес математизації наук позитивно впливає і на ці наукові галузі, і на саму математику, що призводить до взаємного їх збагачення та розвитку, що стає науковим інтегративним підґрунтям STEM-освіти.

Аналогічною є інтегруюча роль математики як навчальної дисципліни в шкільній та університетській освіті. Вивчення математики дозволяє тим, хто навчається, опанувати систему понять та методів, які є основою для оволодіння інших навчальних предметів, а також усвідомити через математику зв'язок між різноманітними галузями знань.

У [127] зазначається, що функції математики можна вважати функціями гуманітарними, оскільки вони спрямовані на вдосконалення матеріальної і духовної сфер людського буття. Це пояснюється дослідниками тим, що при вивченні предмету математики здійснюється розвиток інтелекту школяра (студента), збагачення його методами відбору та аналізу будь-якої інформації. Вивчення математики благотворно позначається на розумовому розвитку тих, хто навчається, оскільки прищеплює їм навички ясного логічного мислення, що оперує чітко визначеними поняттями. Математика виховує риси вольової діяльності, умоглядного міркування і прагнення до естетичної досконалості.

Вивчення математики також сприяє формуванню громадянських якостей особистості, а також позначається на розумовому, моральному та естетичному розвитку учнів. Одночасно виховуються вольові якості особистості, вміння долати труднощі, без яких неможливо оволодіння науковою теорією, формуються навички самостійної дослідницької роботи, нарешті, виховується інтелектуальна чесність, яка не дозволяє оперувати сумнівними, не доведеними з усією необхідною строгістю фактами. Причому це відноситься не тільки до

вирішення математичних завдань, але і до інших областей людської діяльності, в тому числі і до аналізу явищ суспільно-політичного життя.

Отже, математика як наука і як навчальна дисципліна має значний світоглядний та інтегруючий потенціал. Своїми специфічними засобами математика сприяє вирішенню цілого комплексу завдань, актуальних для ефективного впровадження STEM-підходу в сучасній освіті. Це підвищує актуальність модернізації підготовки сучасного вчителя математики, здатного усвідомити потужність цієї науки для цілісного опанування їх потенційними учнями комплексу взаємопов'язаних дисциплін, що відзеркалено у різних науково-педагогічних джерелах.

Т. Крамаренко та О. Пилипенко [176] зазначають, що для набуття майбутніми учителями математики компетентностей із запровадження STEM-освіти доцільно дедалі ширше використовувати STEM-підходи у викладанні математичних дисциплін. Рекомендується також залучати студентів до розробки і впровадження STEM-проектів під час навчальних та виробничих практик, коли через реалізацію міжпредметних зв'язків студенти практично застосовують знання теорії, краще розуміють математичні поняття, отримують можливість застосувати знання з математики на практиці. Крім цього, доцільною вважають розробку і впровадження інтегрованих навчальних дисциплін, відмічаючи складність створення навчальних програм, що інтегрують STEM-предмети.

Серед проблем, які стоять при підготовці учителів математики до впровадження елементів STEM-навчання, дослідники виокремлюють такі основні завдання. По-перше, виходячи з того, що учитель сьогодні має готувати учнів до комплексного вивчення світу, необхідними є реалізація у навчанні міжпредметних зв'язків, впровадження міжпредметних проектів, розв'язування прикладних задач, проведення інтегрованих уроків. У зв'язку з цим, постає завдання залучення тих, хто навчається, до самостійної дослідницької діяльності, включаючи самостійну постановку проблеми і пошук шляхів її розв'язання. STEM-освіта орієнтує підготовку майбутнього вчителя

математики на суттєве збільшення дослідницької та експериментальної компонентів у пізнавальній діяльності студентів.

Особливу роль у формуванні STEM-компетентностей відіграє метод моделювання як метод дослідження об'єктів, який починається з побудови моделей (інформаційних, математичних, комп'ютерних) процесів в об'єкті, що досліджується, і завершується приведенням результатів, отриманих моделюванням, до умов функціонування об'єкта. Невід'ємною умовою якісної підготовки вчителя до реалізації STEM-освіти є оволодіння новітніми цифровими технологіями, які надають потужні інструменти для модернізації й підвищення ефективності освітнього процесу з природничо-математичних дисциплін.

Іншим важливим завданням при підготовці учителів математики до впровадження елементів STEM-навчання є прищеплення майбутньому учителю навичок обґрунтованого добору змісту навчання, інтегрування тем шляхом виокремлювання певних блоків навчальної програми на основі її змістовного аналізу, побудови системи між предметних задач. Слід також надати майбутнім вчителям математики розуміння принципово нового цілепокладання освітнього процесу в умовах STEM-орієнтованого навчання, а також усвідомлення необхідності зміщення акцентів у навчальній діяльності з вузькопредметних на загальнодидактичні. Це завдання підготовки вчителя пов'язано із необхідним оновленням структури та змісту навчальних предметів, форм і методів навчання. Зокрема, важливо, щоб учитель набув досвіду запровадження таких актуальних форм навчання як «перевернутий» клас (Flipped Classroom), коли опанування теоретичним матеріалом виноситься на самостійне опрацювання, а під час аудиторних занять розглядаються питання їх практичного застосування. Окремо слід акцентувати увагу на підготовці до залучення потенційних учнів до участі у STEM-проектах, що сприятиме їх творчому розвитку, готуватиме їх до розв'язання проблемних ситуацій, реальних задач повсякденного життя.

Важливим завданням є підготовка майбутнього вчителя до визначення та оцінювання результатів навчання через ключові та предметні компетентності.

STEM-навчання реалізується шляхом набуття відповідних STEM-компетентностей, які значною мірою пов'язані з ключовими (надпредметними) компетентностями. До STEM-компетентностей відносять також здатність до інноваційної діяльності, що включає готовність до розв'язання комплексних задач, критичне мислення, креативність, уміння працювати в команді, організаційні здібності, емоційний інтелект, оцінювання і прийняття рішень, здатність до ефективної взаємодії, уміння домовлятися, когнітивна гнучкість.

Наведені проблеми у підготовці учителів математики до впровадження елементів STEM-навчання висувають необхідність проведення теоретичних обґрунтувань та розвідок щодо модернізації вищої педагогічної освіти в контексті реалізації концепції STEM-освіти.

Отже, проведений аналіз дозволяє стверджувати, що STEM-освіта розвивається спільними зусиллями науковців і освітян різних країн, її теоретичні засади уточнюються і розвиваються в процесі упровадження з урахуванням здобутих результатів і нових перспектив. Вищесказане засвідчує актуальність розробки теоретичних і практичних аспектів упровадження STEM-освіти в освітній процес підготовки педагогічних кадрів, особливо вчителів математики.

1.2 STEM-освіта як інноваційний підхід у практиці підготовки майбутніх учителів

STEM-освіта у своїй основі спирається на низку розвинених у педагогічній науці підходів, які широко і продуктивно застосовуються як у теорії, так і на практиці. Це синергетичний, інтеграційний, холістичний підходи, які в комплексі складають основу модифікації змісту і форм організації освітнього процесу, а також особистісний, конструктивістський, дослідницький, проектний підходи, що відображають розуміння особистісної сутності освіти і зумовлюють вибір методів навчання.

У проекті концепції STEM-освіти в Україні [224] окреслено основні підходи її впровадження до яких віднесено:

- особистісний підхід, який спрямований на врахування вікових, індивідуальних особливостей учнів, їхніх інтересів та схильностей;
- перманентне оновлення змісту відповідно до розвитку науки та технології;
- створення цілісної національної системи впровадження STEAM-освіти як складової єдиного освітнього простору України;
- спрямованість STEAM-освіти на нарощування людського потенціалу держави, підвищення її конкурентоспроможності на світовій арені;
- формування мотивації учасників STEAM-освітнього процесу до здійснення науково-дослідницької та проєктної діяльності, винахідництва, участі у різноманітних конкурсах, фестивалях тощо.

Аналізуючи досвід таких розвинених країн як США, Фінляндія, Австралія, Великобританія, Ізраїль, Корея, Сінгапур, з'ясовано, що вони запроваджують державні програми в галузі застосування STEAM-освіти. Однак думки сучасних дослідників щодо технології STEAM неоднозначні і представлені різними варіаціями реалізації даної концепції у системах освіти різних країн світу. У 2013 році в Фінляндії був відкритий LUMA-центр – головна організація для всіх фінських LUMA-центрів, відкритих на базі університетів. Абревіатура LUMA, означає інтеграцію природничо-наукових напрямів і математики, тобто представляє собою STEAM. Діяльність центрів LUMA включає науково-технічні клуби, табори, тематичні дні і курси для дітей та молоді в області STEAM. Також проводяться національні курси підвищення кваліфікації для вчителів по всій Фінляндії [9]. В Іспанії вчителі використовують STEAM-Makerspace для підвищення рівня знань в учнів старшої школи в області геометрії. Колектив педагогів вибрав пілотну групу учнів і розробив для них міждисциплінарні проєкти в галузі науки і техніки з акцентуванням на вивчення геометричних понять. Проєкти включали в себе елементи моделювання, конструювання за допомогою різних інструментів і матеріалів: 3D-ручки і 3D-принтер – пластик, верстати ЧПУ – дерево та ін. Оцінка результатів показала, що застосування STEAM-Makerspace призводить

до кращого розуміння учнями геометрії і її зв'язку з реальним життям [1]. В Австралії STEM-освіті приділяється багато уваги, оскільки вона представляє інтерес для державних, галузевих і освітніх організацій та реалізація такої концепції відіграє вирішальну роль у підготовці людини до майбутнього життя. Тому уряд Австралії всебічно розвиває STEAM – підхід і реалізує для цього ряд програм і проєктів, як для вчителів, так і для учнів. Програма STEAM Professionals in Schools об'єднує викладачів з професіоналами STEAM для вдосконалення практики викладання STEAM і забезпечення навчання STEAM в австралійських школах [6]. Американські студенти і школярі, в навчанні яких використовують концепцію STEM, освоюють дисципліни в практичній прив'язці до досвіду реального світу. Вони вивчають не тільки ті предмети, за назвами яких створено акронім STEM, але й ті предмети, яким приділялося недостатньо уваги. Таке зміщення акцентів було враховано й у навчальних планах відповідних дисциплін. Все це дозволило американським освітянам наблизити процес навчання до вимог сучасної економіки, серед яких здатність основною є швидко виводити на ринок інноваційні та конкурентні продукти [207].

Українські дослідники також активно розпочали запроваджувати STEAM концепцію в освітній площині. Так, у роботі В. Андрієвської та Л. Білоусової [90] розкрито можливості реалізації трьох основних шляхів впровадження STEM-освіти у шкільний процес:

1. STEAM-проєкт, який ґрунтується на певній реальній проблемі, шляхи розв'язання якої потребують інтеграції знань з різних навчальних дисциплін. Результати проведеної роботи оприлюднюються в мережі Інтернет або на конкурсах чи турнірах. Це є найбільш розповсюдженою формою реалізації STEM-освіти у зарубіжній шкільній практиці.

2. STEAM-урок, який є, по суті, зменшеною версією STEAM-проєкту. Певними особливостями STEAM-уроку є те, що кожна частина відповідного уроку чітко структурована і має часовий регламент, окрім цього, кількість

навчальних дисциплін, які можна залучити для вирішення поставленої задачі, є обмеженою.

3. Мейкер-простір (Мейкер-спейс від англ. MakerSpace – простір для мейкера) – це творчий простір дитини, де вона розкриває власні здібності, проявляє талант або обдарованість у певній специфічній діяльності, реалізує власний творчий потенціал, випробовує особистісні можливості й відтворює власні задуми в діяльності, не переймаючись тим, що наступний крок може стати хибним, спілкується з однодумцями. Мейкер-простір, у зарубіжних освітніх інноваційних практиках розглядається як простір, який містить специфічне обладнання (наприклад, 3D-принтери, набори LEGO Education, WeDo 2.0 тощо). Саме у процесі роботи дітей у мейкер-просторі «народжуються» ідеї нових проєктів, які реалізуються у STEAM-проєкті або під час STEAM-уроку. Такі шляхи можна ефективно адаптувати під освітній процес закладів вищої освіти.

Природничі науки, техніка, інженерія і математика, що лежать в основі STEM-освіти є принципово важливими дисциплінами, які значно розширюють можливості студентів у навчанні та повсякденному житті. Найтісніше взаємопроникнення цих наук спостерігається в школі, оскільки програми шкільних предметів у більшій мірі узгоджуються між собою, що є позитивним підґрунтям для формування в учнів цілісної природничо-наукової картини світу, яка показує взаємозв'язок між природничо-математичними науками.

Упровадження ролі STEM-освіти зумовлено не тільки необхідністю підвищення мотивації учнів закладів загальної середньої освіти до поглибленого вивчення предметів природничо-математичних дисциплін, а високим попитом промислової сфери до працівників які володіють певними навичками та компетентностями для вирішення вузько спеціалізованих завдань: інженерних, медичних, екологічних, фармацевтичних, нанотехнологічних, та інших галузях. Зміст навчальних програм ґрунтується на компетентнісному підході, який лежить в основі концепції «Нова українська школа», з урахуванням особливостей впровадження основних змістовних ліній, що

послідовно розкриваються у освітньому процесі [181]. Позитивним моментом у реалізації STEM-освіти є те, що не обмежується творча ініціатива педагогів у пошуку навчального матеріалу, застосуванні методичних підходів тощо.

Для залучення учнів до STEM-освіти створені STEM-лабораторії, більшість з яких враховують комплексний підхід, що базується на міжпредметній інтеграції. Наприклад, МАНЛаб – лабораторія малої академії наук, що включає в себе не тільки традиційну але й дистанційну форму навчання за допомогою віртуальних лабораторій у галузі природничо-математичних дисциплін, а саме фізики, хімії, біології, географії, астрономії, екології, мінералогії можна проводити навчально-наукову діяльність не лише в режимі реального часу, а й в режимі «онлайн» [120].

З 2017 року спостерігалось значне збільшення STEM-лабораторій в закладах загальної середньої освіти України. Так, школи Києва №5, 35, 106 взяли участь у формуванні концепції Нової Української школи та увійшли до сотні шкіл відібраних Міністерством освіти і науки, та одними з перших в Україні отримали STEM-лабораторії. Учні саме цих шкіл першими спробували себе у 3D-модельованні, робототехніці та інших інженерних дослідженнях [260].

Сьогодні запровадження STEAM в освітню сферу розглядається В. Величко [68], Н. Морзе [193], О. Стрижаком [248] та іншими дослідниками, які пропонують різні напрями і шляхи використання STEAM в освітній практиці. Так, учитель математики Ю. Ботузова [112] зазначає, що на уроці геометрії можна провести невелику практичну роботу під час вивчення теми «Медіана трикутника та її властивості». Для реалізації такої роботи автор пропонує скористатися комп'ютерною програмою DG за допомогою якої можна побудувати декілька різних трикутників, провести в них медіани і запропонувати учням дослідити і зробити висновки, що всі медіани трикутника перетинаються в одній точці. Після чого можна запропонувати засобами DG виміряти відрізки, на які поділились медіани точкою їх перетину або ж обчислити площу трикутників, які утворились при перетині медіан і таким

чином школярі дійдуть висновку про співвідношення відрізків або площ тощо. Такі практично-дослідницькі роботи можна проводити під час вивчення різних тем шкільного курсу математики. Окрім цього, Ю. Ботузова вважає використання прикладних задач є одним із напрямів STEM-технологій навчання математики. Такі задачі можуть бути про архітектурні споруди рідного міста, або відомі на весь світ пам'ятки архітектури; це задачі біологічного змісту про розмноження бактерій, ріст популяції комах; хімічного змісту про утворення розчинів, швидкість ходу хімічної реакції; географічного змісту про площу материків, солоність води в морі, висоту гір над рівнем моря; фізичного змісту про швидкість руху тіла, виконану роботу, силу струму тощо [155]. Цікавий досвід висвітлює Д. Васильєва [117], яка зосереджує увагу на основних формах роботи, що доцільно використовувати в сучасній школі в контексті запровадження STEAM-освіти і описує як розвивати дослідницькі навички на уроках математики. Автор наголошує на важливості проведення досліджень, під час яких учні створюють моделі, наприклад тіл обертання, для цього, на першому етапі, вони об'єднуються у групи, після чого вдома створюють з паперу циліндр, конус та півкулю, які мають однакові площі основи та висоти. На уроці школярі експериментально перевіряють співвідношення між об'ємом конуса та циліндра. Для цього можна запропонувати учням насипати, наприклад, манку в конус і після цього пересипати в циліндр і відслідити скільки разів так можна зробити, після чого учні побачать, що три об'єми конуса дорівнює об'єму циліндра, а потім запропонувати самостійно вивести формули об'ємів. На наступному етапі запропонувати учням аналогічно дослідити співвідношення між півкулею, конусом і циліндром тощо. Такий вид роботи сприяє розвитку творчих здібностей школярів, закріпленню навичок дослідницької діяльності, розкриває практичну спрямованість знань, що призводить до глибокого розуміння предмета, зацікавленості ним.

Т. Бондарчук [110], розкриваючи власний досвід використання STEAM на уроках фізики, зазначає, що як його важливий напрямок можна виділити

робототехніку, оскільки для вчителя це спосіб залучити учнів до вивчення важливих областей фізики, техніки та конструювання. Отримані навички уможливають, сприятимуть учням згодом стати фахівцями, що не тільки володіють теоретичними знаннями, а й практичними навичками роботи з складними технологічними об'єктами. Дослідник акцентує увагу на тому, що важливим напрямком у запровадженні STEAM-освіти є розвиток креативних здібностей школярів, тому необхідним є організація та проведення відповідних майстер-класів та практичних занять спрямованих на розвиток саме технічних навичок. Аналізуючи досвід використання STEAM на уроках фізики С. Аверін [83] зауважує, що найбільш ефективним є залучення учнів до конструювання, оскільки діти практично діють з реальними предметами. У якості конструкторів науковець пропонує використовувати Lego роботів. Конструкторська діяльність, на думку автора, істотно відрізняється від предметного маніпулювання і окремі дії дитини підпорядковані основній меті – зробити заздалегідь задуманий предмет. Використанню Lego, як одного з напрямів STEAM, присвячено дослідження О. Тараканової [249]. Автор пропонує використовувати середу віртуального конструювання Lego Digital Designer, оскільки застосування робототехніки є дуже коштовним і багато шкіл не мають необхідну матеріальну базу. Також дослідник зауважує, що для реалізації такої позаурочної діяльності необхідна не тільки спеціальна підготовка педагогів, але й відповідне матеріально-технічне та програмне забезпечення, оскільки педагогічно ефективно запровадження STEAM вимагає ретельної організації і необхідних навичок педагога. Вчителя фізики та інформатики А. Лемешовець та О. Лемешовець [182] діляться досвідом використання STEAM і виділяють найбільш ефективні методи реалізації STEAM, а саме урок-практикум, метод фотопроектів, створення власних відеороликів. Особливої уваги науковці приділяють методу фотопроектів, оскільки застосування такого методу на уроках математики спонукає учнів до: активних дій, використання ІКТ з навчальною метою; збагачення власного досвіду; вміння поділитися досвідом;

вміння побачити красу у звичайному; формування загальнолюдських цінностей – поваги до того, що оточує учня.

Розглядаючи проєктну діяльність як STEM-навчання, Т. Гаврилова та О. Ігнатова [125] виділили основні складові STEM-проєкту в цілому, а також запропонували етапи організації такої діяльності. На думку авторів, перш за все, вибір теми проєкту має бути актуальним з позиції розвитку сучасної технології та інтересів самої дитини і має бути цікавим для виконання дитиною. В рамках роботи над проєктом дослідники пропонують застосовувати стандартний принцип SMART, який включає п'ять критеріїв: конкретність, вимірність, досяжність, доречність, узгодженість з часом.

STEAM-проєкти передбачають, що учні мають створювати щось руками, тому важливим є розробка проєктів, які передбачають таку діяльність. Л. Рождественська [233] у даному ракурсі зазначила, що дієвим є застосування паперу та цифр із залученням учнів до виконання основної роботи руками. Як приклад такого проєкту автор запропонував створювати динамічні тканини, які спочатку відтворюються на графічній сітці, де школярі створювали власні візерунки, проявляючи креативність. Після чого фотографували розроблені об'єкти та завантажували у середовище динамічної геометрії GeoGebra, де, за допомогою векторів, відображення, паралельного перенесення, повороту, проєктували власні варіації рухомих тканин, що породжувало з одного малюнку безліч різних.

С. Григор'єв та М. Курносенко [138] відзначили складність і багатогранність STEM-освіти і зазначили, що наразі існує відсутність STEM-грамотності і необхідною є розробка самих різноманітних програм по виду, напрямку і рівню складності, а також з урахуванням наявної матеріальної бази. Дослідники виділили наступні основні підходи до їх розробки:

1. Розширити освітній досвід в окремих STEM-предметах, використовуючи проблемно-орієнтовану навчально-пізнавальну діяльність, в ході якої аналітичні концепції застосовуються до реальних світових проблем, з метою кращого розуміння складних концепцій учнями.

2. Інтегрувати знання STEM-предметів, щоб створити більш глибоке розуміння їх змісту, що в підсумку призведе до розширення можливостей учнів в майбутньому вибрати технічний або науковий напрямок кар'єри.

3. У STEM-освіті повинен переважати багатoproфільний підхід, який використовує інтегративність в навчанні STEM-дисциплін, як це робиться в реальних виробничих умовах. Тим самим учень зможе застосовувати власні знання для вирішення погано структурованих технологічних проблем, розвивати технічні здатності і більш інтенсивно опановувати навички високоорганізованого мислення. У такому аспекті навчання повинно будуватися на базі проблемно-орієнтованої освітньої діяльності (на основі методу проєктів і технічного проєктування), яка об'єднує наукові принципи, технологію, проєктування і математику в одну шкільну STEM-програму. С. Григор'єв та М. Курносенко [138] зазначили, що така програма може викладатися в якості нового окремого шкільного предмета або використовуватися для надання допомоги вже існуючим STEAM-предметам для досягнення найбільш значущих результатів.

4. Впровадження інноваційних технологій у методику навчання кожному з окремих STEM-предметів і як інтегративний підхід до навчання, де основні поняття науки, технології, інженерії та математики перенесені в одну навчальну програму, названу STEAM [41; 155].

Використання STEAM стало дуже популярним сьогодні, однак деякі дослідники пишуть про те, що для дисциплін технічного напрямку Art спрямування є не достатньо зрозумілим. Однак саме такий напрям STEAM дозволяє розвивати творчі здібності, які є необхідними для будь-якого напрямку. Так, О. Морозова та О. Духаніна [194] розглянули, що дає розвиток творчих здібностей, а саме:

1. Проєктне мислення, яке дозволяє аналізувати проблему в кілька етапів: дослідження, формулювання проблеми, пропозицію варіантів їх вирішення і вибір кращого рішення з усіх можливих, а також етап створення презентації цього рішення. Крім того, проєктний підхід допомагає висловити власну ідею

за допомогою яскравих і доступних візуальних засобів – макета, докладного ескізу, комп'ютерної графіки тощо.

2. Просторове мислення, яке вчить цілісному сприйняттю об'єкта, здатності досліджувати його з різних боків, сприяє розвитку умоглядним навичкам. Автори дослідження вважають, що сприйняття простору в підлітковому віці може позначитися на майбутньому бажанні працювати в галузі технічної або природничо-математичної спеціальності.

3. «Спостережливий» погляд, який формує навички погляду художника на явища світу і життя. Під час роботи з художник виконує важливі аналітичні операції, оскільки щоб зобразити предмет на площині аркуша, необхідно виділити властиві саме цьому предмету риси, узагальнити їх, виділити сутність. Здатність зафіксувати у власній свідомості істотні риси об'єкта або явища, людини, ситуації та ін.

4. Гуманітарна складова культури, яка надає навичок збереження людської особистості за руйнації традиційних культурних норм і цінностей. Завдяки спілкуванню з художніми творами людина може навчитися безпомилково визначати, що є руйнівним, а що справді творчим для людини, її мислення, для культури і соціуму в цілому. Аналізуючи такі об'єкти, людина вчиться розрізняти творчу і руйнівну стилістику мислення і вчиться робити усвідомлений вибір на користь творчої стилістики у професійній та особистій сфер [155].

А. Іманова, Р. Самуратова, А. Жуманбаєва [155], розглядаючи підходи до реалізації STEM-освіти, виокремлюють парне навчання в невеликих групах. Так, наприклад, автори пропонують на заняттях з робототехніки працювати двом учням за одним комп'ютером і збирати один конструктор. Такий підхід, на думку дослідників, передбачає навчання дітей співпраці, допомагаючи дітям вчитися працювати в команді, розвивати навички спілкування, роботи в групі. Розглянутий досвід запровадження STEM концепції в освітню практику розкриває її багатоаспектність, що вимагає адаптації існуючих та розробки нових освітніх програм як у середній так і вищій ланках освіти. Необхідно

особливо відзначити складність і багатогранність STEM-освіти, в результаті чого для вирішення питань, пов'язаних з відсутністю STEM-грамотності,

О. Репін [232], досліджуючи досвід розробки освітніх програм, зазначив, що вони розробляються найрізноманітнішим чином і за видом, і за напрямком, і за рівнем складності. Підсумовуючи власний досвід, дослідник виділив чотири основні напрямки до їх розробки:

1. Перший напрямок полягає у розширенні навчального досвіду в окремих STEM-предметах, використанні проблемно орієнтованої освітньої діяльності, в ході якої аналітичні концепції застосовуються до реальних світових проблем, з метою кращого розуміння складних концепцій учнями.

2. Другий напрямок передбачає інтеграцію знань STEM-предметів для створення більш глибокого розуміння їх змісту, що в підсумку призводить до розширення можливостей учнів в майбутньому обирати технічний або науковий напрям кар'єри.

3. Третій напрямок реалізується через багатопрофільний підхід, який використовує інтегративність в навчанні STEM-дисциплін, як це робиться в реальних виробничих умовах. Тим самим учень зможе застосовувати свої знання для вирішення погано структурованих технологічних проблем, розвивати технічні можливості і більш інтенсивно опановувати навичками високоорганізованого мислення. Саме навчання передбачається будувати на базі проблемно орієнтованої навчальної діяльності (на основі методу проєктів і технічного проєктування), яка об'єднує наукові принципи, технологію, проєктування і математику в одну шкільну STEM-програму. Ця програма може викладатися в якості нового окремого шкільного предмета або використовуватися для надання допомоги вже існуючим STEM-предметам для досягнення найбільш значущих результатів.

4. Четвертий напрямок спрямований на впровадження інновацій в методику навчання кожного з окремих STEM-предметів і як інтегративний підхід до навчання, де основні поняття науки, технології, інженерії та математики перенесені в одну навчальну програму, названу STEM.

В. Даггер [18], К. Зуга [82], Р. Левицька [181], М. Сандерс [56] виділяють наступні шляхи щодо реалізації підходів STEM-освіти:

– розширення навчального досвіду в окремих STEM-предметах, використовуючи проблемне навчання, в ході якого аналітичні концепції застосовуються до глобальних проблем людства, з метою кращого розуміння складних концепцій студентами. З цього приводу досить гостро стоїть питань щодо необхідності вивчення математики й інших точних наук для оволодіння здатністю критично мислити для оцінювання наукового прогресу та розвитку інновацій. З цього підходу випливає спосіб навчання студентів через використання наукових знань для вирішення проблем світу із застосуванням інженерного підходу через самостійне конструювання об'єктів, розробки програмного забезпечення в рамках проєктної діяльності;

– інтегрування знань STEM-предметів, для створення більш глибокого розуміння їх змісту, що має призвести до розширення можливостей студентів для вибору технічного або наукового напрямку в подальшій діяльності;

– переважання багатопрофільного підходу, що ґрунтується на використанні інтегративності в навчанні STEM-дисциплін, на основі реальних виробничих умов. Таким чином майбутній фахівець (студент) зможе застосовувати свої знання на практиці, розвивати технічні здібності й більш інтенсивно опановувати навички високоорганізованого мислення. Навчання має базуватися на основі методу проєктів і технічного проєктування, які об'єднують наукові принципи, технологію, проєктування та математику в єдину STEM-програму (програма окремої нової дисципліни або допоміжна для існуючого STEM-предмету);

– впровадження інновацій в методику навчання кожного із окремих STEM-предметів і як інтегративного підходу до навчання, де основні поняття науки, технології інженерії і математики зібрані в одній навчальній STEM-програмі.

Такий новий підхід до навчання, на думку Н. Балик, О. Барної, Г. Шмигер, посилює дослідницький і науково-технологічний потенціал

студентів, розвиває навички критичного, інноваційного та творчого мислення, вирішення проблем, комунікації та командної роботи [96].

Широкий спектр підходів обумовлений складністю досліджуваного явища. При всьому різноманітті існуючих підходів практично всі дослідники сходяться на думці, що STEM-освіта – це сучасний освітній феномен, що означає підвищення якості розуміння учнями дисциплін, що відносяться до науки, технології, інженерії та математики, мета якої – підготовка учнів до більш ефективного застосування отриманих знань для вирішення професійних завдань і проблем (в тому числі через покращення навичок високоорганізованого мислення) і розвиток компетенції в STEM (результат чого можна назвати STEM-грамотністю) [232]. В межах нашої роботи ми будемо спиратися на інтегративний підхід, як основоположний.

У сучасній системі освіти можна вказати на яскраво виражену вузьку спеціалізацію вчителів, результатом чого знання випускників шкіл здебільшого фрагментарні. Необхідно відзначити, що у відповідь на виклики сучасності в Україні також йде робота з розвитку STEM-освіти. STEM-центр, який є міжпредметним лабораторним комплексом Національного центру «Мала академія наук України», пропонує допомогу у навчально-наукових дослідженнях учням шкіл України як у дистанційному та очному режимі. Робота даного центру спрямована на поєднання міждисциплінарного і проектного підходу у навчанні, а також на підготовку учнівської молоді до інновацій у технологічній сфері, що підтримує інтерес до природничо-математичних і технічних дисциплін [163]. Окрім цього, було запроваджено проект STEM-центрів корпорації Intel, однак на даний час діяльність таких центрів призупинена.

Аналізуючи досвід використання STEM-освіти, ми бачимо, що на сьогоднішній день вона є актуальною як ніколи, забезпечуючи інтегрованість освітнього процесу, оскільки учні мають можливість знайомитися з живою та неживою природою, навчаючись при цьому будувати гіпотези і проводити дослідження, робити висновки за підсумками проведених дослідів. Однак для

того, щоб організувати якісне навчання школярів, перш за все необхідно навчити майбутніх учителів самостійно ефективно запроваджувати концепцію STEM-освіти. Впровадження STEAM-освіти включає розв'язання певних питань підготовки вчителя і має глибинний характер. Необхідною є підготовка вчителя, який постійно дбає про власне і професійне зростання, усвідомлює власну соціальну відповідальність, вміє досягти нових педагогічних цілей. Такі аспекти розкривають роль вчителя не тільки як носія знань, але й як людину, яка має культурні і вселюдські цінності, є провідником ідей державотворення і демократичних змін. Домінантною стає підготовка такого вчителя, який здатний до здійснення міждисциплінарних зв'язків; фахівця, діяльність якого не обмежується лише викладанням власного предмета, а який усвідомлює значущість професійних знань в контексті соціокультурного простору. Важливим є вміння сучасного вчителя організувати освітній процес як цілісну педагогічну взаємодію, яка спрямована на розвиток особистості дитини, її підготовку до вирішення завдань життєтворчості. Сьогодення потребує вмотивованого педагога, який стане агентом змін і буде виступати як тьютор, фасилітатор, мейкер освітнього процесу.

Проте сучасний стан природничо-математичної шкільної освіти потребує корегування через пошук шляхів підвищення інтересу учнів до навчання, а відтак виникає потреба підготовки вчителя-новатора нової формації, який мотивує учнів навчатися. STEM-освіта стає тим майданчиком творчості, де майбутній учитель зможе розвинути свої дослідницькі здібності, навчитися критично мислити, продемонструвати креативність, а відтак і поділитися своїми знаннями з учнями і зацікавити їх науково-дослідницькою діяльністю безпосередньо під час освітнього процесу з математики. Важливо в цьому аспекті довести, що наука має захоплювати, вона повинна зацікавлювати і бути доступною для всіх.

Розвиток освіти залежить від вдалого вибору технологій навчання, а майбутні вчителі є провідниками, які будуть вести учнів за собою. На майбутніх вчителів математики покладено велику відповідальність: не просто

навчити робити елементарні розрахунки та використовувати формули для конкретних розрахунків, а й зацікавити учнів вивчати цей предмет і сформувані у них інтерес та розуміння важливості ролі математики у вивченні інших предметів. У цих умовах виникає необхідність створення нових підходів до формування математичної компетентності, яка полягає в умінні бачити й застосовувати математику в реальному житті, розуміти основи математичного моделювання для участі у навчально-пізнавальній діяльності.

Міністерством освіти і науки України нещодавно було розроблено проекти стандартів підготовки майбутніх учителів математики, де було визначено відповідні компетентності, які поділено на три групи: інтегральна компетентність, загальні компетентності, фахові компетентності. Розроблені програми спираються на необхідність застосування сучасних наукових знань про цілі, цінності та проблеми шкільної математичної освіти, традиційні та інноваційні підходи до їх розв'язання засобами сучасної педагогічної науки. Програмами передбачено ґрунтовне вивчення дисциплін математичного напрямку, методики навчання математики в школі, загальних положень педагогіки та навичок застосування новітніх інформаційно-комунікаційних технологій. Незаперечним є те, що якісна підготовка майбутніх учителів математики буде відбуватися лише тоді, коли встановиться відповідний тісний взаємозв'язок з тими процесами, які відбуваються в сучасній школі.

Досліджуючи питання підготовки майбутніх учителів математики, О. Дроздова [143] зазначила, що на сьогоднішньому етапі модернізації вищої освіти України одним із найважливіших стратегічних завдань є необхідність якісної підготовки майбутніх фахівців на рівні міжнародних стандартів. Розв'язання цього завдання можливе за умови зміни педагогічних методик та впровадження інноваційних технологій навчання.

О. Ануфрієнко [198] акцентує увагу на тому, що підготовка майбутнього вчителя математики має бути спрямована на діяльнісні і інноваційні методи роботи, а також на застосування таких засобів трансляції інформації, які дозволять подолати цифровий розрив між учителем та учнями, окрім цього

вчителю необхідно оволодіти ситуативними і проєктивними методиками навчання математики, в основі яких лежить взаємодія, обговорення, аргументація, діалог, а також орієнтованими на врахування особливостей розвитку кожного окремого учня. Науковець зазначає, що саме STEM-освіта є основою підготовки конкурентно спроможних фахівців і слугує підґрунтям формування ключових освітніх компетенцій та компетентнісного підходу вчителя математики.

Ю. Серебренікова [243], описуючи власний досвід підготовки майбутніх педагогів, пропонує включати до нього такі дисципліни як «STEM-технології в освітній установі», «Інтеграція навчальних дисциплін засобами дослідницької діяльності», «Робототехніка», «Розвиток інженерного мислення», «Логіка і комбінаторика».

Згідно вітчизняним і міжнародним практикам першим кроком на шляху впровадження STEM-освіти є розвиток дослідницьких навичок, тому підготовка за даним напрямком є провідною у підготовці майбутніх педагогів.

Т. Годованюк, Т. Махомета, І. Тягай [128] виокремлюють технологію дослідницького навчання як одну із інноваційних технологій викладання і пишуть, що дослідницьке навчання спрямоване на залучення студентів до справжнього наукового процесу відкриття нового. Дослідницьке навчання є провідною освітньою технологією, яка базується на використанні навчальних досліджень як основного засобу досягнення результату.

Процес формування дослідницької компетентності в професійній підготовці майбутнього вчителя математики представляє собою послідовне оволодіння студентами в різних видах діяльності дослідними знаннями, вміннями, діями, дослідницькими компетенціями та дослідницької позицією.

Дослідницьке навчання – це особливий підхід до навчання, який передбачає домінування продуктивних методів навчання над методами репродуктивними. Таке навчання будується на основі природного прагнення до самостійного вивчення навколишнього світу і головним завданням є здатність самостійно і творчо опановувати нові способи діяльності.

С. Воєводіна та Т. Жукова [123] для формування дослідницьких навичок пропонують авторський курс «Професійний розвиток особистості педагога», метою якого є формування у студентів установки на досягнення високого рівня професіоналізму, надання теоретичної та практичної допомоги у творчому процесі особистісного та професійного розвитку. На завершення вивчення даного курсу автори пропонують створити власну програму професійного і особистісного саморозвитку.

Автори [85] зазначають, що формування дослідницької компетентності майбутніх фахівців ефективно відбувається в процесі вирішення дослідницьких завдань. У цьому ключі доцільною, за думкою автора, є розробка педагогічної моделі формування дослідницької компетентності майбутніх педагогів, яка передбачає реалізацію чотирьох основних етапів діяльності: проєктувального, що включає розробку питань методології, методики і техніки дослідження і його результатом є програма дослідження; інформаційного, який передбачає застосування методів і технологій для отримання масиву достовірних і репрезентативних даних і його результатом є отримання емпіричних даних; аналітичного, який має на меті аналіз даних, їх узагальнення, теоретизацію, опис і пояснення фактів, обґрунтування тенденцій і закономірностей, встановлення кореляційних і причинно-наслідкових зв'язків і його результатом є опис і пояснення досліджуваного явища, об'єкта, процесу; практичного, який передбачає розробку практичних рекомендацій і технологій і його результатом є побудова певної моделі практичного перетворення вивченого явища, об'єкта, процесу, в даному випадку – формування дослідницької компетентності майбутніх педагогів.

Форми організації дослідницької діяльності забезпечують студентам широкий спектр можливостей для придбання ключових умінь і навичок, розвитку особистісних якостей, необхідних педагогу-досліднику для проєктування і успішної реалізації власної професійної біографії.

І. Кондаурова та М. Гусева [168] вважають, що підготовка майбутнього вчителя математики до використання STEM у майбутній практиці має

відбуватися протягом всього терміну навчання бакалаврів. На першому році навчання автори пропонують формувати значущі уміння і навички, вводячи заняття з основ бібліографії (знайомство з принципами добору і роботи з різними інформаційними джерелами, складанням і оформленням списку літератури за темою дослідження відповідно до стандартів та ін.); творчих завдань і контрольних робіт з математичних дисциплін (набуття навичок проведення психолого-педагогічних, методико-математичних досліджень, педагогічної рефлексії та ін.); написання курсової роботи з елементарної математики (формування навичок добору необхідного матеріалу з теми дослідження, а також його структурування та систематизації, оформлення згідно прийнятним вимогам тощо); запровадження творчих майстерень (дослідження професійних біографій видатних педагогів-математиків, ознайомлення з технологією проектування власної професійної біографії та ін.).

На другому році навчання І. Кондаурова та М. Гусєва [168] пропонують формувати професійне самовизначення та становлення майбутнього педагога-математика запроваджуючи практичні і лабораторні заняття з дисциплін професійно-методичного циклу, організованих за допомогою спеціальних форм і методів; організовувати творчу діяльність спрямовану на вирішення проблем, що мають важливе теоретичне, прикладне значення в контексті майбутньої професійної діяльності (знайомство з нестандартними методами рішення математичних задач, формування вміння працювати в команді, розвиток організаційних здібностей і ін.); написання курсової роботи (формування навичок узагальнення та структурування передового педагогічного досвіду та ін.).

Третій рік навчання має бути практико-орієнтованим і дослідники пропонують спрямувати його на творчу самореалізацію становлення професійної біографії педагога-математика за рахунок запровадження самостійних досліджень на базі сучасних освітніх установ під час педагогічної практики (досвід проведення самостійного психолого-педагогічного та / або методичного дослідження в сучасній школі, розвиток педагогічної рефлексії та ін.); участі у семінарах (навички ведення дискусії в науковому середовищі,

захисту власних ідей, підготовка лімітованих за часом доповідей і їх уявлення, розробка тез доповіді та ін.); вивчення запровадження авторського курсу «Основи дослідницької діяльності в області математичної освіти» де пропонують вивчення професійно-значущих особливостей дослідницької діяльності в предметній області «Математика» і організації педагогічного супроводу дослідницької діяльності учнів в школі у процесі запровадження STEM-освіти. На четвертому році навчання дослідники зауважують на проектуванні професійної біографії, оскільки напрацьований досвід дозволяє майбутнім педагогам вийти на наступний рівень і реалізовувати дослідницьку діяльність за допомогою: участі в наукових конференціях, професійних конкурсах (прилучення до професійного спільноті педагогів-математиків і ін.); написання спільних (викладач-студент) науково-методичних статей (напрацювання методичного матеріалу для майбутньої професійної діяльності, навички оформлення наукової публікації та ін.); педагогічної практики (формування готовності до використання навичок дослідницької діяльності для творчого вирішення професійних завдань, навички професійного самопізнання і професійної орієнтації, проектування власної професійної біографії і ін.); випускної кваліфікаційної роботи (демонстрація отриманих за час навчання в університеті навичок і умінь дослідницької діяльності) [168].

Однією з ключових ідей STEM-освіти є ідея реалізації інтегративного підходу. У наукових дослідженнях багато уваги приділяється розкриттю сутності інтегративного підходу, конкретизації способів його реалізації. Вивчають різні види інтеграції дисциплін, які виділяють у залежності від характеру відносин між ними. Разом з тим, термінологічний апарат таких досліджень не є усталеним, є певні розбіжності у тлумаченні понять між-, крос-, інтер-, полі-, мультидисциплінарність тощо.

Інтегративний підхід у STEM-освіті є ключовим. З точки зору реалізації такого підходу з метою подолання роз'єднаності окремих дисциплін важливо розрізняти міждисциплінарні та трансдисциплінарні зв'язки. Міждисциплінарні передбачають інтеграцію різних навчальних дисциплін для різноаспектного

розгляду, вивчення або дослідження об'єкту деякої дисципліни. Можна уточнити, що у випадку залучення споріднених дисциплін йдеться про плюридисциплінарний підхід, а якщо залучаються зазвичай відокремлені дисципліни – про мультидисциплінарний підхід.

На відміну від міждисциплінарного, трансдисциплінарний підхід передбачає зосередження на реальній проблемі і залучення для її розгляду апарату і методів інших дисциплін. Взагалі трансдисциплінарний підхід тлумачиться як такий, що виходить за межі окремих дисциплін, зосереджується на певній реальній проблемі, спирається на її холистичне бачення і передбачає комплексне застосування знань з різних дисциплін з метою отримання нових знань. З точки зору реалізації STEM-освіти кожен з окреслених підходів має свої корисні застосування, проте найбільшого значення набуває трансдисциплінарний підхід, і в організації навчально-дослідницької діяльності студентів ми поетапно залучаємо їх до проведення спочатку досліджень у рамках однієї дисциплін – монодисциплінарних, далі до міждисциплінарних і нарешті до трансдисциплінарних.

Разом тим, у STEM-освіті інтегративний підхід виступає основою не тільки комплексного застосування потенціалу навчальних дисциплін, а й подолання їх відокремленості. Інтеграція розглядається і в іншій площині – як усунення бар'єрів між освітою і реальним життям, між теорією і практикою. Саме це посилює значущість реалізації трансдисциплінарного підходу. Нарешті, ми беремо до уваги і враховуємо ще один інтеграційний аспект – інтеграцію різних форм і способів набуття освіти, поєднання і взаємодоповнення формальної, неформальної та інформальної освіти. У нашому дослідженні це реалізується як інтеграція аудиторної і спеціально організованої позааудиторної форм роботи студентів.

При цьому освітній процес необхідно будувати таким чином, щоб налагоджувалася взаємодія з учителями інших суміжних дисциплін для формування практичних предметних навичок учнів. Важливо використовувати проблемний метод навчання з розв'язанням міжпредметних завдань та проблем,

вирішення яких потребує міждисциплінарної взаємодії. Досягнути певної поставленої мети можна здійсненням інтеграції STEM-дисциплін через участь студентів у навчально-дослідній міждисциплінарній діяльності. Найбільш вдалим для реалізації такої взаємодії є метод проєктів, який вимагає певної підготовки та послідовності виконання основних етапів від постановки проблеми до презентування одержаних результатів.

Продуктивність виконання проєкту значно зростає за умови систематичної взаємодії та злагодженості вчителів (студентів), які спільно реалізують STEM-проєкти [6; 112].

Таким чином, аналіз психолого-педагогічної літератури показав, що різноманітність підходів до підготовки майбутніх учителів математиків, розкривають необхідність запровадження STEM концепції як провідного інноваційного підходу. Запровадження такого підходу забезпечує формування у майбутніх педагогів-математиків набору навичок та вмінь, особистісних якостей, які отримують розвиток в процесі дослідницької діяльності, відіграють ключову роль для майбутніх педагогів в контексті проєктування і реалізації їх професійної біографії. Отримані студентами дослідницькі компетентності стають фундаментом не тільки для здійснення професійної діяльності майбутнього педагога-математика, а є потенціалом для реалізації концепції STEM у процесі навчання учнів. Формування і розвиток значущих особистісних якостей педагога-дослідника дозволяє майбутнім педагогам-математикам отримати конкурентні переваги на ринку праці, що є однією з передумов успішності професійної кар'єри педагога.

Висновки до розділу 1

На підставі аналізу психолого-педагогічної літератури показано, що STEM-освіта є трендом сучасної освіти. Вона виникла як реакція на виклик, зумовлений надшвидким розвитком технологій, що спричинює необхідність орієнтації освіти на випереджальне задоволення потреб сучасної економіки у фахівцях, здатних забезпечувати її розвиток на високотехнологічних засадах.

STEM-освіта сьогодні активно запроваджується у багатьох країнах світу – Франції, Великій Британії, Австралії, Ізраїлі, Китаї, Сінгапурі, Гонконгу, Канаді та інших. В Україні STEM розглядається як один з основних пріоритетів розвитку освіти, що проголошено в прийнятій Концепції розвитку STEM-освіти на період до 2027 року. До реалізації STEM-освіти залучені Інститут модернізації змісту освіти, Національна академія педагогічних наук, «Мала академія наук України» та інші інституції, а також створена Коаліція STEM-освіти, яка відіграє роль платформи для об'єднання зусиль компаній, закладів освіти, асоціацій, експертних організацій, муніципалітетів та ЗМІ задля розвитку STEM-освіти в Україні.

В основу STEM-освіти покладено інтегративний підхід до вивчення природничо-математичних дисциплін у комплексі з усіма іншими, що передбачає акцентування на реалізації міждисциплінарних зв'язків, та діяльнісний підхід, який наголошує на значущості особистісного досвіду набуття знань у процесі практичної діяльності – самостійної або у взаємодії з іншими учасниками, яка не тільки потребує комплексного застосування знань з різних дисциплін, а й спонукає до набуття знань.

Проведений аналіз психолого-педагогічних джерел засвідчує, що в теоретичній площині існує досить багато невирішених питань. Термін STEM-освіта тлумачиться як низка чи послідовність курсів або програм навчання, педагогічна технологія, інноваційний напрям або підхід, інноваційна методика, категорія, що визначає відповідний педагогічний процес тощо. Попри зазначену невизначеність питанням STEM-освіти, висвітленню практичного досвіду реалізації її ідей присвячено багато публікацій. Їх вивчення дає змогу стверджувати, що STEM-освіта розвивається спільними зусиллями науковців і освітян різних країн, і практика випереджує теорію: розуміння STEM-освіти, її теоретичні засади уточнюються і розвиваються в процесі упровадження з урахуванням здобутих результатів і нових перспектив. Попри розбіжності у стратегіях реалізації STEM-освіти в різних країнах, спільними залишаються мета її впровадження, ключові підходи у досягненні цієї мети, очікуваний

результат. Європейська координація STEM-досліджень надає можливість усім учасникам STEM-коаліції вивчати, аналізувати, адаптувати, використовувати інноваційні підходи, вироблені в різних країнах. Виходячи із зазначеного, ми розглядаємо STEM-освіту як інноваційну модель природничо-математичної освіти XXI століття, а її впровадження – як широкомасштабний світовий експеримент, у ході якого визначається змістова компонента моделі (здійснюється відбір і структуризація змісту освіти), апробується процесуальна компонента (використовувані форми, методи, засоби навчання, специфіка організації освітнього процесу в його конкретних аспектах), уточнюється концептуальна компонента (термінологічний апарат, засадничі принципи тощо).

У педагогічних дослідженнях визначено ключові педагогічні підходи, які становлять основу STEM-освіти: інтегративний підхід до вивчення природничо-математичних дисциплін у комплексі з усіма іншими, що передбачає реалізацію міждисциплінарних зв'язків; діяльнісний підхід, який наголошує на значущості особистісного досвіду набуття знань у процесі практичної діяльності (самостійної або у взаємодії з іншими учасниками), яка не тільки потребує комплексного застосування знань з різних дисциплін, а й спонукає до самостійного набуття нових знань. Показано, що збільшення обсягу і значущості самостійної дослідницької роботи потребує її раціональної організації на технологічних засадах, що зумовлює доцільність доповнення перелічених вище ключових підходів технологічним.

Проаналізовано значущість і роль математики у комплексі STEM-дисциплін, розкрито її потенціал математики як наукової та навчальної дисципліни в шкільній та університетській освіті щодо ефективного впровадження STEM-підходу до навчання. Показано, що математика відіграє інтегруючу роль у комплексі STEM-дисциплін, зумовлену математизацією різних галузей знань; значним впливом на розумовий, морально-вольовий та естетичний розвиток тих, хто навчається; а також тим, що математичне

моделювання та обчислювальний експеримент на його основі є неодмінною складовою науково-дослідницької та інженерно-практичної діяльності людини.

Окреслено проблеми у підготовці учителів математики до впровадження елементів STEM-навчання, які висувають необхідність проведення теоретичних обґрунтувань і розвідок щодо модернізації педагогічної вищої освіти в контексті реалізації концепції STEM-освіти.

Основні результати першого розділу дослідження опубліковані в роботах автора [12; 34; 51; 53; 66; 215; 226].

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕДАГОГІЧНИХ УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ GEOGEBRA ЯК ІНСТРУМЕНТА РЕАЛІЗАЦІЇ STEM-ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ

2.1 Специфіка реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики

У Педагогічній Конституції Європи наголошується, що головним рушієм змін в освіті є вчитель [202]. Саме тому в усіх країнах, які розпочали модернізацію освітнього процесу на засадах упровадження STEM-освіти, велику увагу було приділено і приділяється питанням підготовки педагогічних кадрів для реалізації інноваційних перетворень у освітній практиці закладів загальної освіти.

В Україні комплекс заходів з упровадження STEM-освіти здійснюється, починаючи з 2016 року, під науковим супроводом Державної наукової установи «Інститут модернізації змісту освіти». Були оперативно розроблені й реалізовані системні заходи з перепідготовки працюючих учителів. Водночас було розгорнуто роботу і в закладах вищої освіти, насамперед педагогічних, де було створено спеціалізовані лабораторії, методичні центри як осередки розвитку STEM-освіти, її розповсюдження, співробітництва з учителями та учнями, але головним завданням стало впровадження змін у процес професійної підготовки майбутніх учителів. У цій роботі можна виділити такі напрями діяльності – цілеспрямована підготовка майбутнього STEM-учителя і реалізація STEM-освіти в процесі професійної підготовки майбутніх учителів. Перший напрям зумовлює введення спецкурсів зі STEM-освіти для розкриття її сутності, завдань, особливостей тощо, а головне – розробку і впровадження оновленого змісту методичної підготовки майбутніх учителів. Якщо цей напрям, умовно кажучи, передбачає додаткові заходи і мало впливає або зберігає незмінною фундаментальну підготовку майбутніх учителів, то другий напрям передбачає реалізацію STEM-ідей в освітньому процесі насамперед з

природничо-математичних дисциплін, що також позитивно відбивається на підготовці майбутнього STEM-учителя. Саме в руслі цього напрямку знаходиться наше дослідження.

Уведення змін у систему підготовки майбутнього вчителя математики потребує поглибленого розгляду концептуальних засад STEM-освіти. Як було показано у попередньому розділі, STEM-освіта виникла на ґрунті пошуків шляхів для забезпечення випереджального розвитку освіти з урахуванням наявних і перспективних потреб соціально-економічного розвитку суспільства на високотехнологічних засадах. У своїй концептуальній основі STEM-освіта спирається на низку розвинених у педагогічній науці підходів, які широко і продуктивно застосовуються як у теорії, так і на практиці. Це інтегративний, синергетичний, холістичний підходи, які в комплексі складають основу модифікації змісту і форм організації освітнього процесу, а також діяльнісний, особистісний, конструктивістський, дослідницький, проєктний підходи, що відображають розуміння особистісної сутності освіти і зумовлюють вибір методів навчання. У публікаціях з проблем STEM-освіти виділяють два основні підходи – інтегративний і проєктно-діяльнісний (або діяльнісний), якщо йдеться про загальну освіту, та інтегративний і проєктно-дослідницький, якщо йдеться про вищу освіту.

Розглянемо детальніше інтегративний підхід. Ключова ідея STEM-освіти полягає в модернізації освіти на засадах інтегративного підходу, синергії різних наук, взаємодії методів, інструментарію для вивчення, дослідження, конструювання міждисциплінарних об'єктів. Провідним напрямом упровадження таких змін виступає природничо-математична освіта, проте вона розглядається не ізольовано, а в єдності з усіма іншими освітніми галузями, що сприяє цілісності й гармонізації освітніх перетворень.

Інтегративні тенденції в освіті не є новими і відбивають аналогічні тенденції в науці. У вітчизняній і зарубіжній літературі їх розгляду присвячено багато праць [83; 155; 189], у яких досліджуються філософські проблеми розвитку науки та освіти, теоретичні та практичні аспекти модернізації

сучасної освіти тощо. Науковці приділяють багато уваги розкриттю сутності інтегративного підходу, конкретизації способів його реалізації, виокремленню різних видів інтеграції наук і, відповідно, навчальних дисциплін у залежності від характеру відносин між ними [180; 148; 251; 178; 185; 45]. Разом з тим, термінологічний апарат таких досліджень не є усталеним, є певні розбіжності у тлумаченні використовуваних понять (зокрема таких як між-, крос-, інтер-, полі-, мультидисциплінарність тощо).

Досліджуючи інтегративні тенденції в науці, науковець Б. Манчул [189] здійснює їх класифікацію на підставі діахронічного і синхронічного підходів. Згідно з діахронічним підходом інтеграція знань досліджується в історичному контексті розвитку науки, у контексті його ключових етапів переходу від диференціації до інтеграції наукового знання, а саме: предметно-дисциплінарного підходу, притаманного етапу класичної науки, проблемно-дисциплінарного підходу, характерного для етапу некласичної науки, і міждисциплінарного комплексного – для постнекласичної науки. Відповідно до синхронічного підходу, який є позаісторичним, виокремлюють такі типи інтеграції наукового знання:

– інтерактивний (мультидисциплінарність і кросдисциплінарність), який полягає у тимчасовій взаємодії між дисциплінами; інтегративний (інтердисциплінарність і трансдисциплінарність), який виявляється у стійкій взаємодії між дисциплінами з об'єднанням або коригуванням їхніх методів аж до виникнення нових дисциплін (відповідно, горизонтальна і вертикальна інтеграція);

– внутрішньонаукова інтеграція (мульти-, крос-, інтердисциплінарність), інтеграція наукового і позанаукового знання (транс-, пара-, гіпер-, метадисциплінарність), інтеграція знання поза межами науки (не-, пост-, антидисциплінарність);

– інтеграція в межах природничих або соціогуманітарних наук (біофізика, економічна географія), між природничими і гуманітарними науками (біоетика, соціобіологія), між науковим і позанауковим знанням (езотерика, релігія,

мистецтво та ін.);

– інтеграція знання як відкритої, нелінійної, неврівноваженої, багатофакторної, цілісної, здатної до самоорганізації системи, що є предметом синергетики;

– виникнення, на основі постійно триваючих інтегративних процесів, нових форм і методів взаємодії (екстра-, інтра-, інфрадисциплінарність) [189].

Розмежуванню термінів «полі-», «крос-», «між-», «трансдисциплінарність» присвячено дослідження К. Кузан [180], яка стверджує, що попри специфічні відмінності, їх можна розглядати як певний розвиток, і «класифікацію цих термінів можна зобразити у вигляді сходинок, де перша – монодисциплінарне дослідження, друга – кросдисциплінарне дослідження, третя – мультидисциплінарне дослідження, четверта – міждисциплінарне, а на найвищій сходинці знаходиться трансдисциплінарне дослідження» [180].

Міждисциплінарність виступає основою загальнонаукових методологій, які визначають і розвиток педагогічної освіти, серед них особливе місце посідає синергетичний підхід. Науковці звертають увагу на зростання міждисциплінарних і комплексних проблемно орієнтованих досліджень, які змінюють традиційні межі між теоретичними і прикладними дослідженнями, фундаментальними і прикладними науками. Сучасне наукове дослідження набуває ознак міждисциплінарності і стає актуальнішим завдяки новому розумінню цінності наукового знання, його значущості не тільки як інтелектуального надбання, а й як такого, що має проєктивний потенціал [148].

На підставі аналізу міждисциплінарних підходів в університетській освіті Н. Терентьева [251] наголошує, що інтеграція знань з різних галузей і сфер дає змогу продукувати інноваційний інтелектуальний продукт як основу нових технологій розвитку, що передбачають лідерство в освіті, підвищення рівня так званої знаннєвої інтенсивності та інтелектуального капіталу.

Досліджуючи вплив і значущість інтегративних тенденцій на освітній процес, І. Осмолівська та Л. Краснова [178] стверджують, що необхідність

міждисциплінарних досліджень в освіті зумовлена складністю завдань, які постають перед нею у ракурсі забезпечення сталого розвитку суспільства в сучасних геополітичних умовах, і вирішення дидактичних проблем, таких як організація освітнього процесу в інформаційно-освітньому середовищі, конструювання змісту освіти, вибору дидактичних засобів, що відповідають психологічним змінам нового покоління, потребує застосування міждисциплінарних підходів.

На особливу роль інформаційно-комунікаційних технологій у реалізації освітнього процесу на міждисциплінарних засадах звертає увагу В. Литовченко [185], який відзначає, що зазначені технології виступають одним з невід'ємних інструментів реалізації освітніх стандартів XXI століття й поступового переходу до полікультурної освіти, і зокрема від предметного навчання до міждисциплінарного. Науковець розглядає мультидисциплінарність (interdisciplinary) як «спільне вивчення певного складного об'єкта різними дисциплінами» і наголошує, що «очевидним, що ідеї міждисциплінарного підходу до навчання поряд із сучасними концептуальними підходами до вдосконалення практичної підготовки майбутніх фахівців є пріоритетними» [185]. На його думку, реалізація потенціалу інформаційно-комунікаційних технологій у міждисциплінарному навчанні сприяє активності студентів, формуванню їх відповідальності за результати й ефективність власної діяльності. Науковець зазначає: «Нинішня якісна освіта постулює, що навчальні програми мають бути насичені міждисциплінарними предметами, спрямованими на професійну підготовку» [185], і саме в такому напрямі – як упровадження міждисциплінарних навчальних дисциплін в освітньо-професійні програми, вбачає основний спосіб упровадження.

У педагогічній літературі [251; 178; 185; 45; 43; 14], зокрема методичній з питань STEM-освіти, визначають декілька напрямів міждисциплінарного підходу:

– інтердисциплінарний (crossdisciplinary) – передбачає розгляд однієї дисципліни крізь призму іншої, при цьому предмет дослідження виходить за

межі однієї дисципліни, проте її мета залишається в рамках дисциплінарного дослідження й полягає в перенесенні методів з однієї дисципліни в іншу [43];

- мультидисциплінарний (multidisciplinary) – передбачає залучення знань з різних предметних галузей, але не поєднує їх;

- плюридисциплінарний (pluridisciplinary) – передбачає порівняння споріднених дисципліни (фізики і математики, математики і статистики; фізики та інженерії) [14];

- трансдисциплінарний (transdisciplinary) – передбачає зосередження на проблемі, що виходить за межі окремої дисципліни, зосереджується на здобутті знань у певній галузі [43; 14].

Науковці, які досліджують сутність STEM-освіти, наголошують, що STEM-освіта ґрунтується на методологічній єдності природничо-математичних наук, яка виявляється у застосуванні спільного математичного апарату, інформаційно-комунікаційних технологій, моделювання та у міждисциплінарній взаємодії. Математика відіграє ключову роль у комплексі STEM-дисциплін, оскільки вона є мовою науки. Математичні методи є універсальними, і саме використання математичного моделювання становить основу комп'ютерних досліджень у галузі природничих, інженерно-технічних і гуманітарних наук. Метод математичного моделювання є дієвим інструментом реалізації усіх розглянутих вище і використовуваних у STEM-освіті різновидів інтегративного підходу. Це зумовлює визнання особливої ролі математичної складової в комплексі STEM-дисциплін і визначає певну специфіку реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики, яка полягає в необхідності приділення особливої уваги впровадженню необхідних змін у процес їх фундаментальної математичної підготовки.

У STEM-освіті інтегративний підхід виступає основою подолання відокремленості навчальних дисциплін одна від одної і від життєвої практики. STEM-освіта наголошує на усуненні бар'єрів між освітою і реальним життям, між теорією і практикою, на комплексному застосуванні освітніх надбань до вирішення реальних проблем. Це природно пов'язує інтегративний підхід з

діяльнішим і взаємозумовлює їх упровадження.

Діяльнісний підхід ґрунтується на визнанні того факту, що саме діяльність виступає основою, засобом і вирішальною умовою розвитку особистості, і орієнтує будувати освітній процес на діяльнісних засадах, надаючи провідного значення набуттю знань через їх відкриття у ході спеціально організованої діяльності – експериментально-дослідницької, проектувальної, конструювальної тощо, коли головним стає не засвоєння готових знань, а їх вибудовування, конструювання суб'єктом в процесі набуття й осмислення власного досвіду, у результаті якого вони виникають і, як наслідок, приводять до глибшого розуміння їх природи [231]. Діяльнісний підхід ґрунтується на теорії конструктивізму, згідно з якою «інформація (знання) не міститься в об'єкті і в ході пізнання не витягується з нього, а є продуктом деякого суб'єкт-об'єктного відношення, що включає позицію спостерігача, його практичну діяльність і засоби пізнання. В результаті суб'єкт, котрий пізнає, активно вибудовує знання у вигляді різного роду конструктів, що моделюють і передумовлюють його (суб'єкта) досвід» [250].

Реалізація STEM-орієнтованої підготовки майбутніх учителів математики в діяльнісній парадигмі і на інтегративних засадах має спиратися на те, що «головною спільною рисою природничих наук, основи яких покладено у зміст навчання за природничо-математичними спеціальностями, є використовуваний в них провідний метод дослідження – моделювання, який у процесі навчання стає системоутвірною складовою змісту навчання» [250]. Іншими словами, універсальність методу математичного моделювання дає підставу розглядати спеціально організовану дослідницько-проектну діяльність майбутніх учителів математики як провідний шлях реалізації STEM-освіти в процесі їх математичної підготовки.

Багато вчених (Л. Білоусова [90], М. Жалдак [150], О. Колгатін [175], О. Семеніхіна [240], С. Семеріков [170], С. Раков [226], Ю. Рамський [229], Ю. Триус [241], М. Шишкіна [263] та інші) наголошують, що без використання систем комп'ютерної математики в організації дослідницько-проектної

діяльності майбутніх математиків неможливо забезпечити її належну ефективність. Дотримуючись конструктивістських позицій і підкреслюючи значущість залучення майбутнього вчителя математики до проведення навчальних і наукових досліджень, С. Раков акцентує на необхідності використання діяльнісних математичних середовищ, що надає можливість досліднику застосовувати потужний інструментарій для проведення емпіричних досліджень [226]. На значущість набуття вчителями математики вмінь продуктивно здійснювати навчальне або наукове дослідження у форматі комп'ютерного експерименту звертають увагу багато науковців. Ґрунтовний аналіз форм організації, методів і засобів навчання комп'ютерного моделювання майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін наведено в монографії [250], де розкриті питання використання комп'ютерного моделювання у професійній підготовці учителів природничо-математичних дисциплін, здійснюваної на засадах соціально-конструктивістського підходу.

У дисертаційному дослідженні С. Ракова [226] конкретизовано практичні вміння, яких набуває майбутній учитель математики в процесі дослідницької діяльності, а саме, вміння:

- формулювати (ставити) математичні задачі на основі аналізу суспільно та індивідуально значущих задач (ідеалізація, узагальнення, спеціалізація);
- будувати аналітичні та алгоритмічні (комп'ютерні) моделі задач;
- висувати та емпірично перевіряти справедливості гіпотез, спираючись на відомі методи (індукція, аналогія, узагальнення, спеціалізація тощо), а також на власний досвід досліджень;
- інтерпретувати результати, що отримані за формальними методами, у термінах вихідної предметної області та інших предметних областей;
- систематизувати отримані результати: досліджувати межі застосувань отриманих результатів, встановлювати зв'язки з попередніми результатами, модифікувати вихідну задачу, шукати аналогії в інших розділах тощо [216, с. 57].

Аналізуючи викладене з позицій сучасних поглядів, а також у ракурсі

виконаного дослідження, зазначимо, що, на нашу думку, наведений перелік потребує уточнення, а саме, доповнення вмінням проблемного бачення – вмінням побачити перспективу розвитку виконаного дослідження, «точки росту». Таке доповнення є важливим, оскільки освоєння дослідницьких умінь, успішне проведення дослідження і навіть отримання результату, – це все ще не покриває тієї цілі, яку переслідує STEM-освіта: сприяти формуванню креативної особистості, для якої дослідницька діяльність є способом пізнання і розуміння навколишнього світу, способом здобуття знань, способом власного професійного розвитку і становлення. Саме тому, завершаючи виконання дослідження, майбутній вчитель має вбачати спрямування наступного.

Крім того, важливо звернути увагу на те, що в процесі розглядуваної діяльності формується не низка відокремлених умінь, а комплекс умінь, необхідних для оволодіння технологію проведення досліджень на основі комп'ютерного моделювання. Прояв кожного з умінь, перелічених у наведеному вище списку, вимагається на певному етапі дослідження, їх послідовність у переліку відповідає послідовності етапів технології проведення дослідження.

Слід зазначити також, що залучення майбутніх учителів студентів до дослідницької діяльності позитивно впливає на розвиток їх дослідницької активності, пізнавальної самостійності, освітньої ініціативності, і сама дослідницька діяльність студента розвивається й набуває більшої значущості, просуваючись від окремих фаз у процесі навчально-пізнавальної діяльності до навчально-дослідницької і далі до науково-дослідницької. У процесі виконання досліджень студенти набувають не тільки дослідницьких навичок, а й ключових навичок успішної людини XXI століття, так званих 4К-навичок – критичного мислення, креативності, комунікативних, колаборативних (навичок командної роботи). Крім того, збільшення дослідницького компонента в освітньому процесі, реалізація досліджень у сучасному математичному середовищі сприяють підвищенню інтересу студентів до математики, яка перестає сприйматися як збірник сухих теорій і давно відкритих фактів, а

постає живою наукою, реально затребуваною, яку можна вивчати, експериментуючи за комп'ютером. Це якнайкраще відповідає запитам і особливостям психоемоційної сфери представників цифрового покоління, до якого відносяться не тільки учні, а і їх майбутні вчителі.

Вплив розвитку інструментів і методів цифрової освіти, використання яких передбачається STEM-освітою, суттєво позначається на способах впровадження STEM-орієнтованої підготовки майбутніх учителів математики і зумовлює доцільність доповнення двох перелічених вище ключових підходів, а саме, інтегративного і проєктно-діяльнісного, ще одним – технологічним. У ракурсі нашого дослідження ми розглядатимемо зазначений підхід у декількох площинах – як такий, що відображає:

- істотне значення застосування сучасних цифрових технологій в реалізації STEM-освіти;

- організацію проєктно-дослідницької діяльності студентів на технологічних засадах, що є важливим з огляду на зростання обсягу і значущості такої діяльності, а також її ємності в часовому вимірі. Це включає також оволодіння студентами технологією проведення досліджень на основі комп'ютерного моделювання;

- застосування технологічних прийомів у реалізації інтегративного підходу в підготовці майбутніх учителів, у формуванні комплексу їх дослідницьких умінь тощо.

Зазначимо, що в педагогічній літературі питання підготовки майбутніх учителів математики до дослідницької діяльності розглядаються у двох ракурсах – як у розрізі готовності вчителів до проведення власних досліджень (наприклад, [94]), так і в аспекті їх готовності до організації дослідницької діяльності учнів (наприклад, [98]). Оскільки для сучасного фахівця важливо оволодіти практичними вміннями здійснювати наукове дослідження, висвітленню технологічних аспектів дослідницької діяльності, її структури, послідовності етапів виконання, методів експериментальних досліджень, зокрема методу моделювання приділяється увага в освітньому процесі закладів

вищої освіти. Окреслені питання розкриваються в навчально-методичних посібниках з основ організації наукових досліджень для студентів різних спеціальностей, які здобувають вищу освіти [94; 98].

Підсумовуючи, схарактеризуємо специфічні особливості впровадження STEM-освіти у процес підготовки майбутніх учителів математики.

Зазначене впровадження здійснюється за двома напрямками, перший з яких цілеспрямований на підготовку STEM-учителя і акцентує на модифікації змісту навчальних дисциплін, що належать до циклу методичної підготовки майбутнього вчителя математики, а другий передбачає реалізацію STEM-ідей в освітньому процесі з природничо-математичних дисциплін, що входять у цикл фундаментальної підготовки. Другий напрям, у руслі якого знаходиться наше дослідження, також спричинює позитивний вплив на підготовку майбутнього STEM-учителя. Обидва напрями впровадження STEM-освіти мають здійснюватися взаємоузгоджено.

Особливе значення математики в комплексі STEM-дисциплін, інтегруюча роль універсальних математичних методів, зокрема метода математичного моделювання зумовлюють необхідність приділення особливої уваги в реалізації інтегративного підходу як ключового у STEM-освіті в процесі фундаментальної математичної підготовки майбутнього вчителя математики. З окреслено впливає також особливість реалізації діяльнісного підходу, що також є ключовим у STEM-освіті, – на основі спеціально організованої дослідницько-проектної діяльності майбутніх учителів у процесі їх математичної підготовки.

З огляду на вплив інструментів і методів цифрової освіти на шляхи впровадження STEM-орієнтованої підготовки майбутніх учителів математики, доцільно доповнити зазначені вище ключові підходи технологічним, який у рамках нашого дослідження розглядається різнопланово і пов'язується з: опорою на використання сучасних цифрових технологій; організацією проектно-дослідницької діяльності студентів на технологічних засадах; застосуванням технологічних прийомів у реалізації інтегративного підходу, формуванні комплексу дослідницьких умінь майбутніх учителів математики.

За результатами теоретичного аналізу доведено, що особлива роль математики зумовлює доцільність реалізації STEM-освіти насамперед у процесі фундаментальної математичної підготовки майбутніх учителів математики. Показано, що провідним шляхом реалізації STEM-освіти постає спеціально організована дослідницько-проектна діяльність, головною ознакою якої є конструювання суб'єктом системи знань у процесі набуття й осмислення власного досвіду такої діяльності. Організація дослідницько-проектної діяльності потребує конструювання спільнот, учасники яких володіють засобами ІКТ для проведення теоретичних та емпіричних досліджень. Це зумовлює необхідність оволодіння майбутніми вчителями соціально-конструктивістськими технологіями організації комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень та методиками формування комплексу дослідницьких компетентностей як складників системи STEM-компетентностей.

2.2 Особливості пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики

Сучасний процес математичної освіти суттєво спирається на використання систем комп'ютерної математики, які застосовується для виконання числових та аналітичних розрахунків різних рівнів складності, побудови й дослідження математичних моделей у різноманітних предметних галузях. Їх застосовують для розв'язування наукових, навчальних, інженерних задач, наочної візуалізації даних і результатів обчислень.

У педагогічних закладах вищої освіти, які здійснюють професійну підготовку майбутніх учителів математики, знайшли поширення різні системи комп'ютерної математики, зокрема DG, GRAN-1, GRAN-2D, GRAN-3D, DERIVE, Advanced Grapher, Matlab, Mathcad, Maple, GeoGebra.

Так, В. Юнчик і А. Федонюк [255] здійснено порівняльний аналіз найпоширеніших систем комп'ютерної математики та описано їх структуру, таких як: Derive, Mathematica, Matlab, Mathcad, Maple, MuPad, Gran, GeoGebra. О. Гриб'юк у роботі [135] приводить опис українського програмного засобу

Gran, який застосовують для графічного аналізу функцій (Gran1), систем геометричних об'єктів на площині (Gran-2D) та просторових об'єктів (Gran-3D) і порівнює його з пакетом GeoGebra.

У [136] О. Гриб'юк і В. Юнчик продемонстровано особливості використання пакету GeoGebra для створення правил-орієнтирів задля розв'язання ситуаційних задач в процесі підготовки майбутніх учителів математики. Автори наголошують, що розв'язування задач з використанням пакету GeoGebra сприяє формуванню в майбутніх фахівців рефлексії щодо своєї діяльності. Насамперед майбутні вчителі мають можливість наочно показати результати навчальної діяльності, свідомо реалізувати свої дії й ідеї, аналізувати успіхи і невдачі. Разом з цим, суттєво зростає продуктивність та ефективність проведених навчальних занять і значно посилюється інтерес майбутніх учителів до навчання; розвивається абстрактне, творче мислення майбутніх фахівців; покращується якість знань з математики; стимулює організацію групової форми роботи, формуванню умінь до самостійно навчання. У роботі [137] зазначається, що використання пакету GeoGebra сприяє візуалізації об'єкта дослідження, демонстрації його характеристик, уникненню рутинних дій, пов'язаних зі створенням допоміжних зображень; доповнення навчального матеріалу ілюстраціями (статичними і динамічними зображеннями, графіками, схемами, таблицями тощо), в тому числі різного за педагогічним призначенням (для формування інтересу учнів щодо теми заняття, візуального супроводу виконуваних завдань, демонстрації прикладів застосування здобутих знань у житті).

С. Раков та В. Горох [132] розкривають переваги використання динамічної геометрії для проведення комп'ютерних експериментів. У роботі С. Ракова [226] наведено класифікацію систем комп'ютерної математики та приведено порівняльну характеристику по кожній категорії: пакети динамічної геометрії (Cabri, Geometer's Sketchpad, Sinderella, Next, Gran-2D, DG), пакети комп'ютерної алгебри (Derive, Reduce, Macsyma, MuMath, MatLab, MathCAD).

У роботах Л. Білоусової, Т. Белявцевої та М. Горонескуль розкрито

потенціал використання пакетів комп'ютерної алгебри MathCAD [10] і Maple [101] на практиці. Так, пакет MathCAD має якісну графіку і візуалізацію при обчисленнях, зручний інтерфейс, палітру математичних знаків, великий вибір електронних книг і бібліотек, операторів і функцій. До недоліків даного пакету слід віднести обмеженість символічної математики, підтримку примітивного програмування, вартість функціональних бібліотек і електронних книг. Серед переваг пакету відзначимо наявність продуманого ядра символічних обчислень, можливість створювати і працювати з окремими документами (notebook), підтримку високоякісної графіки, має зручну систему допомоги.

Ю. Триус виділяє серед програмних засобів комп'ютерної математики такі класи [254]: системи для чисельних розрахунків (програми-калькулятори); табличні процесори (VisiCalc, SuperCalc, OmniCalc, Lotus 1-2-3, Quattro Pro, Microsoft Excel); матричні системи (перші версії Matlab (від Matrix Laboratory); системи для статистичних обчислень (Statistica, SPSS, S-PLUS, StatGraphics Plus); спеціалізовані програми і пакети (Advanced Grapher, Axum, Dynamic Solver, Electronics WorkBench, Grapher, Gran1, Gran-3D, MathPlot, MicroCAP, SigmaPlot, Simulink); системи комп'ютерної алгебри (CAS – Computer Algebra System) (Derive, MuPad, Reduce, Macsyma); системи комп'ютерної геометрії (CGS – Computer Geometry System) (Cabry, SketchPad, Next, DG, Gran-2D, WinGCLC); системи комп'ютерної математики (CMS — Computer Mathematical System) або універсальні математичні системи (GAUSS, MathCad, Matlab, Maple, Mathematica).

Т. Овсяннікова у роботі [197] визначає системи динамічної геометрії (СДГ) як програмні продукти, що реалізують для геометричних завдань принципи наглядності та динамічності. Серед переваг використання СДГ при навчанні математики науковець виділяє:

- забезпечення високої наглядності при вивченні курсів елементарної, аналітичної, диференціальної та провідної геометрії;
- швидка і проста візуалізація аналітично заданих функцій, у тому числі параметричних (наприклад, з метою локалізації області пошуку рішень або

визначення відповідного геометричного образу).

Практично будь-яка СДГ дозволяє швидко і точно будувати графіки, проводити дослідження вручну або автоматично переміщуючи окремі точки або змінюючи числові значення параметрів. На сьогодні сегмент СДГ налічує кілька десятків програмних пакетів. Серед обмежень використання пакетів СДГ дослідник зазначає низьку функціональність (наприклад, наявність лише планіметрії: GeoNext, KSEG), або підтримку лише англomовного інтерфейсу (CaR, Cabri, Cinderella, Dr. Geo, FreeGeo Mathematik, GeoProof, Geometria, Geometrix, Geometry Pad, GeomSpace, GEUP, Tabulae, WIRIS тощо), що ускладнює їх використання в українському освітньому середовищі. Автор підкреслює важливість навчання майбутніх учителів математики основам роботи з СДГ. Так, зокрема, вчителі, які отримали досвід роботи з пакетом GeoGebra під час навчання у вищому навчальному закладі (ВНЗ), практично завжди використовують його у своїй подальшій педагогічній діяльності і сприяють поширенню пакету в загальноосвітніх навчальних закладах.

Особливості інтеграції пакетів комп'ютерної математики в мобільне математичне середовище і перспективи їх використання розглянуто в роботі С. Семерікова і К. Словак [241]. Переваги застосування системи комп'ютерної математики Maxima – стабільність, відкритість, ліцензійна чистота, безоплатність, кросплатформеність, сумісність з іншими математичними пакетами описано в роботі С. Семерікова, І. Теплицького та С. Шокалюк [242].

У посібнику [170] наведено методичні рекомендації щодо використання у навчанні математики інформаційно-комунікаційних засобів, подано зміст навчального матеріалу, комп'ютерно-орієнтовані методи і форми навчання. Зокрема, описано особливості роботи з пакетами GRAN 1, GRAN-2D, GRAN-3D, DG, Maple, Mathematica. Розглянуто актуальні питання застосування електронних, дистанційних та мобільних технологій навчання математики.

У посібнику [109] представлена порівняльна характеристика пакетів динамічної геометрії GRAN 1, GRAN-2D, GRAN-3D, DG, «Жива Геометрія», Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica і GeoGebra, які дозволяють будувати

геометричні моделі досліджуваних об'єктів, маніпулювати ними, спостерігати за динамікою змін параметрів цих моделей.

Важливе місце в підготовці майбутніх учителів математики займає формування у них умінь роботи з математичними засобами візуалізації математичних об'єктів і засобами автоматизації чисельних і символічних обчислень, зокрема з системами динамічної геометрії і системами комп'ютерної математики [164]. Пакет GeoGebra належить до систем динамічної геометрії нового покоління, що має як інструментарій для геометричних побудов, так і аналітичний модуль. Останнім часом зріс інтерес викладачами ЗВО до використання пакету GeoGebra. У статті Р. Зіатдінова [153] система GeoGebra розглядається як база для геометричного моделювання теорем та розв'язку задач під час викладання проєктивної геометрії. Досвід застосування пакету GeoGebra під час вивчення основ геометрії представлено в роботі Л. Ромакіной, А. Харченко і Н. Харченко [235].

У роботі [227] розкриваються функціональні можливості пакету GeoGebra з точки зору інноваційності і перспектив їх використання у процесі вивчення математики. В. М. Ракута розглядає питання науково-методичного і дидактичного забезпечення застосування GeoGebra та підкреслює важливість організації підготовки вчителів до використання GeoGebra у навчально-виховному процесі.

На жаль, жоден сучасний програмний продукт підтримки математичної діяльності не може вважатися універсальним, що обумовлює необхідність використання різних математичних програм. Водночас, технологічний розвиток комплексів GRAN і DG, розроблених на базі Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова (GRAN) і Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди (DG), було призупинено. Досвід створення математичних пакетів, орієнтованих на використання в процесі навчання математики, свідчить про те, що цілий ряд вдалих за своїми функціональними можливостями програмних засобів не отримали належного поширення в світовій практиці математичної освіти в силу різного роду причин.

Серед них такі відомі програми динамічної геометрії як Geometer's Sketchpad (подальша цифрова або технічна підтримка припинені з 1 липня 2020 року, але залишається доступною версія 5, а також бібліотека інтерактивних моделей та тьюторіалів до них), десктопна версія Cabri поширюються на платній основі (у 2018 році з'явився безкоштовний веб-додаток Cabri Express, який дозволяє виконувати математичні операції та проводити розрахунки, відображати графік функції або побудувати фігуру у 2D та 3D), що є вагомою перешкодою для навчальних закладів країн з економікою, що розвивається. Випуск нових версій системи комп'ютерної алгебри Derive був припинений рішенням компанії Texas Instruments. Пакет динамічної геометрії Geonext завоював популярність, в основному, на території Німеччини. На жаль, безкоштовно поширювалася тільки програма, але не методичні матеріали. На даний момент підтримка зупинена, але на сайті тепер пропонується програмний продукт на основі жестів, спеціально розроблений для планшетних ПК та смартфонів – sketchometry.org. Ще один цікавий напрямок розвитку математичних пакетів представлено пакетом символної геометрії Geometry Expressions, здатної співпрацювати з системами комп'ютерної алгебри. Пакети GRAN і DG не підтримують кросплатформеність [206]. Порівняльний аналіз системи комп'ютерної математики засвідчує, що системи постійно еволюціонують, змінюються лідери, але на сьогодні пакет GeoGebra має безперечні переваги для використання в освітньому процесі на всіх рівнях від початкової школи до інструмента професійної діяльності.

Схарактеризуємо детальніше пакет GeoGebra та його педагогічний потенціал з точки зору його використання як інструмента реалізації концепції STEM-освіти, для чого наведемо загальну характеристику пакета та історію його розвитку.

Проблематикою використання пакету GeoGebra займаються М. Хохенвратер [29], Ж. Лавіца [29], Р. Зіатдінов [153], О. Гриб'юк [135], В. Юнчик [255], В. Ракута [227].

GeoGebra – це програма динамічної математики для всіх рівнів освіти, яка

об'єднує геометрію, алгебру, таблиці, графіки, статистику та обчислення в одному пакеті. Співтовариство GeoGebra є швидко зростаючим – кілька мільйонів користувачів, розташованих майже у кожній країні. GeoGebra використовується для підтримки STEM-освіти та інновацій у викладанні та навчанні в усьому світі [78].

Пакет GeoGebra був створений М. Хохенвратером у 2001/2002 роках як частина його магістерської роботи з математичної освіти та інформатики в Університеті Зальцбурга (Австрія). За підтримки від Австрійської академії наук він продовжив розробку програмного забезпечення в рамках докторського (PhD) дослідження з математичної освіти. За цей час GeoGebra виграла декілька міжнародних нагород, зокрема, європейську та німецьку нагороди за освітнє програмне забезпечення, і була перекладена викладачами у всьому світі на понад 70 мов [31].

З 2006 року Міністерство освіти Австрії підтримує GeoGebra з метою забезпечення безкоштовної доступності програмного забезпечення для навчання математики в школах та університетах.

Серед основних історичних етапів розвитку пакету GeoGebra відзначимо [29]:

1. Першочергово, в основі пакету закладено поєднання особливостей пакетів інтерактивної геометрії (Cabri Geometry, Geometer's Sketchpad) та системи комп'ютерні алгебри (Derive, Maple) [30]. Саме тому перша версія пакету GeoGebra передбачала лише роботу з алгебраїчним і геометричним представленням математичних об'єктів і мала відповідний набір інструментів і функцій для їх дослідження.

2. Пізніше до GeoGebra було додано можливість роботи з табличними даними (GeoGebra SpreadSheet). Дана можливість дозволила використовувати пакет для проведення аналізу даних (побудова діаграм, знаходження, медіани, середнього, максимально і мінімального значень в наборі даних тощо).

3. До GeoGebra 4.2 було включено систему алгебраїчних обчислень (GeoGebra CAS). CAS дозволив користувачам працювати з дробами,

рівняннями та формулами, що включають невизначені змінні.

4. З'явилась версія пакету для мобільних пристроїв (GeoGebraMobile), що зробила GeoGebra доступною будь-де і з будь-якого пристрою.

5. Наступною у пакеті з'явилась можливість працювати з тривимірними об'єктами (GeoGebra 3D), яка відкрила для користувача новий горизонт побудови, дослідження геометричних об'єктів в стереометрії, доведення теорем тощо.

6. Створено платформу для накопичення, обміну та розповсюдження навчальних і методичних матеріалів по роботі з GeoGebra (Open Educational Resource). Слід відзначити, що пакет GeoGebra має багату базу дидактико-методичних матеріалів, яка постійно розширюється і вдосконалюється;

Серед технічних переваг використання пакету GeoGebra у порівнянні з іншими системами комп'ютерної математики відзначимо:

- 1) кросплатформеність, яка дозволяє встановити пакет на будь-якій операційній системі (Windows, Linux, macOS, Android);
- 2) низькі системні вимоги до встановлення пакету;
- 3) висока швидкість роботи;
- 4) безкоштовність – пакет є відкритим і доступним для завантаження і встановлення, не потребує придбання ліцензії і витрат на оновлення до нової версії;
- 5) зручний, зрозумілий і багатомовний інтерфейс користувача.

Перелічені особливості сприяють поширенню застосувань пакета в освітній практиці, зокрема у закладах загальної середньої освіти.

Розглянемо детально переваги використання пакету GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти.

1. Пакет GeoGebra є повноцінною дослідницькою лабораторією для майбутніх вчителів за рахунок того, що:

– *забезпечує* візуалізацію досліджуваних математичних об'єктів, покрокову ілюстрацію методів побудови;

– *є середовищем* для моделювання та емпіричного дослідження

властивостей побудованих об'єктів;

– виконує роль інструментально-вимірювального комплексу, який має набір спеціалізованих інструментів для створення і перетворення конкретного об'єкта, розрахунку значень його параметрів;

– надає можливість виконувати геометричні перетворення над об'єктами, зокрема рух (осьова і центральна симетрія, поворот, паралельне перенесення), подібність, гомотетія;

– надає можливість працювати з матрицями, зокрема, знаходити визначник матриці, транспонувати її, знаходити обернену матрицю;

– надає можливість розв'язувати рівняння, нерівності, системи рівнянь з параметрами з використанням алгебраїчного і графічного підходів;

– має значну кількість функцій для обчислення задач з теорії ймовірностей, математичної статистики і команд оптимізації, логічних функцій, а також функцій фінансового розподілу.

2. Пакет GeoGebra постійно вдосконалюється і оновлюється. Так, зокрема, розширюється набір інструментів (створення 3D моделей, лінійних графів), з'являються нові функції і можливості (таблична форма представлення даних математичних моделей, версія пакету для мобільних пристроїв).

У ракурсі нашого дослідження важливим є те, що Міжнародний інститут GeoGebra вийшов на якісно новий рівень співпраці з ІТ-компаніями, ставши партнером у створенні нового програмного забезпечення [24]. Так зокрема, це адаптація функціональних можливостей пакету GeoGebra до створення моделей і маніпулювання ними у віртуальній реальності із залученням додаткового апаратного і програмного забезпечення від Google. Завантаживши і встановивши пакет засобів програмування Google ARCore SDK, користувач отримує можливість створювати динамічні додатки в пакеті GeoGebra з підтримкою режиму доповненої реальності.

У рамках партнерства з корпорацією Microsoft пакет GeoGebra було інтегровано до Microsoft Office 365. Так зокрема, з'явилася можливість використання аплетів GeoGebra (динамічних додатків, розроблених

користувачем в робочому середовищі GeoGebra) у презентаціях, таблицях, текстових документах та інших сервісах Microsoft Office. Разом з цим, така інтеграція дозволила використовувати пакет GeoGebra в процесі виконання STEM проєктів більш ефективно за рахунок того, що учасники проєкту можуть легко і швидко обмінюватися власними напрацюваннями в пакеті GeoGebra, відповідати на питання, вирішувати труднощі, які мають місце в проєкті. Таким чином GeoGebra став робочим інструментом пакету Microsoft Office.

Важливим фактом застосування пакету GeoGebra у STEM-освіті є його використання, як окремого повноцінного функціонального компоненту на освітніх онлайн платформах, таких як Scoledu, Pearson. Пакет GeoGebra є партнером у навчанні від Apple Education [3] і Google Education (Google Chromebook).

Слід відзначити ще один напрямок розвитку пакету – це окремі GeoGebra додатки, що підтримують різні напрямки математичної діяльності, для iOS, Android, Windows, Mac, Chromebook та Linux (GeoGebra Math Apps). Це набір інтерактивних калькуляторів GeoGebra Calculator Suite, які можна завантажити з офіційного сайту, AppStore, Google Play, або запустити напряму в браузері [17]. Ці додатки деякий час існували як повністю незалежні, окремі додатки, тепер знову поєднуються в одну гнучку систему:

- Графічний калькулятор стане у нагоді для побудови графіків функцій, рівнянь тощо;
- 3D калькулятор має набір інструментів для побудови графіків 3D-функцій, поверхонь, а також 3D-геометрія з 3D Графікою;
- калькулятор СКА буде корисним у розв'язуванні рівнянь, розкладання виразів на множники, знаходження похідних та інтегралів;
- Науковий калькулятор, який використовується для знаходження значень тригонометричних функцій, степенів числа, логарифмів.
- GeoGebra Classic – єдина система динамічної математики.

До інших додатків пакету GeoGebra належать:














- GeoGebra Класична 5 і GeoGebra Класична 6 – це десктопні програми,

























що містять інструменти для математики, таблиць, СКА тощо (додаток А, табл. 2.1);

– тестування (Exam Mood) дозволяє студентам використовувати потужність додатків GeoGebra під час тестів та іспитів на папері, обмежуючі доступ до Інтернету, веб-сайту GeoGebra або файлів, збережених на комп'ютері або мобільному пристрої під час проведення іспиту. Режим іспиту вбудовано в пакет GeoGebra і працює на будь-якому мобільному пристрої без додаткових налаштувань. Режим діє в повноекранному режимі, не допускаючи місця для відображення іншої інформації на екрані. Вбудована функція візуального сповіщення активується у випадку, коли учасник вийшов з режиму іспиту без дозволу. В процесі роботи учнів з даним модулем всі дії документуються в журналі іспиту.

Таблиця 2.1

Інструменти GeoGebra

Іконка	Назва та опис інструменту
	Курсор. Вибір і переміщення об'єктів по графічному полотну.
	Нова точка. Клацніть на <i>Графічне полотно</i> або на вже існуючий об'єкт, щоб створити нову точку.
	Середина або центр. Вкажіть дві точки, відрізок або кінцевий переріз.
	Перетин двох об'єктів. Клацніть по області перетину двох об'єктів, щоб отримати певну точку перетину. Послідовно виділіть два об'єкти, щоб отримати всі точки перетину (у разі, якщо це не графік трансцендентної кривої).
	Точка на об'єкті. Вкажіть об'єкт або його периметр, щоб створити точку. Точку можна буде пересувати тільки в межах зазначеного об'єкта.
	Відрізок. Натисніть на <i>Графічне полотно</i> два рази або на дві вже існуючі точки.
	Пряма по двох точках. Клацніть на <i>Графічне полотно</i> два рази або на дві вже існуючі точки.
	Промінь. Вкажіть початкову точку променю і точку на ньому.
	Коло з центром через точку. Вкажіть центр кола та точку на колі.
	Коло з фіксованим радіусом. Вкажіть центр і в діалоговому вікні введіть величину радіуса.
	Коло за трьома точкам. Вкажіть три точки, через які має проходити коло.
	Перпендикулярна пряма. Виділіть вже існуючу лінію і довільну точку, щоб створити перпендикулярну пряму.
	Серединний перпендикуляр. Виділіть дві точки або відрізок.

Іконка	Назва та опис інструменту
	Паралельна пряма. Вкажіть точку і паралельну пряму.
	Дотична. Вкажіть точку дотичної і коло, конічний переріз або графік довільної функції.
	Багатокутник. Вкажіть по черзі всі вершини багатокутника, закрийте його, вказавши першу з них.
	Правильний багатокутник. Виділіть дві нові або вже існуючі точки і в діалоговому вікні введіть кількість бажаних вершин для правильного багатокутника.
	Відображення відносно прямої. Вкажіть вихідний об'єкт і пряму, щодо якої її треба відобразити.
	Відображення відносно точки. Вкажіть вихідний об'єкт і центр відображення.
	Інверсія. Вкажіть вихідний об'єкт і коло для відображення.
	Кут. Вкажіть три точки або дві прямі (проти годинникової стрілки). Інструмент генерує величину кута як новий об'єкт.
	Кут заданої величини. Вкажіть точку сторони кута, потім його вершину і величину.
	Поворот навколо точки. Вкажіть вихідний об'єкт, центр обертання і введіть кут повороту.
	Бісектриса кута. Вкажіть три точки або дві прямі, що перетинаються.
	Локус. Показує геометричне місце точок для всіх можливих значень положення точки. Вкажіть точку геометричного місця і точку або змінну, від якої вона залежить.
	Апроксимація. Створює наближену пряму по зазначеним точкам або їх списку.
	Зображення. Вкажіть точку, в якій повинен знаходитися лівий нижній кут зображення.
	Вікно для вводу. ЛКМ по полотну для вставки вікна вводу.
	Повзунок/Слайдер. Динамічна змінна. Для створення клацніть на полотні.
	Налаштування об'єкту. ПКМ по об'єкту → Властивості.
	Налаштування видимості об'єкта. ПКМ по об'єкту → Властивості → Показувати об'єкт або в панелі об'єктів натиснути на іконку зліва від його назви.
	Налаштування і запуск анімації об'єкта. ПКМ по об'єкту → Властивості → вкладка «Алгебра».
	Робота з командним рядком. Арифметичні операції, робота з вбудованими формулами GeoGebra.
	Користувальницький інструмент. Створення та робота з новими інструментами.
	Налаштування полотна. ПКМ по полотну → Полотно ...
	Робота з таблицями GeoGebra.
	Робота з CAS GeoGebra.

Користувач може створити власні інструменти та інтегрувати їх у панель інструментів в GeoGebra. Зазвичай, інструменти користувача поєднують в собі декілька інструментів з базового набору пакету. Наприклад, інструмент для знаходження центру трикутника, тощо. Використання власноруч розроблених інструментів дозволяє користувачу зробити процес створення нових моделей більш швидким і легким.

Освітній портал GeoGebra.org також надає можливість публікації власних напрацювань (GeoGebra Worksheet – окремі сторінки, GeoGebra Book – колекція сторінок, підручник) Кожен вчитель має змогу створити онлайн підручник. До своєї книги можна додавати не тільки текст, тести та аплети GeoGebra, а й фото, відео, pdf файли, посилання на сайти (додаток Б).

Одним із останніх оновлень пакету є GeoGebra Classroom. Віртуальні класи, враховуючи сьогоденну складну епідеміологічну ситуацію в усьому світі, набирають все більшої популярності серед вчителів, студентів, науковців. Співтовариство GeoGebra продовжує активно розвивати даний проєкт, залучаючи нові ресурси та розширюючи його функції. Так зокрема, із останніх новинок – це можливість використати віртуальну дошку під час роботи в такому класі. Клас GeoGebra – це віртуальна платформа, за допомогою якої вчителі можуть призначити інтерактивні та цікаві завдання для учнів, переглядати оновлений хід студентів, що працюють над конкретним завданням, переглянути, які завдання учні розпочали, задати тематичні запитання класу і миттєво переглянути всі відповіді учнів, приховувати імена студентів під час відображення їх відповідей на запитання, сприяти насиченим інтерактивним дискусіям серед усіх студентів, груп студентів та окремих студентів. У користувачів є можливість додати іншого викладача до конкретного класу GeoGebra, щоб він/вона могли мати ту саму роль вчителя, що і вчитель класу. Є ще багато можливостей, які розробники платформи планують додати до цього списку в найближчі місяці. Покроковий інтерактивний довідник допоможе будь-якому користувачу з легкістю навчитися працювати з платформою.

Використовуючи пакет GeoGebra, вчителі напрацьовують практики роботи з пакетом, розробляють і пропонують власні цікаві дослідження. Таким чином, вони отримують унікальну можливість доєднатися до міжнародної спільноти користувачів GeoGebra, і водночас, збагачувати світовий досвід власними розробками та методиками використання пакету, використовувати досвід колег спільноти, адаптувати методики роботи з пакетом GeoGebra спільноти під власні умови викладання.

Обмін досвідом, напрацюваннями, результатами наукових пошуків став можливий завдяки освітньому порталу GeoGebra.org, а також сервісів, доступним на цьому порталі, серед яких:

- GeoGebra News, blog.GeoGebra.org – останні новини про заходи та події в співтоваристві користувачів GeoGebra з різних куточків світу;
- GeoGebraTube – база методичних та дидактичних матеріалів, яка постійно оновлюється і знаходиться у вільному доступі;
- GeoGebra User Forum, www.GeoGebra.org/forum – форум користувачів (учнів, студентів, вчителів, педагогів, програмістів).

У цьому зв'язку становить інтерес співпраця вищих педагогічних навчальних закладів України з Міжнародним інститутом GeoGebra (International GeoGebra Institute – IGI). Міжнародний інститут GeoGebra було засновано у Кембриджі в 2008 році як інтернаціональну професійну мережу, яка об'єднала розробників і користувачів пакету з різних куточків світу. Основними цілями Міжнародного інституту GeoGebra є:

- підтримка професійної діяльності математика, розробка та дослідження математичних моделей, візуалізація даних, проведення розрахунків;
- організація та підтримку проєктної діяльності студентів;
- створення та вільне розповсюдження освітніх матеріалів, а також вдосконалення пакету GeoGebra;
- проведення GeoGebra досліджень і підтримку співробітництва між IGI та регіональними інститутами GeoGebra, сприяння трансферу освітніх ідей і технологій.

Для досягнення поставлених цілей IGI заснувало і розвиває мережу регіональних філій – місцевих інститутів GeoGebra.

Місцеві інститути GeoGebra поєднують вчителів, викладачів, студентів, розробників програмного забезпечення та дослідників з університетів і некомерційних організацій по всьому світу, які працюють над проєктами та беруть участь у заходах, пов'язаних з GeoGebra. Сьогодні у світі існує 281 регіональних інститутів GeoGebra, які розташовані у понад 80 країнах світу: країн Європейського Союзу, Північної та Південної Америки, Африки, Азії, Індія, Австралія, країни Близького Сходу (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Мережа регіональних інститутів GeoGebra у світі

В Україні на сьогодні існує два інститути GeoGebra. Перший був створений в липні 2010 року на базі кафедри інформатики Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди. З 1 жовтня 2020 року він продовжує активну роботу на кафедрі комп'ютерної математики і аналізу даних Національного технічного університету «Харківський

політехнічний інститут». Центр GeoGebra «Інститут GeoGebra Чернігів, Україна» засновано у лютому 2011 року на базі Чернігівського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти (ЧОППО) імені К. Д. Ушинського. Регіональні інститути GeoGebra (рис. 2.2) є складовими Міжнародного інституту GeoGebra (IGI) і надають безкоштовне програмне забезпечення – пакет динамічної математики GeoGebra, сприяють створенню нових навчальних матеріалів для учнів, студентів, викладачів і дослідників з метою підтримки процесу викладання фізико-математичних і технічних наук у загальноосвітній та вищій школі. Інститути живлять і стимулюють співпрацю між практиками та дослідниками, прагнучи розширити спільноту самостійних користувачів.

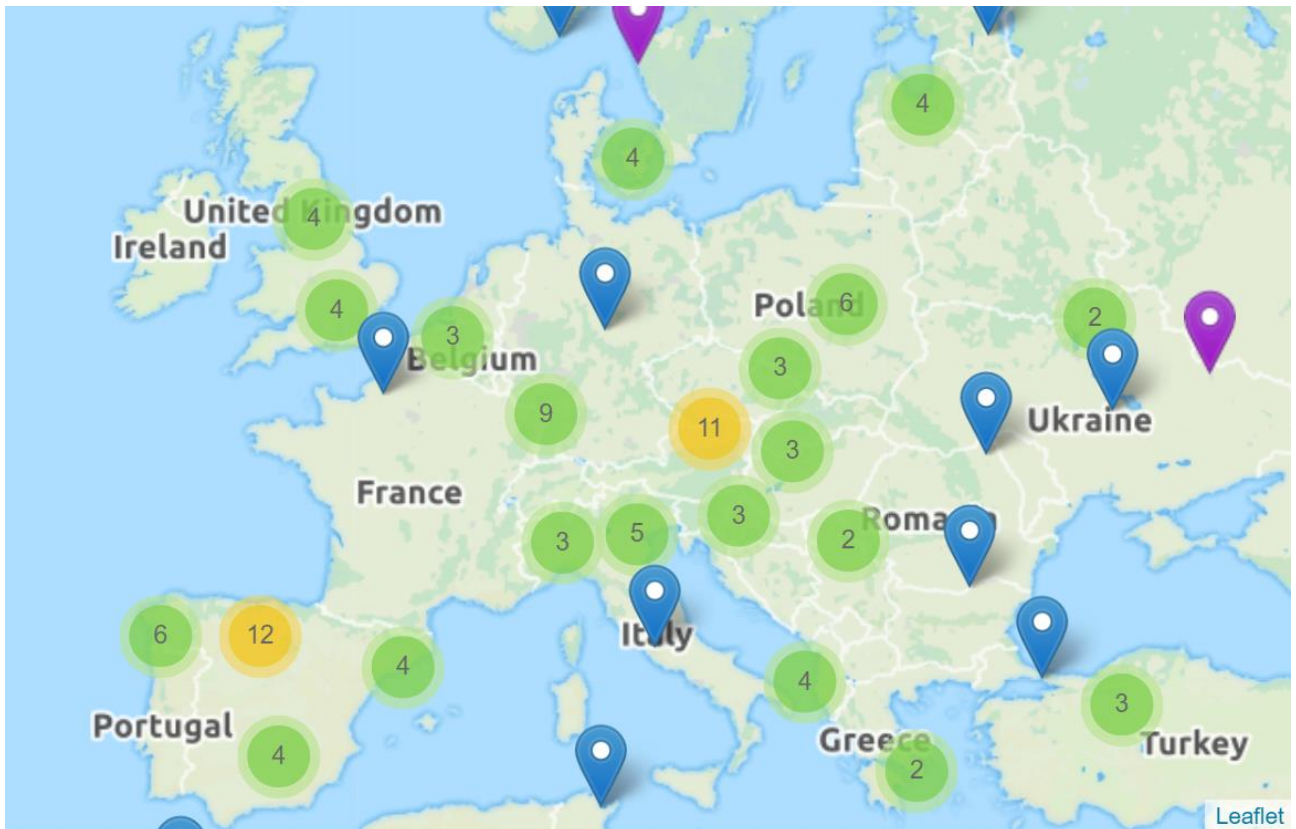


Рис. 2.2. Мережа регіональних інститутів GeoGebra в країнах Європи

Інститути GeoGebra в Україні спрямовують свою діяльність на:

– стимулювання студентів і викладачів до проведення наукових досліджень у галузі математики, фізики, інформатики та інформаційних технологій;

- сприяння поширенню і продуктивному використанню програмних, наукових, освітніх, методичних напрацювань міжнародної GeoGebra спільноти у професійній діяльності математиків та викладачів математики;
- реалізацію концепції STEM-освіти в освітній практиці;
- залучення студентів і викладачів до активної співпраці з міжнародною GeoGebra спільнотою, участі у семінарах, конференціях та інших заходах, ініційованих Міжнародним Інститутом GeoGebra.

Важливим є те, що Інститут GeoGebra підтримує понад 400 викладацьких та навчальних STEM закладів, а також постачальників послуг у всьому світі, обслуговуючи світову спільноту від ранніх років до вищої освіти.

Вагомий інтерес для нашого дослідження має зарубіжний досвід використання пакету GeoGebra у STEM-освіті. Варто відзначити, що вже протягом тривалого часу даний досвід накопичувався і розвивався.

Використанню пакету GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти у процесі підготовки вчителів присвячено низку публікацій. Зокрема, А. Олдноу (Adrian Oldknow) [46] виокремлює наступні функції пакету GeoGebra, які використовуються для підтримки діяльності STEM-освіти і стимулювання вчителів: аналіз даних, отриманих з відео об'єктів, що перебувають у русі; дані, отримані в результаті експериментів із використанням різноманітних датчиків; математичне моделювання динамічних процесів; геометрія та алгебра, що використовуються для моделювання аспектів фотографій; візуалізація, моделювання і створення об'єктів у 3D. Також він визначає роль пакету GeoGebra у реалізації STEM-освіти. З одного боку, пакет виконує роль програмного засобу для підтримки STEM-освіти, з іншого спільноти викладачів – користувачів пакету можуть бути залученими до підтримки даного процесу як особисто, так і за рахунок використання їхніх напрацювань в пакеті GeoGebra.

Дж. Холл (J. Hall) і Т. Лінгеф'ярд (T. Lingefjärd) [27] розкривають логічний проблемно-орієнтований підхід до використання пакету GeoGebra для математичного моделювання і вирішення проблем у різних областях математики. Автори відзначають, що GeoGebra добре підходить для

моделювання задач в алгебрі, символній алгебрі, динамічній і тривимірній геометрії, статистиці, підтверджуючи це більш ніж 400 діаграмами і 300 прикладами, виконаних в GeoGebra, з практичними підходами до математичного моделювання, які будуть корисними для вчителів під час організації і реалізації проєктів STEM-освіти.

Л. Фальберг-Стояновська (L. Fahlberg-Stojanovska) [21], В. Стояновський (V. Stojanovski) [21], П. Хьюсон (P. Hewson) [28] зазначають, що пакет GeoGebra може впливати на зміну звичок учителя. Дві специфічні особливості були вказані як причини такої зміни: це програмна система, що отримує нагороди, є популярною та визнаною в науковому світі, і, отже, має чудові можливості роботи з нею; це програмна система, що забезпечує ефективну педагогічну модель для вчителів, надаючи йому повну дидактично-методичну підтримку для організації і проведення занять у форматі STEM-освіти.

Вагомий внесок у популяризацію використання пакету GeoGebra в STEM-освіті під час підготовки майбутніх учителів робить група дослідників: Ж. Лавіца [25; 29; 31], К. Фенівеші [38; 39], Д. Лієбан (Diego Lieban) [38], Х. Парк (H. Park) [38], М. Хохенвратер [29; 30; 31], Т. Продрому (T. Prodromou) [38; 39]. Так, у роботі [38] науковці описують приклади проєктів, які були успішно реалізовані на базі Університету Йогана Кеплера (м. Лінц, Австрія). Проєкти були виконані в рамках магістерських і докторських програм студентами і науковцями з різних куточків світу, зокрема Аргентини, Коста-Ріки, Єгипту, Філіппін, ПАР із залученням елементів STEM-освіти. Особливістю даних проєктів є те, що в них відбулася інтеграція пакету GeoGebra з елементами робототехніки, архітектури, механіки, віртуальної реальності. Водночас представники спільноти GeoGebra тісно співпрацювали з урядами і організаціями цих країн, які постачають комп'ютерну техніку в заклади освіти. Наприклад, в Аргентині 3 мільйони учнів отримали ноутбуки з GeoGebra, що є повноцінними віртуальними дослідницькими лабораторіями для юних науковців. Підготовка учителів була проведена на базі Інституту GeoGebra Centro Babbage у Буенос-Айресі. Крім того, був створений пакет

GeoGebra XO, що дозволяє користувачам в Африці та Південній Америці запускати програмне забезпечення GeoGebra на нетбуках у рамках проєкту OLPC (One Laptop Per Child).

У роботі [39] Ж. Лавіца, Т. Продрому, К. Фенівеші, М. Хохенвратер, І. Юхос (I. Juhos) та Б. Корен (B. Koren) окреслюють неминучу інтеграцію технологій в освіту. Ця інтеграція повільна, але безперервна. Уже існують великі мережі, такі як спільнота GeoGebra, які заохочують викладачів та студентів використовувати технології у навчанні і дослідженні. Крім того, існують великі загальнодержавні проєкти, такі як Коннектар Ігелдад (Connectar Igueldad) і План Сейбал (Plan Ceibal), які пропонують технологічні ресурси для освіти. Ці ініціативи важливі для прогресу, але було підкреслено, що дослідження є важливою частиною для кращого розуміння елементів технологічної інтеграції, і навіть невеликі проєкти можуть сприяти прогресу в цій галузі. Однак, слід пам'ятати про залучення попередніх досліджень та розробку нових проєктів, беручи до уваги те, що було вивчено з минулих проєктів. Незважаючи на те, що невеликі проєкти можуть сприяти розумінню використання технологій в освіті, масштабування проєктів може запропонувати нові проблеми для педагогів. Таким чином, масштабні проєкти також необхідні для вивчення загальнодержавних ініціатив. Проєкт Geomatech є однією з таких масштабних ініціатив, що спирається на попередні експерименти, базується на спробах розробити нові важливі знання та ресурси для освітніх технологій. Ряд дослідників вже відвідали Будапешт, щоб подивитися, що реалізується в рамках проєкту Geomatech, і вони прагнуть розвивати подібні проєкти у своїх країнах. Проєкт Geomatech, мав на меті підготувати 2500 вчителів у 950 школах Угорщини до використання пакету GeoGebra як засобу реалізації STEM-освіти. Автори дослідження зазначають, що подібні приклади, розроблені технологія, ресурси та методика сприятимуть подальшій інтеграції технологій у математичній та природничій освіті.

Разом з цим на базі Університету Йоганнеса Кеплера діє докторська програма підготовки майбутніх викладачів до використання сучасних цифрових

технологій у STEM-освіті. Наукова школа, яка створена з даної проблематики й активно розвивається, тісно пов'язана з Центром розробки GeoGebra, який працює над розвитком пакету. Дослідницька група STEAM при Університеті Йоганнеса Кеплера співпрацює з більш ніж 160 міжнародними інститутами GeoGebra, мережею груп викладачів та дослідницьких груп в університетах у 75 країнах. Університет Йоганнеса Кеплера організовує дві STEAM-конференції на рік, приймаючи також конференцію Bridges-Maths and Arts у 2019 році та конференцію Maths Education in the Digital Age (MEDA) у 2020 році [64]. У 2021 році започатковано конференцію Early-career Researchers In STEAM Education Conference [36]. Метою проведення заходу є обговорення STEAM-досліджень для дослідників, які тільки розпочали кар'єру в STEM-освіті. Доповіді конференції дають змогу дізнатись про роботу колег на місцевому та міжнародному рівнях у проектах, пов'язаних зі STEAM, та обговорювати роль пакету GeoGebra у підтримці творчих середовищ для навчання.

Науковці приділяють значну увагу до залучення творчості у процесі використання пакету GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти. Так, зокрема, Р. Лейкін (R. Leikin) і Д. Пітта-Пантаці (D. Pitta-Pantaz) у [40] підкреслюють важливість креативності в математичній освіті і розширенні можливостей викладачів у дослідженнях щодо підготовки інструкцій до розвитку елементів креативності у навчанні. Х. Лев-Замір (H. Lev-Zamir) і Р. Лейкін у роботі [41] зазначають, що вчителі мають багато помилкових уявлень щодо використання елементів творчості при викладанні математики: важливо, щоб викладачі розвивали креативність під час викладання математики в рамках реалізації STEM-концепції з акцентом на компоненту Art (STEAM) [49]. У роботі [8] Р. Бегетто (R. Beghetto) і Дж. Кауфман (J. Kaufman) представлена добірка есе про важливість включення елементів творчості у навчання. Дж. Уїлк (J. Wilk) [79] вважає, що лише тоді, коли математичні концепції викладаються творчо, учні виграють від такого досвіду, а також

відзначає, що завдання вчителя полягає у розробці різноманітних видів діяльності, які спонукають учнів до творчих та інноваційних підходів.

На особливу увагу заслуговують публікації, які розкривають особливості застосування пакету GeoGebra у процесі STEM-освіти. Так, О. Ентоні (O. Anthony) [2] відзначає, що з 2014 року Інститут GeoGebra в Гонконзі та Академія обдарованої освіти Гонконгу (HKAGE – Hong Kong Academy for Gifted Education) спільно організують літні курси GeoGebra для учнів середніх класів HKAGE. У 2016 році були організовані регулярні курси GeoGebra початкового, середнього та поглибленого рівнів для учнів початкових та середніх класів HKAGE. На курсах учні використовували програмне забезпечення GeoGebra для проведення практичних занять, які сприяли їх кращому розумінню математики та розвитку їх творчих здібностей і як результат полегшували STEM-навчання [2].

Л. Фанльберг-Стояновська (L. Fahlberg-Stojanovska) і В. Стояновський (V. Stojanovski) [21] виявили, що використання GeoGebra мотивує учнів і допомагає їм вчитися на більш високому рівні, досліджуючи математичні моделі, роблячи припущення та перевіряючи власні гіпотези та припущення .

Дж. Фурнер (J. Furner) і К. Марінас (C. Marinas) [23] виявили, що учні можуть легко перейти від конкретного, використовуючи маніпулятори, такі як геоборди, до абстрактного, використовуючи програмне забезпечення для ескізів геометрії, як пакет GeoGebra.

Л. Фанльберг-Стояновська, В. Стояновський та П. Хьюсон (P. Hewson) у роботах [21; 28] пакет GeoGebra описали як ефективний засіб стимулювання мотивація до ефективного застосування технологій під час вивчення учнями математики та проведення ними власних досліджень.

Н. Арбейн (N. Arbain) і Н. Шукор (N. Shukor) у своєму дослідженні [4] показують як використання пакету GeoGebra під час навчання позитивно впливає на успішність учнів. Так, учні сприймають програмне забезпечення GeoGebra з ентузіазмом, впевненістю та мотивацією для дослідження світу математики в цілому, використовуючи критичне і творче мислення.

М. Увурукундо (M. Uwurukundo), Дж. Манірахо (J. Maniraho) та М. Тусііме (M. Tusiime) у роботі [72] наводять аналіз дослідження впровадження пакету GeoGebra у процес навчання і викладання математики в середній школі в рамках STEM-освіти. Науковці відзначають, що ефективність використання пакету GeoGebra у процесі навчання склала понад 80%, виходячи зі статистичних даних в проаналізованих ними літературних джерелах.

У роботі Р. Вайнхандль (R. Weinhandl), Ж. Лавіца, М. Хохенвратера та С. Шаллерта (S. Schallert) [77] описано результати дослідження поєднань перевернутих підходів у навчанні і пакету GeoGebra в математичній освіті в середній школі. Зокрема, зазначено, що використання GeoGebra на уроках надає учням можливість зворотного зв'язку як автоматичного, що забезпечено самим пакетом, так і особистого відгуку на власні дії в робочому середовищі GeoGebra. Водночас учні можуть перевірити набуті знання безпосередньо в середовищі GeoGebra, та отримати миттєвий результат.

У роботі Т. Бланко (T. Blanco), Х. Дієго-Мантекон (J. Diego-Mantecón) та З. Ортис-Ласо (Z. Ortiz-Laso) [13] представлено міжнародне дослідження за програмами Erasmus+ і Horizon 2020 з метою встановлення взаємозв'язку між навчанням на основі проєктів STEAM із форматом KIKS (Kids Inspire Kids for STEAM) та глобальним розвитком ключових компетенцій. Вибірка включала 267 учнів загальноосвітніх шкіл, розподілених у 53 командах з 29 шкіл Фінляндії, Англії, Угорщини та Іспанії. Кожна команда розробляла кілька проєктів протягом принаймні двох навчальних років із наступними підходами до впровадження: STEAM і KIKS навчання на основі проєктів з використанням пакету GeoGebra. Дані збирали за допомогою спостережень та інтерв'ю зі студентами, викладачами та тренерами KIKS. Аналіз показав, що поєднання обох підходів сприяє розвитку восьми ключових компетентностей. Проєктне навчання в основному сприяло STEM-дисциплінам, тоді як підхід KIKS покращував грамотність та багатомовні навички. Решта стимулювалися поєднанням обох підходів.

Б. Хаас (B. Haas), Ю. Крейс (Y. Kreis) та Ж. Лавіца у роботі [25] описано «відкриті математичні стежки» з інтегрованим підходом STEAM для початкової школи, які були створені з використанням безкоштовного освітнього програмного забезпечення MathCityMap та пакету GeoGebra 3D. На цих відкритих стежках розробники використовували набір перспективних технологій, таких як AR (доповнена реальність) або GPS, для підтримки STEAM-навчання. На основі результатів першого дослідження на «відкритих математичних стежках» у червні 2020 року було розроблено й оцінено основу інтегрованого STEAM-навчання на відкритому повітрі. Ця основа була використана для подальшого створення завдань на відкритому повітрі для початкової школи.

На платформі університету Флориди (США) створено англomовний онлайн ресурс [73], що містить структуровану за алфавітом добірку математичних пакетів. Кожний пакет має стислий опис і гіперпосилання на його головну сторінку. Віртуальна бібліотека стане у нагоді користувачам, яким потрібно швидко обрати пакет для розв'язку певної задачі, побудови геометричної моделі, дослідження графіку функції тощо.

Таким чином, пакет GeoGebra знайшов широке використання як інструмент реалізації STEM-освіти в багатьох країнах світу, таких як ПАР, КНР, США, Аргентина, Бразилія, країнах ЄС, з одного боку, в процесі підготовки майбутнього вчителя, з іншого – під час навчання учнів.

Інститут GeoGebra підтримує організацію і проведення різноманітних заходів регіонального і міжнародного рівнів. Зокрема, традиційними вже стали міжнародні конференції, майстер-класи, семінари, які об'єднують науковців, учителів, студентів, учнів. Конференції зазвичай відбуваються у двох форматах: для науковців і для учителів, що пов'язано зі специфікою використання пакету GeoGebra з одного боку, як інструменту у наукових дослідженнях, з іншого – як засобу для підтримки викладання природничо-математичних дисциплін. Окрім традиційних доповідей учасники конференції мають можливість ознайомитися з технічними новинками прикладного

застосування GeoGebra «на дотик». Наприклад, під час проведення міжнародних конференцій GeoGebra, які відбуваються раз на два роки (GeoGebra Global Gathering – G3), діють демонстраційні кабінети, де кожний охочий може протестувати технічні пристрої, що функціонують з GeoGebra (наприклад, інтерактивна смарт-дошка, камера для побудови голографічних 3D-об'єктів, портативні мобільні комп'ютери тощо). Значну увагу організатори приділяють дослідницькій діяльності студентів та учнів з використанням пакету GeoGebra. Щороку в рамках проведення подібних заходів учні та студенти мають можливість продемонструвати власні наукові проекти з використанням пакету GeoGebra науковцям і викладачам з різних країн світу. Наприклад, на базі Варшавського інституту GeoGebra (Польща) в рамках проведення регіональної конференції проводиться день учнівських проектів, коли учні з різних куточків Польщі можуть продемонструвати свої перші наукові кроки і здобути досвід виступу перед аудиторією.

Виходячи з вищезазначеного, відзначимо, що використання пакету GeoGebra несе вагомий мотиваційний вплив для науковців, вчителів, студентів, учнів. Участь у конференціях, відвідування семінарів, презентацій, організація власних майстер-класів з використання GeoGebra для розв'язання прикладних задач, доведення і демонстрації результатів наукового дослідження, підготовка публікацій, розробка методичних і навчальних матеріалів з використання пакету GeoGebra – все це створює мотиваційний фактор для подальшого розвитку наукових досліджень, «занурення» в робоче середовище GeoGebra для створення нових проектів, використання пакету GeoGebra для вирішення складних прикладних задач, вдосконалення пакету GeoGebra і розширення його функціональних можливостей.

Набутий досвід роботи з пакетом надає майбутньому вчителю можливість не лише використовувати набуті знання на певному етапі роботи з ним, а й подальшого особистісного розвитку разом з удосконаленням пакету. Так, зокрема, учитель може створити власну сторінку на платформі спільноти GeoGebra, що є своєрідним інтерактивним майданчиком для демонстрації

власних розробок в середовищі GeoGebra, пошуку колег зі спільними науковими інтересами, відкриття нових можливостей використання пакету, ознайомлення з останніми новинами, подіями, оновленнями GeoGebra.

Все це спричинило розробку практикуму для практичного опанування компонентів та вбудованих інструментів пакету GeoGebra шляхом виконання покрокових побудов і навчальних досліджень [140]. Слід також зауважити, що навчання проводиться на прикладах та моделях, які можна віднести до об'єктів математичного мистецтва, що дозволило авторам представити GeoGebra як потужний інструмент реалізації STEM-освіти.

Усе зазначене дає змогу дійти висновку, що аналіз систем комп'ютерної математики, які використовуються у процесі математичної підготовки майбутніх учителів, дав змогу виявити переваги використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти, що зумовлено потужністю його функціоналу, зручностями практичної експлуатації, перспективністю для освітніх застосувань, можливістю опори на досвід масового застосування пакета у світовій практиці.

Схарактеризовано освітньо-розвивальний потенціал та визначальні особливості пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики: позиціонування пакету як системи комп'ютерної математики, зорієнтованої на підтримку навчально-дослідницької діяльності учнів та студентів; розвиненість функціоналу пакету й неперервність його вдосконалення, здійснюваного міжнародним колективом розробників; широкий діапазон застосувань у STEM-освіті та її відгалуженнях (STEAM, STREAM та інших), у науково-дослідницькій і практичній діяльності різного спрямування; вільне поширення повнофункційної версії пакету українською мовою; незалежність від апаратури та операційної системи; наявність хмаро орієнтованої версії; велика база вільно поширюваних освітніх STEM-ресурсів, створених відкритою GeoGebra-спільнотою; можливість візуалізації комп'ютерних моделей у віртуальній і доповненій реальності та їх матеріалізації засобами 3D-друку. 20-річна історія використання пакету

GeoGebra у математичній освіті виявила синергетичний ефект його застосування – спадковість STEM-застосувань: затребуваність набутих майбутнім учителем математики вмій і навичок застосування GeoGebra не лише в подальшій професійній діяльності, а й поза її межами.

Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти потребує розробки та обґрунтування комплексу педагогічних умов, запровадження яких забезпечує ефективність такого використання.

Разом з цим, попри наявність численних напрацювань міжнародної спільноти GeoGebra, які створюють відкритий загальнодоступний ресурс підтримки пакету, він є різномовним, зокрема більшість матеріалів англomовні і потребують адаптації до використання в україномовній спільноті. Водночас, що найголовніше, ці матеріали не є систематизованими і структурованими, необхідним є їх аналіз, оцінювання, добір, каталогізація. Так, існує система тегів, але вона не вирішує проблему повністю. Таким чином, виникає потреба у створенні хмаро-орієнтованого інформаційно-освітнього середовища GeoGebra, адаптованого до реалій української системи освіти. Одним із першочергових кроків для створення такого середовища є визначення і аргументація педагогічних умов використання пакету GeoGebra в реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики.

2.3 Умови ефективного використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики

Як педагогічна наука, так і освітня практика доводять, що досягнення значущих цілей завжди потребує введення певних змін в освітній процес, які уможливають або сприяють досягненню поставленої цілі. Оскільки освітній процес спрямовується на результат, що визначається у термінах освітніх надбань здобувача освіти, його «доданої вартості», то зазначені зміни представляють реалізацію цілеспрямованих заходів щодо вдосконалення освітнього процесу як у ракурсі підвищення якості освіти, так і в розрізі його

(процесу) оптимізації. Успіх у досягненні бажаного результату потребує попередньої обґрунтованості таких заходів, забезпечення їх взаємоузгодженості, зваженості, врахування поточного стану освітнього процесу, готовності його суб'єктів до запровадження змін. Саме на пошук ефективних шляхів удосконалення освітнього процесу і спрямовані наукові розвідки щодо розробки й обґрунтування педагогічних умов.

Педагогічні умови підлягають експериментальній перевірці і, якщо їх ефективність доведена, впроваджуються в освітню практику, стають компонентом освітнього процесу. Н. Іполітова та Н. Стерліхова наголошують, що «в сучасних педагогічних дослідженнях, пов'язаних з проблемами вдосконалення функціонування педагогічних систем, підвищення ефективності освітнього процесу, одним з аспектів, що викликає найбільший інтерес, є виявлення, обґрунтування, перевірка педагогічних умов, які забезпечують успішність здійснюваної діяльності... Виявлення умов, що забезпечують функціонування і розвиток педагогічної системи, цілісного педагогічного процесу є одним із важливих завдань педагогічних досліджень, успішне вирішення якої, як правило, становить наукову новизну дослідження й обумовлює його практичну цінність» [156, с. 12]. Отже, розробка, обґрунтування, експериментальна апробація і впровадження педагогічних умов постають як важливий напрям діяльності, спрямованої на постійний розвиток, модернізацію, вдосконалення освітнього процесу.

Вивчення і аналіз науково-педагогічних і науково-методичних публікацій засвідчує, що попри численність праць [156; 262; 264; 195; 203; 144; 234; 86; 200] з окресленої тематики, можна констатувати єдність дослідників щодо узагальненого розуміння терміну «педагогічні умови», але існують і різні підходи до його визначення, певні розбіжності в його конкретизації, у виокремленні видів, груп педагогічних умов.

У педагогічній теорії і практиці були розроблені та знайшли відображення різні позиції у тлумаченні сутності поняття «педагогічні умови». Педагогічні умови розглядаються як: сукупність заходів педагогічного впливу і

можливостей матеріально-просторового середовища; компонент педагогічної системи, що відображає сукупність внутрішніх і зовнішніх елементів, що забезпечують ефективність її функціонування і перспективний розвиток внутрішніх (внутрішні елементи сприяють особистісному аспекту розвитку суб'єктів освітнього процесу, зовнішні – реалізації його процесуального аспекту); об'єкт теоретико-експериментальних науково-педагогічних досліджень.

Так, Є. Яковлєв та Н. Яковлєва розглядають педагогічні умови як «сукупність заходів педагогічного процесу, спрямованих на підвищення його ефективності» [264], не надаючи будь-якої характеристики запроваджуваним засобам, окрім однієї – їх цільового спрямування. А. Найн визначає педагогічні умови як «сукупність об'єктивних можливостей змісту, форм, методів навчання і матеріально просторового середовища, спрямованих на рішення поставлених завдань» [195] і, на відміну від попередніх авторів, конкретизує об'єкти, які піддаються змінам, вказує на те, що ці зміни здатні відігравати роль чинника впливу у вирішенні завдання, і уточнює, що цей вплив має бути сприятливим. М. Переверзев характеризує сутність педагогічних умов «як цілеспрямовано організоване педагогічне середовище, систему педагогічних засобів, комплекс взаємодій суб'єктів педагогічного процесу» [203]. В. Розін, розглядаючи поняття педагогічних вимог, звертає увагу на те, що педагогічний процес є складним, багатокомпонентним, динамічним об'єктом, і досягнення значимих цілей у педагогічному процесі потребує одночасного застосування різновекторних впливів, сукупності педагогічних вимог, дотримання яких у процесі навчання дає можливість целеспрямовано й істотно змінити його результативність [234]. За М. Дурановим [144], педагогічні умови забезпечують добір специфічного змісту, форм, методів навчання і виховання для вирішення конкретних педагогічних завдань. При цьому сукупність заходів, що забезпечують досягнення результатів більш високого рівня, повинна бути взаємопов'язаною. Ми погоджуємось із визначенням наданим М. Дурановим і у межах нашого дослідження будемо спиратися на його думку.

Потужний вплив інноваційних технологій на освітній процес, нове розуміння освіти як неперервного у просторі й часі процесу, нові цільові орієнтири дали поштовх педагогічним дослідженням, спрямованим на виявлення ефективних педагогічних підходів та умов удосконалення освітнього процесу та якості освіти в її сучасних реаліях. У педагогічних дослідженнях, присвячених цій проблематиці, було показано, що ретельний аналіз призводить до вияву багатьох різноаспектних факторів впливу, що призвело до тенденції виокремлення груп педагогічних умов певного спрямування, яка чітко виявилася в останні роки.

Так, Г. Алексанян [86], розглядаючи педагогічні умови використання хмарних технологій в освітньому процесі з математики для підтримки самостійної роботи студентів, виділяє групи особистісних, методичних, матеріально-технічних, організаційних умов. М. Опачко в дослідженні педагогічних умов підготовки з дидактичного менеджменту майбутніх учителів фізики подає зазначені умови у вигляді таких груп; дидактичні, психологічні (зовнішні та внутрішні) інформаційно-технологічні [199]. Г. Тимощук поділяє педагогічні умови формування ціннісного ставлення до професійної діяльності майбутніх економістів у процесі вивчення фахових дисциплін на дві групи: групу організаційно-педагогічних, що пов'язані з процесуальним компонентом організації освітньої діяльності, та групу психолого-педагогічних умов, що стосуються мотиваційного та особистісного компонентів освітньої діяльності [252]. В. Ширяєва, досліджуючи педагогічні умови формування універсальної ключової компетентності здобувачів освіти, виокремлює групи когнітивних, організаційних, загальних дидактичних умов і наголошує, що педагогічні умови мають застосовуватися комплексно, оскільки вони є взаємопов'язаними і доповнюють одна одну [262]. Т. Мінакова у педагогічних умовах розвитку пізнавальної самостійності студентів виділяє групи когнітивних, аксіологічних, праксіологічних умов [192].

Із наведеного можна дійти висновку, що відмінності у виділенні груп умов різними авторами зумовлені як специфікою проблеми, що розглядається,

так і позицією дослідника. Разом з тим, багато науковців у своїх працях спираються на узагальнений підхід до виокремлення груп педагогічних умов, запропонований Н. Іполітовою і Н. Стерховою [156]. Автори наголошують на необхідності уточнення «класифікаційних груп педагогічних умов у відповідності до їх зорієнтованості на характер і природу проблем, які мають вирішити ці умови». Попри те, що автори не акцентують на цій особливості їх дослідження, на нашу думку, цінним є те, що запропонована ними класифікація ґрунтується на засадах функціонального підходу і дає змогу при розробці педагогічних умов аналізувати проєктовані заходи впливу як за повнотою охоплення ними основних спрямувань – дидактичного, організаційного, особистісного, так і за їх взаємоузгодженістю, взаємопов'язаністю та взаємодоповнюваністю. У відповідності до зазначених векторів впливу, науковцями виділено й схарактеризовано три групи умов: організаційно-педагогічні, психолого-педагогічні, дидактичні. За їх визначенням, «основною функцією організаційно-педагогічних умов є організація таких заходів впливу, які забезпечують цілеспрямоване, сплановане управління розвитком цілісного педагогічного процесу, тобто управління процесуальним аспектом педагогічної системи»; основна функція психолого-педагогічних умов полягає в «організації таких заходів педагогічної взаємодії, які забезпечують перетворення конкретних характеристик розвитку, виховання і навчання особистості, тобто впливають на особистісний аспект педагогічної системи»; основною функцією дидактичних умов є «вибір і реалізація можливостей змісту, форм, методів, засобів педагогічної взаємодії в процесі навчання, які забезпечать ефективне розв'язання освітніх завдань» [156].

Підсумовуючи наведене, зазначимо, що педагогічні умови є комплексом спеціально розроблених заходів організаційно-педагогічного, психолого-педагогічного, дидактичного спрямування, які в сукупності забезпечують ефективність освітнього процесу щодо вирішення поставленого завдання – досягнення заданої освітньої цілі, якою в нашому дослідженні є продуктивне використання пакету GeoGebra як інструмента впровадження концепції STEM-

освіти у процес підготовки майбутніх учителів математики. Іншими словами, створення педагогічних умов має сприяти досягненню цілей STEM-освіти за рахунок реалізації потенціалу і переваг застосування пакету GeoGebra в освітньому процесі.

У розробці педагогічних умов ми виходили з того, що STEM-освіта є багатоцільовою концепцією, і в комплексі її цілей слід зосередити увагу на тих, що знаходяться у фокусі нашого дослідження, досягненню яких може слугувати використання пакету GeoGebra. До зазначених цілей нами віднесено: розвиток мотивації студентів до набуття математичної освіти, формування переконань у її значущості та дієвості математичних знань, оволодіння дослідницькими вміннями, набуття здатності і бажання самостійно нарощувати власний освітній потенціал.

На особливій значущості дослідницьких умінь акцентовано в наступних матеріалах: «Європейська рамка кваліфікацій для неперервного навчання» [228], де наголошується, що фахівець високого рівня має володіти дослідницькою компетентністю, здатністю виконувати дослідницькі завдання, здійснювати дослідницьку діяльність, спрямовану на отримання нових знань; Педагогічна Конституція Європи [202], де орієнтир на дослідницьку діяльність віднесено до головних стратегій успішної діяльності.

STEM-освіта наголошує на такій побудові освітнього процесу, коли практична діяльність, власний досвід самостійного набуття знань відіграє не меншу роль, ніж їх теоретичне вивчення, більше того, виступає побудником до нарощування особистісного освітнього потенціалу. Саме тому в STEM-освіті пріоритет віддається проєктно-дослідницькій діяльності, значущість якої збільшується у напрямі переходу від предметних до міжпредметних і далі – до реальних об'єктів, а технічний аспект спрощується і раціоналізується використанням сучасних високотехнологічних інструментів.

Науковці С. Ловягін, О. Обухов [186] також звертають увагу на те, що вибудовування освітнього процесу в проєктно-дослідницькому форматі на засадах інтеграції навчальних дисциплін, як того потребує реалізація STEM-

освіти, виявляється непродуктивним без освоєння сучасних методів та інструментів, які дають змогу реалізувати процеси проектування, дослідження, експериментування. Проектно-дослідницький формат означає, що самостійна практична діяльність студентів спрямовується не на застосування й закріплення попередньо вивчених предметних знань, а на активне й свідоме задіяння всього комплексу набутих знань і – що головне – на вияв потреби в знаннях, у їх здобутті. Отже, практика випереджає теорію, стимулює вихід за межі суб'єктивно відомого, оволодіння новим матеріалом зумовлено потребою, інтересом, його усвідомлення відбувається у процесі застосування, і корисність знань стає явною.

Аналіз виділених нами цілей доводить, що ключового значення в їх досягненні набуває організація проектно-дослідницької діяльності майбутніх учителів математики, в процесі якої активно застосовується математичний апарат, метод математичного моделювання, сучасний інструментарій математичних досліджень, демонструється їх універсальність, дієвість, реальна значущість, опановується технологія проведення дослідження, відпрацьовуються дослідницькі вміння, стимулюються креативність, наукові розвідки, самостійний пошук нових знань і оволодіння ними. Така діяльність потребує опори на використання математичної дослідницької лабораторії, сучасного потужного математичного середовища.

Як було з'ясовано в п. 2.2 дисертації, пакет GeoGebra на сьогодні є найкращим і перспективним вибором для такого застосування у процесі підготовки майбутніх учителів математики, оскільки підтримує весь цикл навчальних дисциплін математичної підготовки і слугує дослідницькою лабораторією з потужним інструментально-вимірювальним комплексом для математичного моделювання та емпіричного дослідження широкого класу об'єктів. Отже, застосування пакета GeoGebra уможливорює системне впровадження комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у практику підготовки майбутніх учителів математики, що ми розглядаємо як основний спосіб досягнення поставлених цілей, оскільки в процесі дослідницької

діяльності студенти оволодіватимуть дослідницькими вміннями, на власному досвіді переконуються у значущості та дієвості математичних знань, підвищиться їх мотивація до набуття математичної освіти, здатність самостійно нарощувати власний освітній потенціал.

У розробці педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента впровадження концепції STEM-освіти у процес підготовки майбутніх учителів математики нами враховувалося, що:

1. Процес математичної освіти рухається у напрямі ускладнення математичного апарату, що дає змогу будувати математичні моделі все більш складних об'єктів – математичних, міждисциплінарних, реальних, здійснювати вивчення їх властивостей, проводити комп'ютерні експерименти, застосовуючи й опановуючи все більш складний інструментарій комп'ютерного середовища. Таким чином, проєктно-дослідницька діяльність майбутніх учителів математики, що відображає реалізацію інтегративного і діяльнісного підходів – ключових у STEM-освіті, розвивається як у змістовному, так і в інструментально-технологічному аспектах. Це зумовлює необхідність проєктування ланцюжка дослідницьких і проєктних робіт, за якими має просуватися відповідна діяльність студентів і які в комплексі утворюють дослідницький практикум, що реалізується у процесі підготовки майбутніх учителів математики. Наскрізний характер такого практикуму цілком відповідає тенденції інтеграції навчальних дисциплін освітньої підготовки на її різних рівнях.

Упровадження дослідницького практикуму націлене на формування дослідницьких умінь майбутніх учителів математики, що має відбуватися, як було зазначено у п. 2.1 нашого дослідження, на технологічних засадах. Оскільки в даному контексті йдеться про педагогічну технологію, звернемося до наукових праць, де визначено сутність цього поняття. Педагогічну технологію розуміють як: систему науково обґрунтованих дій і взаємодій елементів навчального процесу, виконання яких гарантує досягнення визначеної мети навчання [225]; «послідовну, взаємопов'язану систему дій,

операцій і процедур, виконуваних педагогом і спрямованих на розв'язання педагогічних завдань, або як планомірне й послідовне втілення на практиці заздалегідь спроектованого педагогічного процесу, що має на меті досягнення конкретного, діагностованого й гарантованого результату» [253, с. 35]; сукупність психолого-педагогічних настанов, що визначають спеціальний підхід і композицію форм, методів, способів, прийомів [247]. У межах нашого дослідження будемо розуміти педагогічну технологію як заздалегідь спроектований процес, якому притаманні такі ознаки: поділ процесу на послідовність взаємопов'язаних етапів, кожний з яких спрямований на досягнення певного проміжного результату; визначеність дій, операцій і процедур, виконуваних на кожному з етапів; успішність досягнення кінцевого результату за умови виконання всіх етапів, передбачених технологією.

У розробці практичних аспектів реалізації технології формування дослідницьких умінь майбутніх учителів математики ми спираємося на праці [132; 10; 131], де розкриваються особливості реалізації педагогічної технології комп'ютерного математичного моделювання в освітньому процесі. Основу застосованого нами технологічного підходу складають: поетапність у формуванні дослідницьких умінь студентів і в оволодінні ними технологією проведення комп'ютерного дослідження; поступовість у розширенні функціоналу пакету GeoGebra, використововуваного для проведення дослідження, і, відповідно, у залученні студентів до оволодіння можливостями пакету GeoGebra; зорієнтованість на розкриття значущості математичного моделювання, що відбивається у структурі навчальних досліджень, які складаються з трьох основних етапів: дослідження математичного об'єкта, дослідження об'єкта, побудованого на міжпредметному матеріалі, дослідження реального об'єкта. Кожне навчальне дослідження виконується студентом за наданим покроковим планом, кожний його етап супроводжується питаннями, спрямованими на осмислення студентом здобутих результатів, пробудження його креативності, ініціативи, генерацію ідей. Ступінь деталізації планування

зменшується у процесі виконання дослідницького практикуму, все більша самостійність у дія надається студенту.

Важливо зазначити, що постановка дослідницького практикуму в середовищі GeoGebra зумовлює необхідність створення й використання бази навчальних моделей, яка має постійно оновлюватися, а також відповідного методичного забезпечення.

2. Самостійна робота студентів навчально-пізнавального і проєктно-дослідницького спрямування у середовищі пакета GeoGebra потребує спеціалізованої ресурсної підтримки – програмної, дидактико-методичної, інформаційної.

Програмна підтримка має забезпечувати можливість використання пакету GeoGebra, зміни і покращення налаштувань пакету, зокрема таких налаштувань як мова інтерфейсу, вигляд панелі інструментів, розміщення функціональних областей (геометричної побудови, аналітичних розрахунків, табличного подання даних) в робочому середовищі пакета. Створення програмної підтримки ускладнюється тим, що пакет GeoGebra було розроблено з англійським інтерфейсом, і для використання в українському освітньому просторі була потрібна його адаптація українською. З часом з'явилася можливість україномовного перекладу основних опцій меню інтерфейсу та інструментів робочого середовища. Разом з тим, зважаючи на неперервний розвиток функціональних можливостей GeoGebra і появу нових інструментів, актуальним є постійне оновлення україномовної версії відповідно до останньої стабільної англійської версії пакету.

Дидактико-методична підтримка має бути розроблена у відповідності до передбаченого в освітньому процесі використання пакету GeoGebra. Разом з тим, оскільки підтримка стосується різних видів діяльності студентів – навчально-пізнавальної, навчально-дослідницької, науково-дослідницької, проєктної, доцільно скористатися тими матеріалами, які розроблені багаточисленними представниками міжнародної спільноти GeoGebra. Наявність таких матеріалів, адресованих учням, учителям, студентам, науковцям, є

вагомою перевагою пакету GeoGebra для освітніх застосувань. Зазначені напрацювання представлені в Інтернеті у вигляді статей у періодичних виданнях, тематичних збірників матеріалів, навчальних посібників, постів тощо. Окремо слід відзначити корисні матеріали, зібрані на сайті GeoGebraTube, створеному для колекціонування та обміну аплетами GeoGebra, де можна знайти й вільно завантажити розробки динамічних сторінок GeoGebra або представити власні, щоб поділитися ними з іншими користувачами.

Разом з тим, величезний обсяг таких матеріалів, їх різномовність, несистематизованість, різна якість, орієнтація на місцеві стандарти освіти і навчальні програми створюють суттєві ускладнення для їх практичного використання. Для використання таких матеріалів у якості ресурсної підтримки самостійної роботи студентів слід виконати попередню підготовчу роботу, яка включає пошук релевантних матеріалів, їх експертне оцінювання, відбір тих, що підлягають адаптації, їх переклад і коментування, систематизацію, каталогізацію.

До інформаційної підтримки самостійної роботи студентів належать: інформаційно-довідкові матеріали. Це насамперед довідник користувача пакету GeoGebra, де представлено деталізований опис основних інструментів, функцій і налаштувань пакету, який містить також приклади їх використання для побудови й дослідження математичних об'єктів. На цей час існує англomовна версія довідника, отже, його використання потребує попереднього перекладу українською з подальшою адаптацією в українському освітньому просторі. Крім того, оскільки довідник є статичним і не інтегрованим безпосередньо в робоче середовище пакету, і для забезпечення зручності його використання доцільно розробити його інтерактивну версію з подальшою інтеграцією в пакет GeoGebra.

Інформаційні матеріали продукуються інформаційною службою і службою підтримки користувачів GeoGebra, яка представлена набором сервісів, що представлені на освітньому порталі GeoGebra.org. Це такі сервіси:

– GeoGebra News, blog.GeoGebra.org, де можна дізнатися про останні новини, заходи, події в спільноті GeoGebra у різних куточках світу;

– GeoGebra User Forum (www.GeoGebra.org/forum), де можна поставити запитання, створити нову тему або приєднатись до існуючої, одержати відповіді на розповсюджені питання стосовно використання пакету GeoGebra (FAQ), отримати миттєву допомогу від віртуального помічника (chatbot). Цей сервіс є важливим для підтримки самостійної роботи студентів, особливо в умовах використання дистанційної форми навчання.

Зазначені сервіси також є англomовними, що певною мірою утруднює їх використання. Разом з тим, для розуміння таких матеріалів рівень володіння англійською у багатьох студентів є близьким до достатнього і, крім того, є можливість скористатися онлайн-перекладачем.

3. Інтегративний підхід у STEM-освіті, не обмежується міждисциплінарністю у вузькому розумінні – як установлення й використання зв'язків між різними дисциплінами професійної освітньої підготовки майбутніх учителів математики, а передбачає поширення на трансдисциплінарні зв'язки, на вихід за рамки зазначених дисциплін, зосередження на реальних проблемах. Це зумовлює доцільність поєднання аудиторних і позааудиторних форм роботи майбутніх учителів математики. Позааудиторні заняття мають доповнювати аудиторні, розвивати їх тематику, пропонувати для розгляду теми широкого плану, зокрема такі, що розкривають інженерно-технічний напрям, розвивають мистецьку проблематику у STEM-освіті тощо. Зазначимо, що таке розширення охоплюваних науково-предметних галузей у STEM-освіті визнано доцільним, що позначилося на аббревіатурі STEAM додатковою літерою А, яку пов'язують з Art або All (мистецтво або всі, відповідно, англійською).

Проведення позааудиторних занять передбачає добровільний характер їх відвідування студентами. Це зумовлює застосування певних прийомів для того, щоб забезпечити інтерес студентів, перетворити заняття на цікавий нестандартний захід, присутність на якому є бажаною. Успіх забезпечується вдалим вибором тематики, ретельною підготовкою занять, творчим

співробітництвом викладачів і студентів, наданням простору для їх активності і креативності. Важливим наслідком таких занять є те, що вони сприяють установленню наукових зв'язків між студентами і викладачами, утворенню викладацько-студентських творчих груп за напрямками науково-дослідної роботи.

Організація позааудиторних занять у нестандартному форматі цілком відповідає положенню Концепції розвитку STEM-освіти про те, що STEM-освіта має реалізуватись через усі види освіти – формальну, неформальну, інформальну.

4. Проведення аудиторних і позааудиторних занять у дослідницькому ключі має знаходити подальше продовження у проєктній діяльності студентів. Таке системне застосування проєктно-дослідницької діяльності у практиці підготовки майбутніх учителів математики потребує різноманітності, варіативності, гнучкості у виборі та застосуванні організаційних форм – індивідуальних, парних, групових, колективних, у відповідності до цілей постановки конкретного проєктного або дослідницького завдання, його змісту, виділеного обсягу часу на виконання, очікуваного результату. Доцільний і зважений вибір організаційних форм, варіювання складу учасників груп мають сприяти успішності виконання роботи, створенню атмосфери взаємодопомоги, співробітництва і, разом з тим, здорової конкуренції, змагальності за кращий результат, позитивно відбиватися на формуванні 4К-навичок (креативність, критичне мислення, комунікацію та командну працю) майбутніх учителів. Зазначимо, що різноманітність, варіативність, гнучкість у застосуванні організаційних форм також притаманні методичним аспектам концепції STEM-освіти.

5. STEM-освіта виникла як освіта для інновацій, а запровадження інноваційних ідей у реальну педагогічну практику потребує вмотивованості суб'єктів освітнього процесу, що забезпечується як за рахунок змісту освіти, використовуваних методів навчання, організаційних форм, так і за допомогою реалізацій спеціальних заходів особистісного впливу.

Мотиваційну функцію відіграють фактори, пов'язані із змістом, формами і методами організації освітнього процесу:

- ретельно підібрана тематика пропонує студентам дослідницьких і проектних завдань, яка враховує їх інтереси;

- продумана методична підтримка проектно-дослідницької діяльності студентів, завдяки якій створюється ситуація успіху;

- спеціально організована позааудиторна робота студентів, нестандартні цікаві теми й оригінальний привабливий формат проведення позааудиторних занять, неформальний спосіб комунікації студентів з викладачами на таких заняттях.

Крім переліченого, доцільно реалізувати потужний мотиваційний потенціал долучення студентів до реальної співпраці зі світовою GeoGebra спільнотою. Таке долучення надає можливість майбутньому вчителю відчувати свою причетність до діяльності освітян різних країн, зробити свій внесок у розвиток і поширення GeoGebra, встановити професійно корисні контакти, представити власні напрацювання на сайтах, на міжнародних конференціях, у збірках матеріалів GeoGebra. Це підвищує самооцінку майбутнього вчителя, стимулює його до досягнення більш високих результатів у проектно-дослідницькій діяльності.

Для мотивації студентів є доцільним застосування індивідуального й групового коучингу, що дає змогу підвищити не тільки їх вмотивованість до дослідницької і проектно-STEM-орієнтованої діяльності з використанням GeoGebra, а й відповідальність за результати такої діяльності, сприяти її продуктивності.

Коучинг є широким поняттям, що застосовується в різних сферах. Коучинг є способом покращення того, як людина застосовує себе в будь-якій ситуації. Коуч виходить з того, що потенціал людини дає їй змогу бути кращою, ніж вона є, і допомагає людині усвідомити та зреалізувати свої можливості й подолати відстань між тим, де вона є і де хоче бути.

Важливо зазначити, що коуч не є помічником у прямому сенсі, він не допомагає людині виконати завдання, що постало перед нею, але надихає її на дії, допомагає набути вмінь, оволодіти засобами, застосовуючи які вона зможе це зробити.

Дослідженню специфіки коучингу, з'ясуванню способів його використання в освітньому процесі присвячені праці багатьох вітчизняних і зарубіжних учених, серед них М. Аткинсон [92], М. Дауні [142], Т. Голві [129], С. Кові [166], С. Романова [237]. У педагогічній літературі коучинг визначається як педагогічний метод, підхід, технологія, що характеризується спрямованістю на розкриття внутрішнього потенціалу особистості, усвідомлення нею відповідальності за свій розвиток і досягнення кращих результатів за рахунок використання власних можливостей з максимальною для себе користю та перспективою; як сучасний підхід до навчання, який допомагає учневі або студенту усвідомити сенс освіти і власну відповідальність за свої освітні результати, розвинути власну мотивацію до навчання, підкріплену особистими цілями, і тим самим підвищити його ефективність.

Науковці наголошують, що застосування коучингу а закладах вищої освіти має на меті стимулювати студентів до самостійного пізнавального пошуку, прийняття відповідальних рішень, сприяти розвитку їх самостійності, набуттю ними впевненості у власних можливостях, націленості на самореалізацію.

Коучинг передбачає свідомо створені партнерські стосунки між викладачем і студентом, або групою студентів, так зване «комунікативне співробітництво». Досліджуючи коучинг як складову особистісно-орієнтованого підходу в професійній підготовці студентів, О. Єфімова і С. Жицька висловлюють думку, що взаємодія на рівних, яка сприяє досягненню цілей студентами, їх особистісному зростанню і разом з ними особистісному зростанню викладача, виступають специфічною особливістю коучингу [149]. Науковці звертають увагу на доцільність застосування коучингу у процесі виконання науково-дослідних завдань, курсових і дипломних робіт [89].

Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти потребувало розробки та обґрунтування комплексу педагогічних умов, запровадження яких забезпечує ефективність такого використання.

Виходячи з того, що STEM-освіта є багатоцільовою концепцією, у процесі розробки педагогічних умов головну увагу було зосереджено на *цілях*, досягненню яких сприяло використання саме пакету GeoGebra: розвиток мотивації студентів до набуття математичної освіти, формування переконань у її значущості та дієвості математичних знань, оволодіння дослідницькими компетентностями, набуття здатності до самоосвіти й бажання самостійно нарощувати власний освітній потенціал. Зазначені умови передбачають запровадження заходів організаційно-педагогічного, психолого-педагогічного, дидактичного спрямування і є взаємопов'язаними, взаємозумовленими, доповнючими одна одну.

З урахуванням зазначеного розроблено й теоретично обґрунтовано *комплекс педагогічних умов* використання GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Перша педагогічна умова – створення хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra: навчально-пізнавальної, навчально-дослідницької, науково-дослідницької, проєктної.

Друга педагогічна умова – уведення в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra, який побудований на засадах технологічного підходу, передбачає поетапне залучення студентів до дослідження математичних об'єктів, об'єктів з інших дисциплін, об'єктів навколишнього світу й водночас до поступового оволодіння дослідницьким інструментарієм пакету GeoGebra.

Третя педагогічна умова – застосування комплексу засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації

їхньої позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального й групового коучингу.

У межах позааудиторної роботи передбачено залучення студентів до:

– ознайомлення з додатковими (позапрограмними) матеріалами, що розкривають значущість математики, цінність математичного моделювання, широту її застосувань у різних сферах людської діяльності, зокрема і творчій;

– підготовки нестандартних заходів для популяризації таких відомостей; створення ілюстративної підтримки таких заходів із використанням пакету GeoGebra;

– діяльності GeoGebra-спільноти, що сприяє трансферу педагогічних ідей і технологій, а також залученню студентів до розробки GeoGebra-моделей, GeoGebra-проектів, проведення і презентації власних GeoGebra-досліджень як особистого внеску у відкриті світові GeoGebra-ресурси: можливість бачити власні результати на сайті, брати участь у наукових та науково-методичних розробках викладачів додає впевненості студенту у значущості знань, які він отримує в освітньому процесі та в процесі дослідницько-проектної або наукової роботи.

Використання індивідуального і групового коучингу сприяє: розкриттю особистісного потенціалу майбутнього вчителя математики, стимулюванню його самостійної пізнавальної діяльності, підвищенню практичної значущості та затребуваності отриманих результатів комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra.

Таким чином, виокремлені педагогічні умови є взаємопов'язаними, взаємозумовленими і взаємодоповнювальними, що зумовлює необхідність їхньої комплексної реалізації для ефективного використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики. Перша умова включає програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси спрямовані на супровід та підтримку самостійної роботи майбутніх педагогів із застосуванням пакету GeoGebra. Друга умова передбачає використання розробленого автором

практикуму, який містить завдання дослідницького характеру із застосуванням пакету GeoGebra і покроковим підходом виконання завдань. Третя умова поєднує комплекс засобів, спрямованих на залучення студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання.

Висновки до розділу 2

З'ясовано, що з точки зору реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики особливу роль відіграє їх залучення до навчально-дослідницької діяльності, у процесі якої вони набуватимуть практичного досвіду застосування математичного апарату для демонстрації властивостей, вивчення і дослідження об'єктів різної природи на засадах використання сучасних методів комп'ютерного моделювання. Така діяльність потребує опори, з одного боку, на математичне моделювання, його універсальність, а з іншого – на використання систем комп'ютерної математики, їх здатність створювати дослідницьке середовище для проведення комп'ютерних експериментів. Зазначимо, що вибудовування освітнього процесу в дослідницькому та проєктному форматі на засадах інтеграції навчальних дисциплін виявляється непродуктивним без освоєння сучасних методів та інструментів, на що звертають увагу науковці і практики.

Наведений аналіз систем комп'ютерної математики, використовуваних у процесі математичної підготовки майбутніх учителів, дав змогу виявити перспективність використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти, що зумовлено потужністю його функціоналу, зручностями практичної експлуатації, перспективністю для освітніх застосувань, можливістю опори на досвід масового застосування пакета у світовій практиці. Пакет надає користувачеві зручний дослідницький інструментарій, забезпечує можливість побудови й візуалізації широкого класу математичних моделей, а також можливість накопичення, систематизації, оброблення, графічного відтворення експериментальних результатів. Пакет безкоштовний, доступний, існує його мобільна версія. Розробникам пакета GeoGebra вдалося створити

зручний і зрозумілий інтерфейс, що уможлиблює використання пакета користувачами різного віку – від учнів початкової школи до фахівців широкого класу. Важливим також є те, що вдосконалення пакету не припиняється, він розвивається в ногу з часом.

Попри те, що пакет GeoGebra знайшов поширення у масовій вітчизняній та зарубіжній освітній практиці, його використання як інструмента реалізації концепції STEM-освіти потребує переосмислення наявного досвіду і запровадження комплексу педагогічних умов, які сприятимуть ефективності використання пакету для досягнення поставлених цілей.

Під педагогічними умовами в науковій літературі розуміють сукупність об'єктивних можливостей змісту, форм, методів і матеріально-просторового середовища, спрямованих на вирішення порушених у педагогіці завдань; обставини, що зумовлюють певний вектор розвитку педагогічного процесу; сукупність об'єктивних можливостей змісту, форм, методів, прийомів, засобів педагогічної діяльності; один з компонентів педагогічної системи, що відображає сукупність можливостей освітньої та матеріально-просторової складників середовища, які впливають на особистісний і процесуальний аспекти даної системи і забезпечують її ефективне функціонування і розвиток тощо. При цьому особливостями педагогічних умов є те, що вони створюються свідомо, включають впливи як зовнішнього, так і внутрішнього характеру, у своїй сукупності сприяють підвищенню ефективності освітнього процесу, забезпечуючи досягнення поставленої цілі, їх ефективність підлягає експериментальній перевірці. Розрізняють різні види педагогічних умов, але за характером впливу виокремлюють дві категорії внутрішні умови (психолого-педагогічні) та зовнішні умови (дидактичні, організаційно-педагогічні).

У розробці педагогічних умов використання GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики ми виходили з того, що створення зазначених умов має сприяти впровадженню STEM-освіти, досягненню її цілей за рахунок реалізації потенціалу і переваг застосування пакету GeoGebra в освітньому процесі. У

комплексі зазначених цілей нами виділено ті, що підпадають у фокус нашого дослідження, а саме, розвиток мотивації студентів до набуття математичної освіти, формування переконань у її значущості, дієвості математичних знань, оволодіння дослідницькими вміннями, набуття здатності і бажання самостійно нарощувати власний освітній потенціал. На особливій значущості дослідницьких умінь акцентовано в документі «Європейська рамка кваліфікацій для неперервного навчання», де наголошується, що фахівець високого рівня має володіти дослідницькою компетентністю, здатністю виконувати дослідницькі завдання, здійснювати дослідницьку діяльність, спрямовану на отримання нових знань. Разом з тим STEM-освіта спрямовується і на формування у майбутніх учителів 4К-навичок XXI століття (критичне мислення, креативність, комунікація, командна робота). Набуттю таких навичок сприяє залучення студентів до розв'язування предметних і міжпредметних проблемних і дослідницьких завдань у рамках як індивідуальної, так і різних форм групової роботи, у процесі проектної діяльності. Крім того, було враховано й те, що STEM-освіта може реалізуватися через усі види освіти – формальну, неформальну, інформальну, як наголошується у прийнятій Концепції розвитку STEM-освіти.

З урахуванням зазначеного розроблено й теоретично обґрунтовано *комплекс педагогічних умов* використання GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Перша педагогічна умова – створення хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra: навчально-пізнавальної, навчально-дослідницької, науково-дослідницької, проектної.

Друга педагогічна умова – уведення в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra, який побудований на засадах технологічного підходу, передбачає поетапне залучення студентів до

дослідження математичних об'єктів, об'єктів з інших дисциплін, об'єктів навколишнього світу й водночас до поступового оволодіння дослідницьким інструментарієм пакету GeoGebra.

Третя педагогічна умова – застосування комплексу засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації їхньої позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального й групового коучингу.

У межах позааудиторної роботи передбачено залучення студентів до:

– ознайомлення з додатковими (позапрограмними) матеріалами, що розкривають значущість математики, цінність математичного моделювання, широту її застосувань у різних сферах людської діяльності, зокрема і творчій;

– підготовки нестандартних заходів для популяризації таких відомостей; створення ілюстративної підтримки таких заходів із використанням пакету GeoGebra;

– діяльності GeoGebra-спільноти, що сприяє трансферу педагогічних ідей і технологій, а також залученню студентів до розробки GeoGebra-моделей, GeoGebra-проектів, проведення і презентації власних GeoGebra-досліджень як особистого внеску у відкриті світові GeoGebra-ресурси: можливість бачити власні результати на сайті, брати участь у наукових та науково-методичних розробках викладачів додає впевненості студенту у значущості знань, які він отримує в освітньому процесі та в процесі дослідницько-проектної або наукової роботи.

Використання індивідуального і групового коучингу сприяє: розкриттю особистісного потенціалу майбутнього вчителя математики, стимулюванню його самостійної пізнавальної діяльності, підвищенню практичної значущості та затребуваності отриманих результатів комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra.

Обґрунтовані педагогічні умови є взаємопов'язаними, взаємозумовленими і взаємодоповнювальними, що зумовлює необхідність їхньої комплексної реалізації.

Основні результати другого розділу дослідження опубліковані в роботах автора [7; 34; 50; 51; 52; 53; 108; 139; 140; 206; 208; 209; 210; 211; 213; 214].

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ, ПРОВЕДЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ПЕДАГОГІЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1 Критеріально-діагностичний апарат для оцінки ефективності використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики

Використання пакету GeoGebra слугує реалізації концепції STEM-освіти в підготовці майбутніх учителів математики, але є лише одним з комплексу заходів, упровадження яких потребує повноцінне вирішення цієї складної проблеми. Виходячи з аналізу того, на досягнення яких цілей спрямовується застосування пакету GeoGebra, реалізації яких аспектів STEM-освіти це сприятиме, ми розробили педагогічні умови (п. 2.3) використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Проведений аналіз розроблених педагогічних умов дозволив віднести до критеріїв їх ефективності мотиваційно-ціннісний, праксеологічний та метакогнітивний критерії. Перший критерій характеризує зміни мотиваційно-ціннісної сфери особистості; другий критерій дозволяє виявити вплив на сформованість умінь здійснювати цілеспрямовану дослідницьку діяльність з використанням математичного моделювання у сучасному математичному комп'ютерному середовищі; третій критерій відображає розвиток важливих для людини XXI століття вмінь постійно підвищувати рівень власної освіченості. Отже, запропоновані критерії дозволять діагностувати здатність майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти.

Критеріями в педагогічній науці називають сукупність показників, що дають якісну та кількісну характеристику певного стану об'єкта вивчення на відповідному рівні [84]. Будь-який критерій має власну систему показників, яка характеризує якісні зміни. А. Алексюк [87], Ю. Бабанський [93], В. Беспалько

[99] та інші визначають показник як чіткий прояв критерію на якомусь етапі формування якостей студентів. Автори відзначають, що критерієм є певна ознака, на основі якої відбувається оцінювання, а показниками є дані, за допомогою яких можна здійснювати оцінювання рівня сформованості того чи іншого критерію, саме цей підхід до поняття сутності критерію нами було застосовано у експериментальному дослідженні. Також нами було враховано вимоги, які висуваються до критеріїв [174], а саме: об'єктивність критеріїв, включення найбільш істотних моментів явища, що досліджується, охоплення типових сторін, мати коротке та стисле формулювання. Головним показником у діагностуванні ефективності педагогічних умов є рівень сформованості їх критеріїв.

На підставі аналізу психолого-педагогічних досліджень, а також згідно означених критеріїв було визначено рівні, які характеризують сформованість: репродуктивний, частково-пошуковий, творчий. Відмінності між рівнями критеріїв полягають у ступені прояву та глибині їх інтегрованих показників.

Наведемо якісну характеристику рівнів сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти.

Мотиваційно-ціннісний критерій охоплює мотиваційну сферу, ціннісні орієнтації і вольові механізми студента, які відповідають певним цілям підготовки до застосування пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Інтенсивна педагогічна діяльність в умовах сьогодення вимагає від вчителя бути далекоглядним і творчим, бути озброєним не тільки сучасними засобами для вивчення математики, але і постійно прагнути до самопізнання і відкриття нового. Дуже важливою є цілеспрямована установка вчителя на успіх, а також мобілізація і «настрій» на виконання завдань, які виникнуть у майбутній діяльності. Л. Гриневич відповідно до цього зауважила, що учитель має бути мотивованим і мати свободу власної творчості і розвитку в професійній діяльності, розробляти авторські освітні програми, вибирати

підручники, стратегії [169]. Тільки вчитель, який має глибоку мотивацію, буде здійснювати постійний пошук нових методів викладання, витратити зусилля на пошук новітніх засобів для вивчення математики і розуміти, що це є необхідним не тільки для підвищення успішності класу, підвищення якості освітнього процесу, але й для особистої кар'єри, для підвищення власного професійного іміджу, який дозволить виокремити його на ринку праці і зробить конкурентоспроможним. Ключовою задачею є підготувати майбутнього учителя так, щоб він бачив свій професійний інтерес, щоб він прагнув зростати, як педагог, і йти по кар'єрним сходам, отримуючи необхідні результати. Звідси витікає важливість постійної актуалізації колишнього досвіду для оволодіння новими знаннями.

Розкривається зазначений критерій у показниках: усвідомлення цінності математичних знань та налаштованість на їх набуття; усвідомлення перспективності використання пакету GeoGebra; готовність до вольових зусиль, подолання труднощів у процесі оволодіння методами проведення досліджень у пакеті GeoGebra.

Встановлено три рівні сформованості кожного показника мотиваційно-ціннісного критерію: репродуктивний, частково-пошуковий, творчий.

Для показника *усвідомлення цінності математичних знань та математичного апарату як основи комп'ютерних досліджень будь-яких об'єктів:*

– *репродуктивний:* студент недооцінює цінність математичних знань; вважає, що професія вчителя математики є незатребуваною; проявляє ситуативне бажання ознайомлюватись з новітніми досягненнями у математичній галузі та впроваджувати їх у майбутній педагогічній діяльності;

– *частково-пошуковий:* студент визнає цінність математичних знань; погоджується з затребуваністю професії вчителя математики; періодично ознайомлюється з новітніми досягненнями у математичній галузі;

– *творчий:* студент глибоко переконаний у цінності математичних знань; визнає затребуваність професії вчителя математики в умовах сьогодення;

постійно ознайомлюється з новітніми досягненнями у математичній галузі.

Для показника *усвідомлення перспективності використання пакету GeoGebra*:

– *репродуктивний*: студент з недовірою ставиться до пакету GeoGebra; вважає не обов'язковим використання пакету GeoGebra в навчанні математики; не усвідомлює перспективи використання пакету GeoGebra у власній професійній діяльності;

– *частково-пошуковий*: студент позитивно сприймає використання пакету GeoGebra у навчанні математики; вважає, що використання пакету GeoGebra в навчанні математики покращує вивчення матеріалу з предмету; погоджується з перспективністю використання пакету GeoGebra професійній діяльності;

– *творчий*: студент вважає необхідним використання пакету GeoGebra у навчанні математики; вважає, що використання пакету GeoGebra оптимізує процес навчання математичних дисциплін; прагне використовувати пакет GeoGebra у власній професійній діяльності.

Обґрунтовуючи сутність та показники праксеологічного критерію ефективності розроблених педагогічних умов та спираючись на низку джерел дослідників Т. Котарбінського, П. Зуєва та інших, зауважимо, що праксеологія є сферою наукового пізнання, яка поєднує напрацювання різних наук щодо організації праці, й охоплює аспекти, притаманні будь-якій діяльності. Практиологію також трактують як науку, що досліджує норми, принципи, структуру й закономірності організації ефективної цілеспрямованої діяльності, спрямованої на вдосконалення життєдіяльності відтворення продуктивних сил й суспільних відносин [154; 172; 173]. У якості ціннісно-цільового орієнтиру ефективної діяльності праксеологія висуває базове поняття «практична успішність», регулятивна й операціоналізуюча сила якого зумовлює потенціал праксеологічного підходу у вищій освіті – розширення базових понять прикладного рівня категоризації, що забезпечують ментальну сферу практичної діяльності поняттями інструментального характеру (засоби, методи, технології).

На думку дослідників, використання ідей та принципів праксеології в навчально-виховному процесі вищого навчального закладу уможливило підвищення ефективності процесу професійної підготовки, що відповідає вимогам нової освітньої парадигми й змінним соціально-економічним умовам в суспільстві. Це актуалізує формування праксеологічних вмінь майбутніх конкурентоспроможних фахівців, що значним чином корелює із реалізацією компетентісно-орієнтованого навчання на відміну від предметно-знаннєвої однобічно-когнітивної підготовки.

У контексті діагностування ефективності розроблених педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики праксеологічна проблематика набуває особливого значення, адже можна теоретично припустити, що у процесі впровадження розроблених педагогічних умов майбутні вчителі математики зможуть набути навичок планування та організації ефективної цілеспрямованої діяльності, націленої на моделювання та дослідження засобами GeoGebra.

Відповідно до сформульованих педагогічних умов, які акцентують увагу на залученні студентів до планування і здійснення самостійної діяльності щодо проведення якісних STEM-досліджень у комп'ютерному середовищі, до показників праксеологічного критерію віднесемо такі показники: уміння покроково планувати комп'ютерне дослідження; уміння раціонально застосовувати функціонал GeoGebra для проведення дослідження; уміння аналізувати його результати і робити висновки.

Встановлено три рівні сформованості кожного показника праксеологічного критерію: репродуктивний, частково-пошуковий та творчий.

Для показника *уміння покроково планувати комп'ютерне дослідження* визначено такі рівні та їх характеристики:

– *репродуктивний рівень*: студент недостатньо усвідомлює особливості здійснення комп'ютерного дослідження; здатний сформулювати мету конкретного комп'ютерного дослідження тільки за допомогою викладача; не

вміє виділити кроки комп'ютерного дослідження та їх послідовність; недостатньо розуміє завдання кожного кроку дослідження;

– *частково-пошуковий рівень*: студент достатньо усвідомлює особливості здійснення комп'ютерного дослідження; здатний самостійно (або за допомогою коректних запитань) формулювати мету конкретного комп'ютерного дослідження; вміє виділити кроки комп'ютерного дослідження та їх послідовність; достатньо розуміє завдання кожного кроку дослідження;

– *творчий рівень*: студент цілком усвідомлює особливості здійснення комп'ютерного дослідження; здатний самостійно формулювати мету конкретного комп'ютерного дослідження; вміє виділити кроки комп'ютерного дослідження та їх послідовність; цілком розуміє завдання кожного кроку дослідження.

Для показника *уміння раціонально застосовувати функціонал GeoGebra для проведення дослідження виділено такі рівні та їх характеристики*:

– *репродуктивний рівень*: студент недостатньо обізнаний щодо функціональних можливостей GeoGebra; нездатний самостійно визначати необхідний набір базових компонентів, який забезпечить виконання конкретного дослідницького завдання; має труднощі щодо ефективного застосування обраних компонентів;

– *частково-пошуковий рівень*: студент достатньо обізнаний щодо функціональних можливостей GeoGebra; вміє самостійно (або за допомогою коректних запитань) визначати той набір базових компонентів, який забезпечить виконання конкретного дослідницького завдання; вміє достатньо ефективно застосовувати обраний набір компонентів;

– *творчий рівень*: студент цілком обізнаний щодо функціональних можливостей GeoGebra; вміє самостійно визначати той набір базових компонентів GeoGebra, який забезпечить виконання конкретного дослідницького завдання; вміє ефективно застосовувати обраний набір компонентів; вміє розробляти користувацькі інструменти GeoGebra для розв'язання завдань дослідження.

Для показника *уміння аналізувати результати дослідження і робити висновки* виділено такі рівні та їх характеристики:

– *репродуктивний рівень*: студент недостатньо розуміє сенс отриманих результатів дослідження; нездатний самостійно зробити висновки із одержаних результатів; здатний частково оцінювати одержаний результат дослідження щодо його перспектив;

– *частково-пошуковий рівень*: студент достатньо розуміє сенс отриманих результатів дослідження; здатний зробити висновки із одержаних результатів; здатний запропонувати перспективний напрям подальшого дослідження за допомогою викладача;

– *творчий рівень*: студент цілком розуміє сенс отриманих результатів дослідження; здатний зробити аргументовані висновки із одержаних результатів; здатний самостійно запропонувати перспективний напрям подальшого дослідження.

Для встановлення кількісного значення рівня сформованості кожного показника праксеологічного критерію ми підготували низку навчальних досліджень у середовищі пакету GeoGebra та діагностичну карту, яка включала запитання, що свідчили про рівень сформованості кожного з показників, та заповнювалась студентами у ході виконання навчального дослідження. За кожну правильну відповідь на запитання діагностичної карти студент міг отримати від 0 до 3 балів (додаток Г).

Якщо загальну кількість запитань діагностичної карти позначити за N , а кількість балів, які набрав студент – за n , то коефіцієнт сформованості праксеологічного критерію k можна обчислити за формулою:

$$k = \frac{n}{N}$$

Для визначення межових значень коефіцієнта (k) ми скористалися методикою В. Беспалька [99]. Значення $k \geq 0,76$, відповідає творчому рівню сформованості праксеологічного критерію; значення $0,61 \leq k \leq 0,75$ – частково-пошуковому рівню й значення $k \leq 0,6$ – репродуктивному.

Обґрунтовуючи сутність та показники **метакогнітивного критерію** ефективності розроблених педагогічних умов та спираючись на низку джерел дослідників Т. Котарбінського [172], П. Зуєва [154] та інших, зауважимо, що сучасна освітня парадигма освіти з її спрямованістю на самоосвіту і саморозвиток особистості вказують на необхідність формування у майбутніх фахівців потреби і навичок самостійно підтримувати і вдосконалювати наявний рівень професійної підготовки. І. Пасічник, Р. Каламаж та М. Августюк [201] серед головних завдань сучасної освіти визначають не лише передавання певних знань, а й формування у студентів стійких навичок самостійного засвоєння нових знань та самовдосконалення.

Відзначається також, що в процесі самонавчання та саморозвитку важливу роль відіграють метакогнітивні навички та здібності особистості, що забезпечують регуляцію і управління інтелектуальною діяльністю. Дослідники відносять такі навички до низки здатностей, що є провідними та необхідними для фахівців усіх напрямів підготовки.

На думку багатьох науковців, метакогніції (метакогнітивні знання та вміння) слід формувати як ключові особистісно-професійні компетентності, які, здійснюючи регуляцію психічної та мисленевої діяльності людини, стають основою реалізації всіх видів її активності. Згідно з [22], метапізнання також слід вважати спеціальним когнітивним процесом, що забезпечує належний рівень будь-якої пізнавальної діяльності людини, здійснюючи контроль та коригування усіх пізнавальних процесів. За своєю сутністю метакогніції, як зазначається в [189], включають в себе індивідуальне знання та інформацію про власні пізнавальні процеси та способи мислення, що і сприяє тому, що саме вони забезпечують перебіг усієї розумової діяльності людини.

Фундатори теорії метакогніцій [22] наголошують, що метакогнітивне мислення є навмисним, планованим, цілеспрямованим та орієнтованим на майбутню розумову поведінку і зокрема, на розв'язання пізнавальних завдань. Змістом когніцій є предмети оточуючого світу, а змістом метакогніцій є знання, здібності та інформація про когніції. Отже, джерелом мета пізнання є власний

світ людини, його уявлення, що виникають у процесі розв'язання задач та аналізу цього процесу. Пізнання контролює практичну діяльність, а метапізнання контролює процес самого пізнання, надає йому іншої якості та розуміння особливостей власної діяльності [258].

Дослідники [259] роблять також висновок про те, що метакогніції можна характеризувати як основні чинники ефективності когнітивної діяльності людини, що виявляються у: обізнаності та контролі за власним мисленнєвим процесом та навчально-професійною діяльністю; усвідомленні сутності власної розумової діяльності та змісту системи уявлень; моніторингу процесу мислення з метою його активізації. Підкреслюється також важливість одержання під час навчання метакогнітивного досвіду, який передбачає оволодіння метакогнітивними стратегіями, що включають такі мисленеві операції як постановка цілей, планування власної навчальної діяльності, оцінка її ефективності.

У сучасній науково-педагогічній літературі відзначається також роль ключових компонентів метакогнітивної компетенції при навчанні математики в електронному середовищі [196]. Серед таких компонентів дослідники виділяють цілепокладання (компонент, спрямований на набуття здібності визначати цілі при реалізації математичної діяльності); планування (компонент, що допомагає розвивати навички самостійного прийняття рішення щодо об'єму матеріалу, що вивчається, та визначення пріоритетів для результативного навчання); регулювання (компонент, орієнтований на розуміння переваг застосування математичних знань у професійній діяльності та розвитку вмінь долати утруднення); оцінювання (компонент, що віддзеркалює вміння проводити аналіз і оцінку ефективності власної математичної діяльності). На основі виділених компонентів метакогнітивну компетенцію визначають як інтегративну властивість особистості, що характеризується здатністю людини та її готовністю до розширення загального і професійного світогляду на основі самоорганізації та неперервного навчання.

Висвітлені вище характеристики природи метакогніцій є важливими і

суттєвими у контексті обґрунтування критеріїв та показників ефективності розроблених педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики. Виходячи із аналізу розроблених умов, можна припустити, що у процесі їх впровадження майбутні вчителі математики зможуть набути навичок цілеспрямованого планування власної навчальної діяльності, оцінки її ефективності, виявлення знань, яких бракує для здійснення необхідної пізнавальної діяльності у середовищі GeoGebra та пошуку шляхів їх одержання. Зважаючи на вищевикладене, до показників метакогнітивного критерію віднесемо здатність критично оцінювати рівень власних знань для вирішення поставленої проблеми; спроможність використовувати різні способи набуття знань; прагнення до постійного освітнього зростання.

Встановлено три рівні сформованості кожного показника метакогнітивного критерію: репродуктивний, частково-пошуковий та творчий.

Для показника *здатність критично оцінювати рівень власних знань для вирішення поставленої проблеми* визначено такі рівні та їх характеристики:

– *репродуктивний рівень*: студент не усвідомлює наявності та браку знань, а також необхідності їх поповнення; здатний визначити, яких саме знань бракує для вирішення проблеми, за допомогою викладача; не знає, як само поповнити знання;

– *частково-пошуковий рівень*: студент частково усвідомлює наявності та браку знань, а також необхідності їх поповнення; здатний визначити, яких саме знань бракує для вирішення проблеми, за допомогою викладача; знає, як поповнити знання;

– *творчий рівень*: студент цілком усвідомлює наявності та браку знань, а також необхідності їх поповнення; здатний самостійно визначити, яких саме знань бракує для вирішення проблеми; знає, як поповнити знання.

Для показника *спроможність використовувати різні способи набуття знань* визначено такі рівні та їх характеристики:

– *репродуктивний рівень*: студент здатний добирати різноманітні джерела

для набуття знань за допомогою викладача; не здатний застосовувати одержані знання на практиці з метою набуття нових знань; не прагне до позааудиторної та індивідуальної навчально-дослідницької діяльності;

– *частково-пошуковий рівень*: студент здатний добирати різноманітні джерела для набуття знань за допомогою викладача; здатний достатньою мірою застосовувати одержані знання на практиці з метою набуття нових знань; готовий до його залучення до позааудиторної та індивідуальної навчально-дослідницької діяльності;

– *творчий рівень*: студент здатний самостійно добирати різноманітні джерела для набуття знань; здатний активно застосовувати одержані знання на практиці з метою набуття нових знань; свідомо прагне до позааудиторної та індивідуальної навчально-дослідницької діяльності.

Для показника *прагнення до постійного освітнього зростання* визначено такі рівні та їх характеристики:

– *репродуктивний рівень*: студент недостатньо володіє способами самостійної навчальної діяльності; виявляє часткову готовність до виявлення знань і їх застосування на практиці; здатний частково проводити аналіз власного освітнього рівня і усвідомлює необхідність його підвищення за допомогою викладача;

– *частково-пошуковий рівень*: студент достатньою мірою володіє способами самостійної навчальної діяльності; виявляє помірну готовність до активного виявлення знань і їх застосування на практиці; здатний проводити аналіз власного освітнього рівня і усвідомлює необхідність його підвищення за допомогою викладача;

– *творчий рівень*: студент володіє ефективними способами самостійної навчальної діяльності; виявляє готовність до активного виявлення знань і їх застосування на практиці; здатний самостійно проводити аналіз власного освітнього рівня шляхом самооцінки і усвідомлює необхідність його підвищення.

Для вимірювання усіх показників метакогнітивного критерію розроблено

необхідні анкети, програму спостережень та шкалу вимірювання, наведені у відповідному підрозділі роботи.

3.2 Загальні питання організації та проведення експериментального дослідження

Даний підрозділ розкриває організацію і реалізацію педагогічного експерименту, що є певним комплексом методів дослідження і який було реалізовано з метою забезпечення перевірки правильності обґрунтованої на початку дослідження гіпотези, яка ґрунтується на припущенні про те, що використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики набуде ефективності, якщо розробити та впровадити науково обґрунтовані педагогічні умови.

Педагогічний експеримент проводився впродовж 2015–2020 років на базі фізико-математичного факультету Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди та Криворізького державного педагогічного університету із залученням 123 студентів. Експеримент розпочався на підготовчому етапі та мав логічне продовження на констатувальному, формульовальному і контрольному етапах.

На *підготовчому етапі* експерименту з метою підготовки науково-методичної та емпіричної бази експерименту було окреслено завдання дослідження:

- визначити зміст і перебіг проведення експерименту;
- визначити навчальні заклади для проведення експериментальної роботи;
- визначити параметри дослідження (критерії та показники);
- виокремити й обґрунтувати педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти;
- визначити комплекс методів, спрямований на з'ясування ефективності запровадження запропонованих педагогічних умов використання пакету

GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти (спостереження, анкетування, тестування, моніторинг);

– розробити дидактичні матеріали, що забезпечують упровадження виокремлених педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти;

– обґрунтувати критерії і показники сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти.

Основними методами дослідження на підготовчому етапі були: аналіз психолого-педагогічної літератури щодо методики організації й проведення експериментального дослідження, спостереження, анкетування, інтерв'ю.

Крім цього у процесі підготовки до проведення дослідження протягом кількох років критично вивчався і опановувався закордонний та вітчизняний досвід щодо розробки методичної підтримки для впровадження математичних пакетів в навчальний процес при вивченні математики. Так, під час стажування на кафедрі математики та математичної освіти у Байройтському університеті (Німеччина, 06/2005 – 08/2005), було виконано спільне дослідження «Explorative Learning in Mathematics with New Media», у межах якого було 1) проведено апробацію програмного засобу підтримки навчання геометрії GEONExT, розробленої в Байройтському університеті; 2) підготовлено цикл методичних та дидактичних матеріалів (навчальних текстів та авторських динамічних моделей дослідницького спрямування) по роботі з пакетом GEONExT для інтерактивного онлайн підручника DigiO Online-Modul Mathematik «Lineare Algebra» у видавницькій компанії Ernst Klett Verlag; 3) проведено порівняльний аналіз можливостей використання в навчальному процесі українського пакету DG та німецького програмного засобу GEONExT.

Крім цього, у ході підготовки до проведення дослідження було отримано та проаналізовано досвід моделювання і розв'язання реальних практичних задач у середовищі пакету динамічної геометрії Geometer's Sketchpad під час співпраці з Університетом штату Делавер, США у якості викладача математики

декількох літніх шкіл для підлітків (ExxonMobil Bernard Harris Summer Science Camp, 2009; GEMS (Girls Explorations in Mathematics and Science), 2008 та 2009). Здійснено апробацію пакету динамічної геометрії DG у навчанні майбутніх учителів математики, розроблено у співавторстві методичні матеріали з опанування пакету DG для його подальшого впровадження в освітню практику (ХНПУ імені Г. С. Сковороди, 1999–2005). Під час роботи в Харківському центрі GeoGebra було проаналізовано закордонний та вітчизняний досвід застосування пакету GeoGebra у практиці навчання математики на різних освітніх рівнях, адаптовано та апробовано методичні та дидактичні матеріали для вивчення математики із його використанням.

Результати проведеного критичного аналізу описаного досвіду, одержаного у ході підготовки до проведення дослідження, було застосовано на відповідних етапах педагогічного експерименту.

На *констатувальному етапі* експерименту з метою встановлення наявного рівня сформованості усіх показників мотиваційно-ціннісного, праксеологічного та метакогнітивного критеріїв здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти було визначено такі завдання:

- дібрати моніторинговий інструментарій;
- сформувати експериментальну (ЕГ) та контрольну (КГ) групи;
- визначити початковий рівень сформованості показників за обґрунтованими критеріями;
- довести правильність формування ЕГ та КГ шляхом перевірки відсутності статистично значущої різниці між початковими рівнями сформованості показників кожного із критеріїв здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у студентів ЕГ та КГ.

Для реалізації задач констатувального етапу експерименту нами було розроблено, підібрано та застосовано методи рівневого оцінювання визначених показників (анкетування, тестування, опитування, спостереження, проведення

контрольних робіт, аналіз продуктів навчально-пізнавальної діяльності студентів, методи кількісного та якісного аналізу).

На *формульованому етапі* дослідження з метою впровадження обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти та апробації комплексу навчально-методичних матеріалів було виокремлено наступні завдання дослідження:

- запровадити заходи щодо формування кожного з показників означених критеріїв;

- апробувати комплекс дидактичних матеріалів, що забезпечують упровадження виокремлених педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти;

- відслідкувати динаміку процесу формування здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за окремими показниками;

- експериментально перевірити ефективність запропонованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти майбутніми вчителями математики.

Педагогічний експеримент проводився в природних умовах педагогічного процесу із залученням студентів експериментальних груп. Студенти контрольної групи навчалися за традиційною схемою.

Формульовальний етап дослідження було завершено перевіркою отриманих результатів і висунутої гіпотези на достовірність і значущість.

У процесі запровадження педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти майбутніми вчителями математики та з метою перевірки їх ефективності відповідно до розроблених критеріїв, були застосовані такі методи як анкетування, спостереження, тестування, проведення контрольних робіт, аналіз продуктів навчально-пізнавальної діяльності студентів (результатів виконання індивідуальних навчально-дослідницьких завдань, дослідницьких завдань, матеріалів педагогічної практики тощо).

На *контрольному етапі* дослідження з метою експериментального підтвердження ефективності впровадження обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти майбутніми вчителями математики:

- визначити методики статистичної обробки отриманих даних;
- провести вимірювання рівнів сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти;
- здійснити статистичну обробку здобутих даних;
- співвіднести результати експериментальних і контрольних груп та визначити на цій основі ефективність запровадження педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти майбутніми вчителями математики;
- сформулювати висновки.

Таким чином, проведення педагогічного експерименту полягало в послідовному проходженні констатувального, формувального та контрольного етапів, що дало можливість підтвердити гіпотезу дослідження.

Розглянемо більш детально кожен із етапів експерименту та окреслимо заходи, які було реалізовано на кожному з них.

Констатувальний етап

На констатувальному етапі дослідження відбувалось визначення вихідного рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за усіма показниками мотиваційно-ціннісного, праксеологічного та метакогнітивного критеріїв, для чого були розроблені відповідні анкети, опитувальники, діагностичні картки, бланки для проведення спостереження, тексти контрольних робіт, а також комплект практичних завдань.

З метою перевірки ефективності запропонованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики упродовж 2015–

2020 років на базі Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди та Криворізького державного педагогічного університету було проведено педагогічний експеримент, у якому брали участь 123 студентів (контрольна група – 61, експериментальна – 62).

З метою формування контрольної та експериментальної груп нами було проаналізовано освітньо-професійні програми підготовки бакалаврів за спеціальністю «Вчитель математики», навчальні плани підготовки студентів, дані академічної успішності студентів, думка викладачів, які працюють в обраних групах тощо. Було встановлено, що підготовка майбутніх учителів математики, відповідно до виокремлених нами педагогічних умов (п. 2.3), спирається на дисципліни психолого-педагогічного, методичного, природничо-математичного й інформатичного спрямування, які вивчають студенти всіх академічних груп Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди і Криворізького державного педагогічного університету незалежно від обраної спеціалізації.

Використовуючи прийом часткового вирівнювання, ми сформувавши дві приблизно однакові щодо рівня сформованості необхідних показників групи – експериментальну (ЕГ) і контрольну (КГ), які узяли участь у педагогічному експерименті, проведеному з метою перевірки гіпотези дослідження про ефективність розроблених педагогічних умов. Експериментальну групу склали 61 студент, які вступали до першого курсу у 2015–2020 роках, а до контрольної групи віднесено 62 студенти 2015–2020 років вступу.

Для визначення рівня сформованості показників мотиваційно-ціннісного критерію було застосовано методи анкетування, опитування та спостереження. Метод анкетування був використаний, оскільки за його допомогою можна отримати інформацію, не завжди відображену в документальних джерелах чи доступну прямому спостереженню, саме цей метод надає можливість зібрати за короткий час значний обсяг емпіричного матеріалу. У відповідності до вимог валідності питання до анкети були складені таким чином, щоб забезпечити можливість виявлення у студентів мотиваційно-ціннісного критерію зазначеної

здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти та забезпечували вимірювання всіх досліджуваних показників. Текст анкети для студентів було складено із урахуванням вимог до її структури [147; 151]. Було розроблено достатню кількість питань однакової складності, що забезпечували виконання вимоги надійності. Проведення однієї і тієї ж анкети в обох групах, умови її проведення та оцінювання забезпечувало вимогу об'єктивності. Анкети були роздруковані для кожного студента, на початку проведення був проведений інструктаж, де викладач ознайомлював з процедурою заповнення анкети та пояснював незрозумілі моменти, що забезпечувало виконання вимоги раціональної організації. Методи опитування й спостереження нами було використано з метою уточнення отриманих емпіричних даних.

Отриману інформацію про сформованість усіх показників мотиваційно-ціннісного критерію здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти було оброблено шляхом розрахунку середньоарифметичних значень у межах кожної групи учасників експерименту (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним критерієм на констатувальному етапі педагогічного експерименту

Рівень сформованості	ЕГ		КГ	
	осіб	%	осіб	%
Творчий	6	9,7	5	8,2
Частково-пошуковий	22	35,5	23	37,7
Репродуктивний	34	54,8	33	54,1

Аналіз отриманих результатів засвідчує, що у більшості учасників експерименту на констатувальному етапі дослідження (ЕГ – 54,8 % та КГ – 54,1 %) спостерігається репродуктивний рівень сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як

інструмента реалізації концепції STEM-освіти за показниками мотиваційно-ціннісного критерію. Це означає, що на цьому етапі дослідження студенти недооцінюють цінність математичних знань; вважають, що професія вчителя математики є незатребуваною; проявляють ситуативне бажання ознайомлюватись з новітніми досягненнями у математичній галузі та впроваджувати їх у майбутній педагогічній діяльності; з недовірою ставляться до пакету GeoGebra; вважають не обов'язковим його використання пакету в навчанні математики; не усвідомлюють перспективи використання пакету GeoGebra у власній професійній діяльності; намагаються уникнути вольових зусиль при появі труднощів щодо оволодіння методами досліджень у пакеті GeoGebra; мають слабо виражене прагнення до успіху у навчально-пізнавальній діяльності.

Результати вимірювань засвідчують, що лише 6 % та 5 % студентів ЕГ та КГ відповідно демонструють творчий рівень сформованості необхідних показників, а саме, студенти: переконані у цінності математичних знань; визнають затребуваність професії вчителя математики в умовах сьогодення; ознайомлені з новітніми досягненнями у математичній галузі; вважають необхідним використання пакету GeoGebra у навчанні математики для оптимізації процесу навчання математичних дисциплін та прагнуть використовувати пакет GeoGebra у власній професійній діяльності; проявляють вольові зусилля щодо оволодіння методами досліджень у пакеті GeoGebra і при виникненні труднощів прагнуть самостійно їх розв'язати; постійно прагнуть до опанування інноваційних інструментів для засвоєння математичних знань (рис. 3.1).

Для встановлення кількісного значення рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за праксеологічним критерієм було підготували низку навчальних досліджень у середовищі пакету GeoGebra та діагностичну карту (додаток Д), яка включала запитання, що свідчили про рівень сформованості кожного з показників, та заповнювалась студентами у

ході виконання навчального дослідження. За кожну правильну відповідь на запитання діагностичної карти студент міг отримати від 0 до 3 балів.

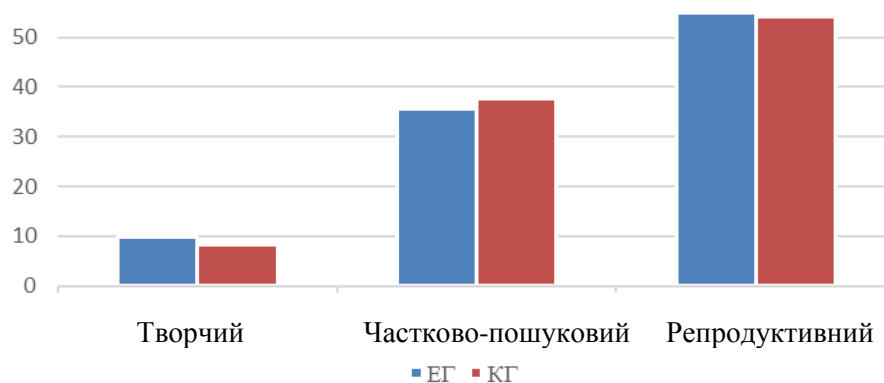


Рис. 3.1. Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним критерієм на констатувальному етапі педагогічного експерименту

При розробці завдань і питань дотримувалися вимог валідності, надійності, об'єктивності [151].

Враховуючи вимоги валідності, завдання навчальних досліджень розроблялись таким чином, щоб забезпечити можливість виявлення у студентів рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за праксеологічним критерієм. Також при розробці діагностичної карти нами було запропоновано достатню кількість запитань питань однакової складності, що уможливило виконання вимоги надійності. Забезпечення вимоги об'єктивності та достовірності відбувалось за процедурою проведення навчальних досліджень та заповнення діагностичної карти, умовами оцінювання (єдині правила оцінювання відповідей), аналізу отриманих результатів.

Отриману інформацію про сформованість усіх показників праксеологічного критерію було оброблено шляхом розрахунку середньоарифметичних значень у межах кожної групи учасників експерименту (табл. 3.2, рис. 3.2).

Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за праксеологічним критерієм на констатувальному етапі педагогічного експерименту

Рівень сформованості	ЕГ		КГ	
	осіб	%	осіб	%
Творчий	5	8,1	5	8,2
Частково-пошуковий	24	38,7	22	36,1
Репродуктивний	33	53,2	34	55,7

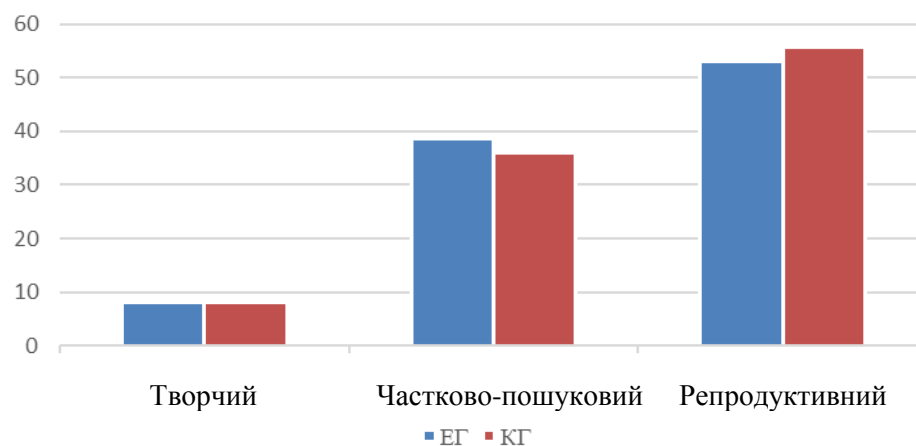


Рис. 3.2. Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за праксеологічним критерієм на констатувальному етапі педагогічного експерименту

На основі даних, наведених у табл. 3.2, можна зробити висновок, що у студентів на цьому етапі переважає репродуктивний (53,2 % – EG; 55,7 % – КГ) та частково-пошуковий (38,7 % – EG; 36,1 % – КГ) рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за праксеологічним критерієм.

Це характеризується у таких проявах, що студенти на цьому рівні недостатньо усвідомлюють особливості здійснення комп'ютерного дослідження; не здатні цілком самостійно (тільки за допомогою коректних запитань від викладача) формулювати мету конкретного комп'ютерного

дослідження; вміють виділити окремі кроки комп'ютерного дослідження та їх послідовність, проте недостатньо розуміють завдання кожного кроку дослідження; достатньо обізнані щодо базових функціональних можливостей GeoGebra і вміють достатньо ефективно застосовувати обраний набір компонентів для розв'язання конкретної задачі, проте не вміють розробляти користувацькі інструменти GeoGebra для розв'язання розширених завдань дослідження; достатньою мірою розуміють сенс отриманих результатів дослідження, проте не здатні зробити зважені висновки із одержаних результатів та самостійно запропонувати перспективний напрям подальшого дослідження. Лише близько 8% студентів обох груп виявляють на цьому етапі творчий рівень сформованості умінь покроково планувати комп'ютерне дослідження, раціонально застосовувати базовий функціонал GeoGebra для проведення дослідження та розробляти відповідні користувацькі інструменти, а також аналізувати результати дослідження, робити висновки, пропонувати перспективи дослідження.

Для визначення рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за метакогнітивним критерієм було розроблено необхідні анкети, програму спостережень та шкалу вимірювання, наведені у Додатку Е, при розробці яких ми дотримувалися вимог валідності, надійності, об'єктивності [151]. Зокрема, нами були виділені групи проявів показників метакогнітивного критерію. Перша група включає прояви показників, що виявляються в аудиторний час:

- запитання та їх характер;
- прагнення виявити знання;
- відповідальність і сумлінність;
- ініціативність;
- активне оперування знаннями, свідомий вибір оптимальних шляхів рішення;
- стійкість пізнавального інтересу;

– поведінка студента при зустрічі з утрудненнями.

До другої групи проявів належать такі, що виявляються у позааудиторний час:

- читання додаткової літератури;
- участь у факультативах, гуртках, студентських наукових спілках тощо;
- виконання за власним вибором та бажанням завдань у позаурочний час.

Для кожного прояву показників були визначені бали, за якими вони оцінювались під час емпіричного дослідження (додаток Д). Якщо зовнішній прояв показника присутній у студента, то він отримує за нього максимальну можливу оцінку, якщо ні, то студент отримує 0 балів.

На основі такого методу оцінювання ми розробили спеціальну шкалу вимірювання рівнів сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за метакогнітивним критерієм:

25 – 20 балів відповідають творчому рівню сформованості;

19 – 10 балів відповідають частково-пошуковому рівню сформованості;

Менше 10 балів відповідають репродуктивному рівню сформованості.

Отриману інформацію про сформованість усіх показників метакогнітивного критерію було оброблено шляхом розрахунку середньоарифметичних значень у межах кожної групи учасників експерименту (табл. 3.3, рис. 3.3).

Таблиця 3.3

Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за метакогнітивним критерієм на констатувальному етапі педагогічного експерименту

Рівень сформованості	ЕГ		КГ	
	осіб	%	осіб	%
Творчий	6	9,7	5	8,2
Частково-пошуковий	21	33,9	22	36,1
Репродуктивний	35	55,4	34	55,7

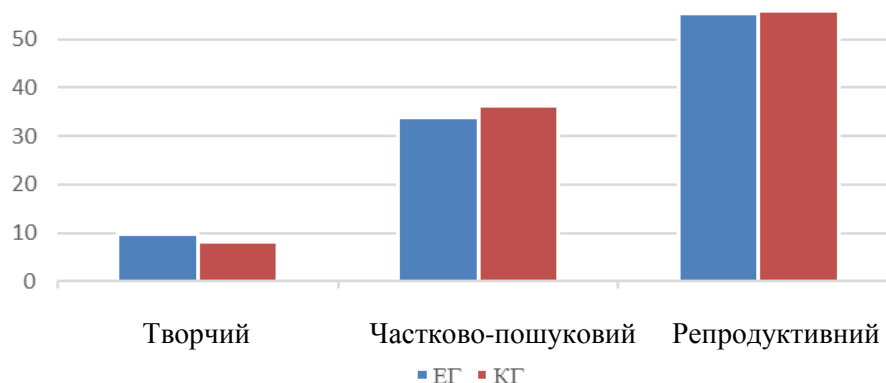


Рис. 3.3. Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за метакогнітивним критерієм на констатувальному етапі педагогічного експерименту

Таким чином, з'ясовано, що більше половини студентів в обох групах мають репродуктивний рівень сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за метакогнітивним критерієм (56,4 % та 55,7 % відповідно). У процесі спостереження та опитування виявлено, що більшість студентів як EG, так і KG не мають стійкої здатності критично оцінювати рівень власних знань для вирішення поставленої проблеми; не виявляють достатньою мірою спроможність використовувати різні способи набуття знань; не мають достатнього прагнення до постійного освітнього зростання.

Для перевірки нульової гіпотези про інформативність фактору наявності відмінностей у рівні сформованості показників досліджуваних критеріїв у студентів в експериментальній та контрольній групах було використано статистичний критерій χ^2 . Цей критерій використовується для порівняння розподілу об'єктів двох сукупностей з точки зору певної властивості. При цьому проводяться виміри в двох вибірках із сукупностей, що розглядаються, і враховується шкала вказаної властивості.

При здійсненні кількісного аналізу розглядалася сукупність студентів експериментальної та контрольної груп. Далі були виділені три статистичні

категорії. До першої категорії були віднесені студенти, які виявили творчий рівень сформованості показника, до другої – частково-пошуковий рівень, до третьої – репродуктивний рівень.

Значення статистики критерію розраховується за формулою [134, с. 101]:

$$\chi^2 = \frac{1}{n_e \cdot n_k} \sum_{i=1}^c \frac{(n_e O_{ki} - n_k O_{ei})^2}{O_{ei} + O_{ki}}$$

де n_e, n_k – об'єми вибірок;

O_{ei}, O_{ki} – кількість елементів відповідної вибірки, що відносяться до i -тої категорії;

c – кількість категорій.

Дані про розподіл студентів ЕГ та КГ за рівнями сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним, праксеологічним та метакогнітивним критеріями на констатувальному етапі експерименту наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Розподіл студентів ЕГ та КГ за рівнями сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти на констатувальному етапі експерименту

Назва вибірки	Розподіл за рівнями (статистичними категоріями)		
	Творчий	Частково-пошуковий	Репродуктивний
<i>мотиваційно-ціннісний критерій</i>			
ЕГ	6	22	34
КГ	5	22	34
<i>праксеологічний критерій</i>			
ЕГ	6	22	35
КГ	5	20	35
<i>метакогнітивний критерій</i>			
ЕГ	4	23	35
КГ	5	23	33

Підставив в формулу послідовно значення із таблиці 3.4, ми одержали значення статистики критерію, що спостерігаються, для кожного із трьох означених критеріїв, які дорівнюють 0,083; 0,178; 0,162 відповідно.

Критичне значення статистики критерію χ^2 для двох ступенів вільності ($\nu=c-1=3-1=2$) при рівні значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює 5,991 [134].

Оскільки значення χ^2 , що спостерігається, дорівнюють 0,083; 0,178; 0,162 відповідно, що менше критичного значення 5,991, то згідно до правила прийняття рішення [134], одержані результати дають підставу для прийняття нульової гіпотези, що означає, що фактор наявності відмінності у рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за усіма трьома критеріями в експериментальній та контрольній групах не є інформативним, тобто ця відмінність відсутня (не є статистично значущою).

Таким чином, на констатувальному етапі емпіричного дослідження було зібрано інформацію про рівень сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним, праксеологічним та метакогнітивним критеріями. Аналіз результатів цього етапу дозволяє зробити висновок про ефективність проведеного часткового вирівнювання при формуванні експериментальної та контрольної груп студентів і правильне їх компонування. Крім того, одержані на констатувальному етапі емпіричного дослідження дані є вихідними для оцінки ефективності обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики.

3.3 Використання пакету GeoGebra у процесі підготовки майбутніх учителів математики під час проведення педагогічного експерименту

З метою перевірки ефективності розроблених і теоретично обґрунтованих педагогічних умов використання GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики було здійснено їх упровадження в реальний освітній процес для експериментальної групи студентів; розроблене навчально-методичне забезпечення для реалізації зазначених умов апробовано й готово для використання у практиці професійної

підготовки майбутніх учителів математики в закладах вищої освіти: навчальний посібник «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти», комплекти дослідницьких завдань і навчальних моделей для проведення STEM орієнтованих досліджень у середовищі пакету GeoGebra; тематика STEM проєктів з використанням пакету GeoGebra; хмаро орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей, представлених у GeoGebra Book; завдання для індивідуальної навчально-дослідницької діяльності студентів, робочі матеріали для організації позааудиторної роботи студентів (тематичні розробки, добірки ілюстративних матеріалів тощо).

Перша педагогічна умова полягає у створенні хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra: навчально-пізнавальної, навчально-дослідницької, науково-дослідницької, проєктної.

Розглянемо особливості створення зазначених ресурсів. Під програмними ресурсами підтримки використання пакету GeoGebra було визначено характеристики і налаштування інтерфейсу користувача. Зокрема до таких налаштувань належать: мова інтерфейсу, вигляд панелі інструментів, розміщення функціональних областей (геометричної побудови, аналітичних розрахунків, табличного подання даних) в робочому середовищі пакета. Першочергово, пакет GeoGebra розроблявся з підтримкою англійської мови. Це ускладнювало його адаптацію і використання в українському освітньому просторі. Саме тому було виконано україномовний переклад основних опцій меню інтерфейсу та інструментів робочого середовища. Разом з цим, зважаючи на постійний розвиток функціональних можливостей і появу нових інструментів в GeoGebra, актуальним є постійне оновлення україномовної версії відповідно до останньої стабільної англійської версії пакету. Це зумовлює необхідність залучення україномовних користувачів пакету до міжнародної команди розробників GeoGebra.

До інформаційних ресурсів підтримки пакету були віднесені спеціалізовані сервіси, які роблять використання пакету GeoGebra легким, швидким і ефективним. До таких сервісів належать: адаптований довідник користувача по роботі з інструментарієм GeoGebra, пошукова система в середовищі GeoGebra, інформаційна служба і служба підтримки користувачів GeoGebra (online bot, chat, forum, FAQ). Розглянемо детальніше кожний з сервісів.

На сьогодні створена англomовна версія довідника користувача пакету GeoGebra, яка містить змістовний опис основних інструментів, функцій і налаштувань пакету з прикладами їх використання для побудови і дослідження математичних об'єктів. Разом з цим, довідник потребує перекладу на українську мову з подальшою його адаптацією в українському освітньому просторі. Водночас слід зазначити, що існуючий довідник є статичним і не інтегрованим безпосередньо в робоче середовище пакету. Саме тому вважаємо за доцільне розробити інтерактивний довідник, з подальшою його інтеграцією в пакет GeoGebra.

Робоче середовище GeoGebra оснащено пошуковою системою, яка дозволяє швидко знайти стислі відомості про основні компоненти пакету. Водночас система потребує перекладу і адаптації під україномовну версію пакету GeoGebra.

Інформаційна служба і служба підтримки користувачів GeoGebra представлена набором сервісів, що представлені на освітньому порталі GeoGebra.org, до яких належать GeoGebra News, blog.GeoGebra.org, на яких користувачі можуть дізнатися про останні новини, заходи, події в спільноті GeoGebra з різних куточків світу, та GeoGebra User Forum, де користувачі можуть поставити питання, створивши нову тему або приєднавшись до існуючої, одержати відповіді на розповсюджені питання щодо використання пакету GeoGebra (FAQ), отримати миттєву допомогу від віртуального помічника (chatbot).

Зазначені сервіси є англomовними. Важливим є адаптації цих сервісів до

реалій українського освітнього середовища шляхом координації українських користувачів GeoGebra з їхніми адміністраторами і розробниками.

Дидактико-методичні ресурси були розроблені у відповідності до передбаченого в освітньому процесі використання пакету GeoGebra. Численними напрацюваннями міжнародної спільноти GeoGebra в комплексі створено загальнодоступний відкритий ресурс світового масштабу для підтримки користувачів різних категорій (учнів, вчителів, студентів, науковців тощо). Однак, застосування даного ресурсу в освітній практиці ускладнюється тим, що він складається з різномовних матеріалів, які не є систематизованими і не мають експертної оцінки.

Розглянемо зазначене детальніше. Так дидактико-методичні ресурси містять різні за формою представлення матеріали, зокрема, аплети з покроковим описанням створення і дослідження динамічних геометричних моделей, презентації з окремих практичних питань використання пакету GeoGebra, відео- і мультимедійні файли тощо. Мова подання таких матеріалів зазвичай англійська, німецька, французька, іспанська, китайська, корейська тощо, що пояснюється рідною мовою найбільш активних учасників спільноти GeoGebra, які створюють і діляться власними напрацюваннями. Досить часто цікаві і креативні за змістом і поданням матеріали не можуть бути використані в україномовному освітньому просторі зазвичай через мовний бар'єр. Тому вважаємо за доцільне в якості адаптації подібних матеріалів використовувати текстові коментарі до моделей, презентацій і публікацій, субтитри до відеофрагментів на українській мові. Це можливо реалізувати за рахунок використання додаткових програмних додатків, які автоматично здійснюють переклад, створюють субтитри з відеопотоку, синтезують текст з аудіо тощо.

Важливим є запровадження ефективного інструменту систематизації дидактико-методичних матеріалів. На сьогодні обсяг колективних напрацювань спільноти вимірюється сотнями тисяч і зростає з кожним днем. Вони відображають безцінний досвід застосування пакету, оригінальні методики, проекти розроблені в GeoGebra тощо. Саме тому пошук необхідних ресурсів за

текстом, зображенням, голосовою командою повинен відбуватися швидко і ефективно.

Варто відзначити, що дидактико-методичні ресурси спільноти GeoGebra активно доповнюються напрацюваннями студентів. Так, зокрема, до них належать розроблені статичні і динамічні моделі в середовищі GeoGebra з покроковим описом їх побудови, публікації студентів з елементами дослідження в GeoGebra, презентації з доповідями на семінарах, конференціях, власноруч розроблені уроки, які охоплюють досвід роботи з GeoGebra тощо.

Водночас важливим є критичний аналіз і експертна оцінка розміщених на освітньому порталі GeoGebra матеріалів. Зокрема, це передбачає залучення до такого аналізу широкого кола науковців, методистів, практиків – учасників спільноти у відповідності до тематики матеріалів, їх предметного спрямування.

Друга педагогічна умова – уведення в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra, який побудований на засадах технологічного підходу, передбачає поетапне залучення студентів до дослідження математичних об'єктів, об'єктів з інших дисциплін, об'єктів навколишнього світу й водночас до поступового оволодіння дослідницьким інструментарієм пакету GeoGebra.

У якості методичного забезпечення було використано спеціально розроблений практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти [140], який було створено з метою практичного опанування компонентів та вбудованих інструментів пакету GeoGebra шляхом виконання покрокових побудов і навчальних досліджень (додаток Б).

Виходячи з проведеного аналізу наукових та навчально-методичних джерел, було запропоновано систему завдань, що дозволяє органічно впроваджувати такі дослідження у практику навчання майбутніх учителів математики.

Відповідно до джерел щодо сутності та спрямованості STEM-освіти, а

також місця в ній дослідницького підходу, можна вважати, що сутність STEM-орієнтованих досліджень полягає у комплексному вивченні певного явища (поняття, об'єкту) і його поведінки з точки зору аспектів цілого спектру природничо-математичних наук у їх взаємозв'язку, а також з урахуванням їх зв'язку із реальним життям.

Зрозуміло, що методика реалізації таких досліджень у процесі підготовки сучасного вчителя математики у середовищі будь-якого цифрового засобу, і конкретно у пакеті GeoGebra, має спиратися на систему спеціально розроблених дослідницьких завдань та на заздалегідь розроблену дидактичну підтримку, що спонукає майбутнього вчителя до виявлення інтегративної сутності явища та глибокого розуміння конкретних математичних понять у контексті реальної міжпредметної задачі.

Схарактеризуємо типи означених дослідницьких завдань та схему роботи з ними. Завдання першого типу передбачають опрацювання певного математичного поняття (факту) у його міжпредметному контексті упродовж двох етапів.

Початковий етап являє собою покрокову побудову студентами комп'ютерної моделі із залученням необхідних інструментів GeoGebra. Важливо підкреслити, що така покрокова побудова комп'ютерної моделі дозволяє студентам не тільки створити основу для майбутнього STEM-дослідження, а опанувати вбудовані інструменти GeoGebra, а також навчитися створювати власні користувацькі інструменти, що розширюють можливості пакету.

Наступний етап передбачає проведення STEM-орієнтованого дослідження з опорою на запропонований ланцюжок мікродосліджень.

Продемонструємо опрацювання дослідницьких завдань першого типу.

Приклад 1. Побудова точок Ферма-Торрічеллі, дослідження їх властивостей та залучення до розв'язання задач практично-значущих задач.





Після ознайомлення із геометричним визначенням точки Ферма-Торрічеллі (це – точка трикутника, сума відстаней від якої до вершин

трикутника є мінімальною, якщо усі кути трикутника менше 120° градусів), студентам пропонується задача на побудову 1, кроки якої наведено у (табл. 3.5).

Задача на побудову 1. Побудувати зовнішні трикутники і точки Ферма-Торрічеллі.

Таблиця 3.5

Покрокова побудова для задачі 1

Крок	Інструмент	Інструкція
1.		За допомогою інструменту «Правильний багатокутник» виділіть кінці сторони трикутника і в діалоговому вікні вкажіть кількість вершин (три). Щоб у результаті зовнішній правильний трикутник не був побудований «всередину» основного, вершини необхідно виділяти проти годинникової стрілки.
2.		Побудуйте зовнішні правильні трикутники на всіх сторонах вихідного трикутника.
3.		<i>Перший спосіб:</i> Побудуйте три кола навколо кожного з зовнішніх трикутників (інструмент «Окружність за трьома точкам»). Знайдіть точку перетину трьох кіл, що описують зовнішні трикутники
4.		<i>Другий спосіб:</i> Проведіть допоміжні відрізки від вершин трикутника до знайденої точки перетину. З'єднайте відрізками вільні вершини зовнішніх правильних трикутників із протилежними вершинами вихідного трикутника. Знайдіть точку перетину цих відрізків <i>Це перша точка Торрічеллі.</i>
5.		Виділіть побудовані об'єкти кольором і створіть прапорці для контролю видимості елементів креслення.

Дослідження 1. Побудуйте другу точку Ферма-Торрічеллі, побудувавши правильні трикутники на сторонах всередину. Дослідіть властивості точки Ферма-Торрічеллі: сума відстаней від точки до вершин трикутника мінімальна, а всі вершини видно з неї під кутом 120° .

Дослідження 2. Відповідно до визначення точки Ферма-Торрічеллі, вона може існувати тільки в трикутнику, всі кути якого менше 120° . Користуючись одержаною динамічною моделлю, дослідіть положення точки Ферма-Торрічеллі (відносно трикутника), коли у трикутника один кут більше 120° . Встановіть, чи буде вона в цій ситуації мати свої властивості. Визначте, як поводитиме себе точка при наявності кута, рівного 120° .

Дослідження 3. Користуючись динамічною моделлю для задачі на побудову точки Ферма-Торрічеллі, спробуйте визначити, як використати властивості цієї точки для розв'язання актуальних задач Вашого міста.

1. Уявіть, що вам необхідно розмістити центр невідкладної медичної допомоги так, щоб він знаходився на мінімальній відстані від трьох точок міста А, В, С. Рекомендуємо використати цифрову географічну карту міста у якості робочого геометричного поля GeoGebra.

2. Поставте у відповідність точкам міста вершини трикутника та визначте, чи існує для цього трикутника точка Ферма-Торрічеллі, знайдіть для нього цю точку.

3. Визначте, якій географічній точці на карті відповідає знайдена точка Ферма-Торрічеллі. Дослідіть, чи можливо з точки зору соціальних, економічних та географічних умов розмістити в цій точці центр невідкладної медичної допомоги.

4. Якщо це неможливо, користуючись побудованою Вами моделлю, змінійте положення точок А, В, С і підберіть таке їх геометричне розташування, щоб побудований трикутник і його точка Ферма-Торрічеллі відповідали поточним соціальним запитам міста.

Дослідження 4. Сформулюйте математичну задачу про використання властивостей точки Ферма-Торрічеллі, яка може виникнути при побудові доріг між населеними пунктами Вашого регіону з метою економії ресурсів. Застосуйте розроблену Вами динамічну модель для розв'язання та дослідження цієї задачі.

Дослідницькі завдання другого типу, розроблені для реалізації методики проведення STEAM орієнтованих досліджень, спираються на використання готових динамічних моделей, заздалегідь побудованих з метою вивчення математичних понять у їх взаємозв'язку із іншими дисциплінами та реальним життям. До кожної з моделей пропонується така загальна схема роботи: вивчення короткого опису моделі, що пояснює поняття (явище), взяте за основу моделі; опанування відповідного функціоналу моделі; опрацювання моделі з

усвідомлення сутності поняття (явища) за опорними питаннями; безпосередньо STEAM зорієнтоване дослідження у вигляді міжпредметних дослідницьких завдань.

Наведемо фрагмент STEAM зорієнтованого дослідження на основі GeoGebra моделі «Математичний маятник» (рис. 3.4).

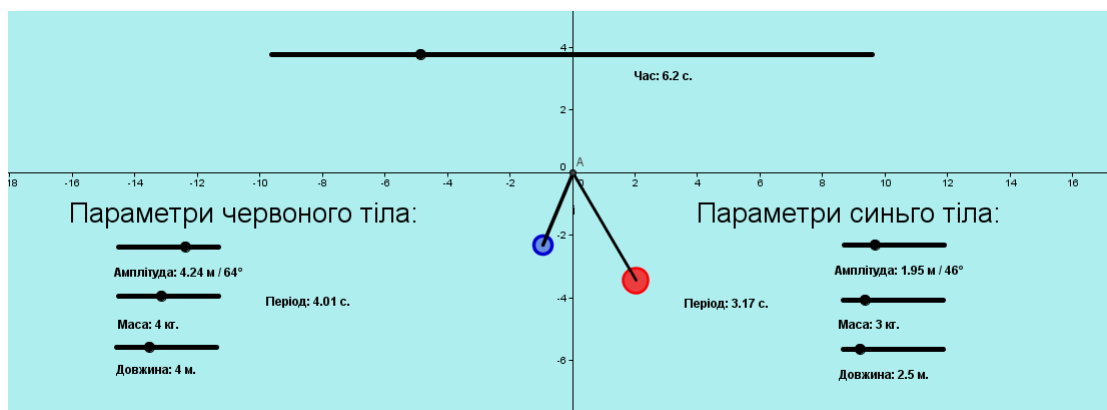


Рис. 3.4. Фрагмент опрацювання моделі «Математичний маятник»

Ознайомтеся із описом моделі. За основу моделі взято роботу математичного маятника. Математичним маятником називають матеріальну точку (тіло невеликих розмірів), підвішену на тонкій, невагомонаростяжній, нитці або на невагомому стрижні.

Опрацюйте модель: дослідіть період коливань математичного маятника амплітуди, маси, довжини. Для цього увімкніть анімацію та змінійте положення повзунків. Спостерігайте за змінами та встановіть, що саме впливає на дані зміни, зробіть висновки (рис. 3.4).

Виконайте такі міжпредметні завдання.

1. Спостерігайте за роботою моделі та встановіть, графік якої функції описують коливальні рухи маятника. Запишіть формулу цієї залежності у термінах моделі.

2. Знайдіть координати точок центрів червоної та синьої кулі, у випадках коли вектор натягу нитки знаходиться під кутом : 1) 30; 2) 45; 3) 90; 4) 120 градусів до осі OX. При цьому показники повзунків моделі мають такі значення: амплітуда в двох випадках-максимальна; маса червоної кулі 2 кг,

синьої 5 кг; довжина 5 м та 2.5 м відповідно.

3. Побудуйте одну зі сторін трикутника утвореного натягами ниток (рис. 3.5) та обчисліть його периметр та площу.

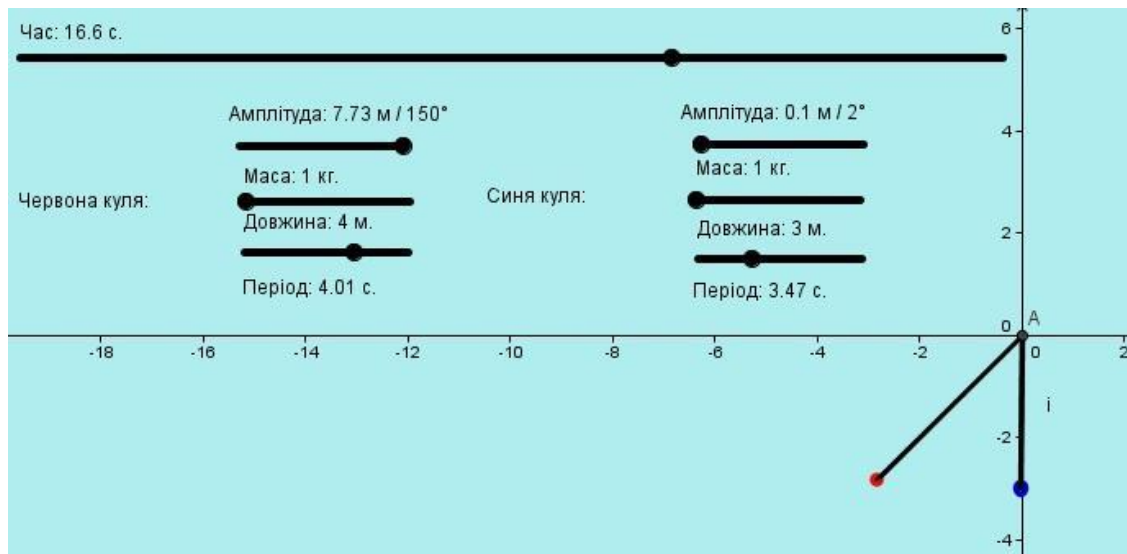


Рис. 3.5. Фрагмент опрацювання моделі «математичний маятник»

4. Доберіть параметри моделі, при яких натяги ниток маятників утворюють трикутники різних типів та властивостей. Встановіть, від яких фізичних параметрів це залежить.

5. Наведіть приклади фізичних механізмів, де застосовується принцип роботи маятників.

Характеризуючи розроблену нами систему спеціальних дослідницьких завдань для реалізації методики проведення STEAM орієнтованих досліджень у середовищі пакету GeoGebra, зазначимо, що вона налічує загалом близько дев'яноста реалізованих навчальних моделей із підтримкою проведення досліджень, які можуть бути застосовані в рамках підготовки майбутнього вчителя математики до впровадження стратегії STEAM освіти. Зауважимо, що покрокова побудова моделей у GeoGebra, що становлять основу дослідницьких завдань першого типу, наведено у розробленому практикумі [140]. Заздалегідь побудовані в GeoGebra динамічні моделі для виконання дослідницьких завдань другого типу, являють собою хмарно-орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей [11], які можуть бути використаними у практиці

STEM-освіти.

При визначенні сутності завдань і їх розробці було враховано необхідність підвищення пізнавального інтересу та мотивації старшокласників під час позакласної роботи щодо узагальнення і поглиблення знань про функціональні залежності, відпрацювання умінь розпізнавати і будувати графіки елементарних функцій та їх перетворювати. Крім цього ми спиралися на графічні можливості GeoGebra [167], міркування естетичності та сучасні тенденції арт-медіа, яке для виразу мистецької концепції застосовує можливості комп'ютерного зображення, і мають бути цікавими старшокласникам.

Сформулюємо загальну постановку завдань першого типу. Учням пропонується графічне зображення та список функцій, за допомогою яких це зображення побудоване. Необхідно побудувати у графічному калькуляторі GeoGebra із цих функцій пропоноване графічне зображення. Дослідити поведінку цих функцій, за допомогою інструменту «Повзунок» змінюючи значення параметрів.

Прикладом завдань цього типу може бути таке завдання [139].

1. Побудувати графічне зображення (рис. 3.6, 3.7) із таких функцій:

$$y = a_1x^2 + 12; x \in [-12; 12], a_1 = -1/18;$$

$$y = a_1(x + 8)^2 + 6; x \in [-4; 4], a_1 = -1/8;$$

$$y = a_1(x + 8)^2 + 6; x \in [-12; -4], a_1 = -1/8;$$

$$y = a_1(x - 8)^2 + 6; x \in [4; 12], a_1 = -1/8;$$

$$y = a_1(x + 3)^2 - 9; x \in [-4; -0.3], a_1 = 2;$$

$$y = a_1(x + 3)^2 - 10; x \in [-4; 0.2], a_1 = 3/2.$$

2. Дослідити функцію $y = (-1/18)x^2 + 12; x \in [-12; 12]$.

Перевірити результати аналітичних досліджень за допомогою інструмента «Дослідник функцій» у середовищі GeoGebra.

Визначити, як зміниться графічне зображення, якщо змінювати коефіцієнт a_1 функції $y = a_1x^2 + 12; x \in [-12; 12]$. Встановити, як впливає цей коефіцієнт на поведінку функції.

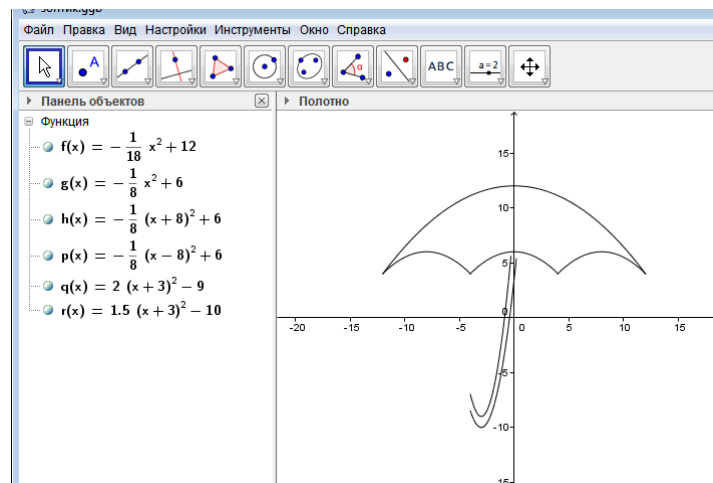


Рис. 3.6. Результат виконання завдання 1

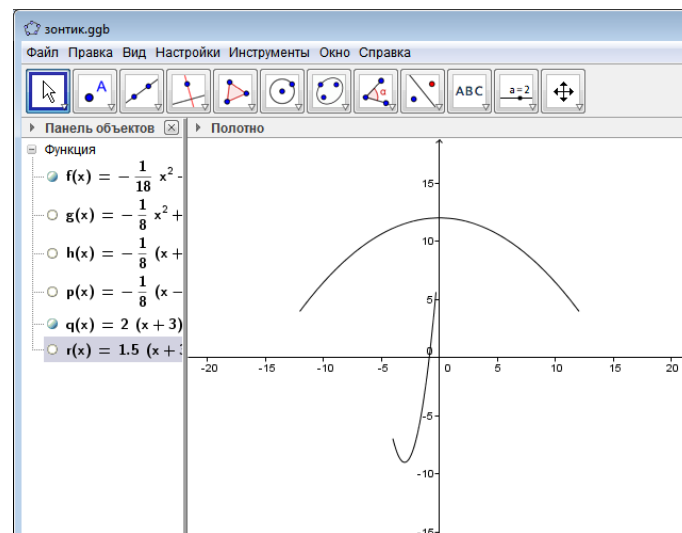


Рис. 3.7. Один із етапів виконання Завдання 1

3. За допомогою повзунків підібрати такі значення коефіцієнтів певних функцій, щоб парасолька «відкривалася» і «закривалася».

Сформулюємо загальну постановку завдань другого типу.

Пропонується графічне зображення, що складається з елементів графіків елементарних функцій. Завдання полягає у визначенні відповідного аналітичного виразу функцій за їх графіками. Тобто, за сутністю завдання цього типу є пропедевтичними щодо читання графіків функцій.

Наведемо приклад завдань цього типу. Учням пропонується графічне зображення «пташки» (рис. 3.8), яке складається з графіків таких функцій, аналітичні вирази яких наведено навкруги зображення у довільному порядку.

Необхідно знайти відповідність елементів зображення і наведених аналітичних виразів функцій, користуючись вбудованим інструментом GeoGebra «Олівець» (рис. 3.9).

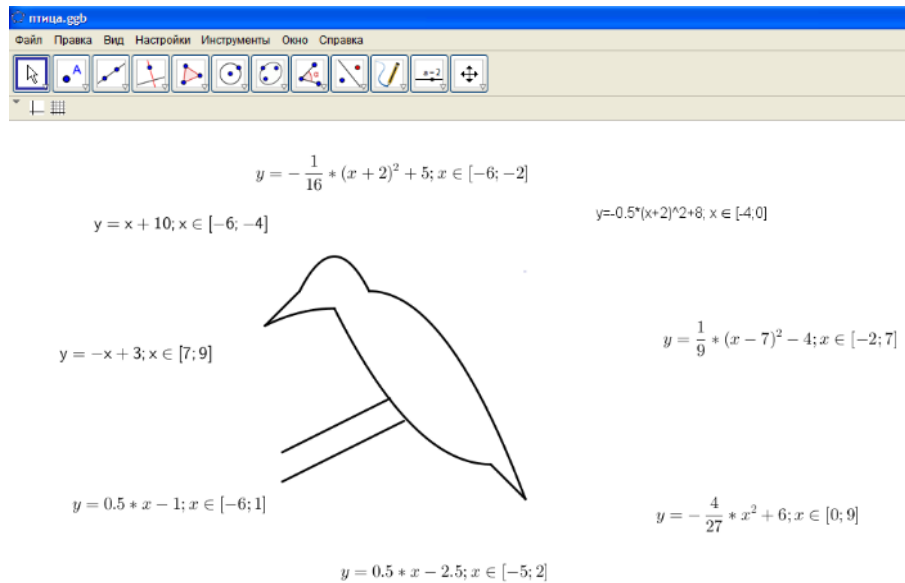


Рис. 3.8. Початок виконання завдання другого типу

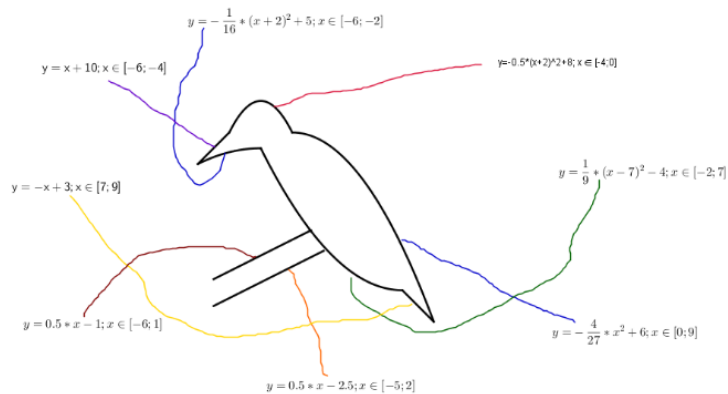


Рис. 3.9. Результат виконання завдання другого типу

Наведемо загальну постановку завдань третього типу. Пропонується графічне зображення із елементів графіків функцій (наприклад, як на рис. 3.10). Завдання полягає у наступному:

- 1) проаналізувати зображення і встановити, з яких графіків функцій побудоване графічне зображення;
- 2) визначити, на якому інтервалі аргументу побудовані графіки функцій;

3) побудувати пропоноване графічне зображення графіками функцій;

4) додати повзунки для впливу на деякі коефіцієнти функцій, анімувати зображення та проаналізувати вплив коефіцієнтів на поведінку функцій та на зображення в цілому. Зокрема, для зображення (рис. 3.10) можна запропонувати старшокласникам встановити, на які функції і як необхідно вплинути, щоб «дужки окулярів» стали коротшими (більш довгими). Додати повзунки для впливу на відповідні функції, анімувати зображення та проаналізувати результат впливу.

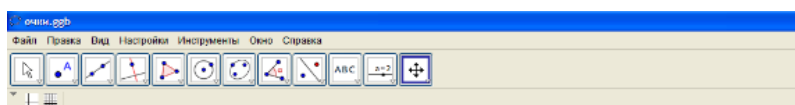


Рис. 3.10. Графічне зображення для завдання третього типу

Зазначимо, що завдання третього типу безпосередньо спрямовані на розвиток графічної культури, оскільки спрямовані на самостійний аналіз графічного зображення з метою виокремлення графіків та розпізнання функціональних залежностей за їх графічним представленням. Вони спонукають також застосовувати перетворення графіків, що також сприяє поглибленню знань і умінь старшокласників з теми «Функція».





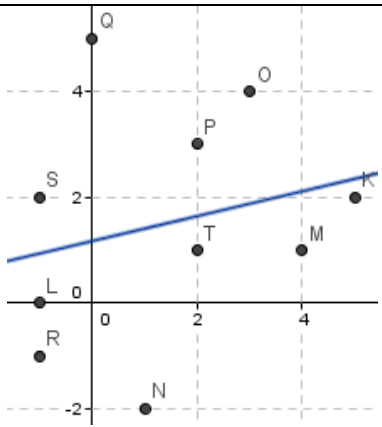
Наведемо ще декілька прикладів з практикуму для роботи зі студентами в рамках фундаментальної математичної підготовки [140]. Ці завдання поєднують вивчення нової математичної теми з опануванням різних інструментів та можливостей GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти.

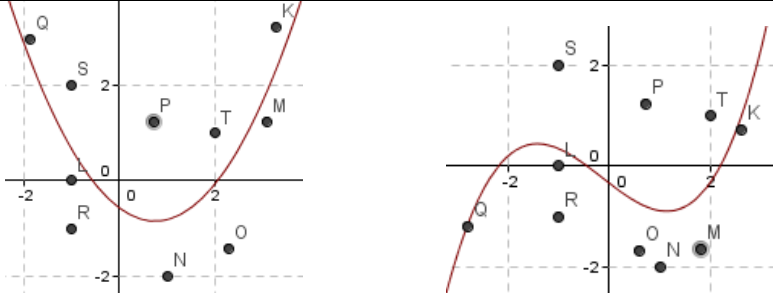
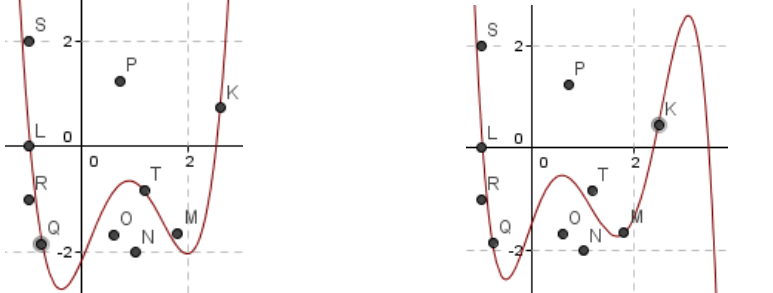
Приклад побудови кривої апроксимації для множини точок за допомогою компонента Таблица GeoGebra (табл. 3.6).

Задача на побудову 1. Створити список точок за наданими у (табл. 3.6) координатами та побудувати криву, максимально наближену до означеної множини точок, використовуючи інструмент **Апроксимація** і функцію *FitPoly* (*Поліноміальна Апроксимація*).

Таблиця 3.6

Покрокова побудова

Крок	Інструмент	Інструкція																																	
1.		Створіть цілочисельний слайдер n (1;5).																																	
2.	 	<p>Відобразіть таблицю і введіть в комірки надані(або довільні) числа.</p> <p>Ці пари чисел – координати десяти точок: стовпець A містить координати по Ox, стовпець B – координати по Oy.</p> <p>Щоб за вказаними координатами побудувати точки, виділіть всі комірки з даними і клацніть по інструменту «Створити список точок». У діалоговому вікні вкажіть його назву та обов'язково виберіть опцію «Залежні об'єкти».</p> <p><i>Примітка.</i> Якщо вибрати опцію «Вільні об'єкти», точки спочатку будуть створені за вказаними в таблиці координатам, проте їх взаємозв'язок у подальшій роботі втратиться.</p>																																	
		<table border="1" data-bbox="1149 683 1484 1108"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>8</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>9</td><td>-1</td><td>2</td></tr> <tr><td>10</td><td>2</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>		A	B	1	5	2	2	-1	0	3	4	1	4	1	-2	5	3	4	6	2	3	7	0	5	8	-1	-1	9	-1	2	10	2	1
	A	B																																	
1	5	2																																	
2	-1	0																																	
3	4	1																																	
4	1	-2																																	
5	3	4																																	
6	2	3																																	
7	0	5																																	
8	-1	-1																																	
9	-1	2																																	
10	2	1																																	
3.		<p>Застосуйте інструмент <i>Апроксимація</i> до списку точок (натисніть ним на список в панелі об'єктів або виділіть всі точки на полотні, затиснувши ЛКМ)</p> <p>Результатом роботи інструменту буде пряма $y=ax+b$ – поліном першого степеня.</p> <p>Інструмент <i>Апроксимація</i> аналогічний функції <i>FitLine</i> (<i>Лінійна Апроксимація</i>), яку зручніше застосовувати через командний рядок у випадку, якщо необхідно прописати кожну точку окремо.</p>																																	
																																			
4.	Ввод:	Функція <i>FitPoly</i> (<i>Поліноміальна Апроксимація</i>) підбирає для множини точок поліном заданого порядку. Застосуйте її на створеному списку точок. В якості порядку полінома підставте змінну слайдера n : <i>FitPoly</i> (<список точок>,n)																																	
		Навчальне дослідження 1. Змінюючи значення слайдера і положення точок, спостерігайте за змінами вигляду кривої апроксимації. Дайте відповідь на питання: Який взаємозв'язок Ви бачите в розташуванні результуючої кривої відносно точок? Що ви можете сказати про вигляд кривої апроксимації при різних порядках поліному? (Відповіді див. Відповіді до задач та навчальних досліджень.)																																	

Крок	Інструмент	Інструкція
		 <p>Квадратична парабола ($n=2$)</p> <p>Кубічна парабола ($n=3$)</p>
		 <p>Вигляд кривої при $n=4$</p> <p>Вигляд кривої при $n=5$</p>

Приклад опанування функції *Послідовність* (*Sequence*) для ітеративних побудов.

Функція **Послідовність** в GeoGebra за своїм принципом дії аналогічна циклічному алгоритму в мовах програмування, але її аргументами і результатами можуть бути безпосередньо геометричні об'єкти. Це одна з команд, яка працює зі списками (*List*), які аналогічні одновимірному масиву у програмуванні. Формат звертання до функції **Послідовність**:

Послідовність [*<Вираз>*, *<Змінна>*, *<Початкове значення>*, *<Кінцеве значення>*, *<Крок>*].

Така функція повертає список об'єктів, створених зазначеним виразом і змінною, яка варіюється від початкового до кінцевого значення з урахуванням вказаного кроку (атрибут кроку можна не вказувати, тоді він за замовчуванням буде дорівнювати одиниці).

Наприклад, функція *Points* = *Послідовність* [*(i, 2)*, *i*, *1*, *5*, *1*] згенерує список під назвою «*Points*», що складається з п'яти точок, координати по осі *Ox* яких варіюються від 1 до 5.

Аргументи початкового та кінцевого значень можуть бути замінені

динамічними змінними, і для них можна створити слайдери. Так, якщо замінити кінцеве значення у виразі цілочисельною змінною слайдера b (0;10), одержимо:

$Points = \text{Послідовність} [(i, 2), i, 1, b, 1]$

В результаті кількість згенерованих послідовністю точок у списку буде динамічно змінюватися зі значенням слайдера b , від 0 до 10 в загальній кількості.

Навчальне дослідження 1. Відредагуйте попередню послідовність так, щоб вона генерувала точки кожні 0,5 кроку по осі Ox . Яка максимальна кількість точок може вийти в списку?

Можна створювати послідовності, використовуючи елементи вже згенерованого списку об'єктів. Щоб звернутися до окремого елемента списку, є спеціальна функція *Елемент* [*<Список>*, *<Номер елемента>*]. Наприклад, звернення до третьої точки списку *Points* буде виглядати так:

Елемент [Points, 3]

Примітка: в командному рядку можна вказати новий список, вручну перерахувавши його елементи. Наприклад, список точок: *List:{A,B,C}* або список чисел: *List:{4,34,76,8}*.

За допомогою функції **Послідовність** у комбінації з іншими командами і функціями в GeoGebra можна створювати складні динамічні побудови, які можуть не тільки застосовуватися в геометричних дослідженнях, а й приносити естетичне задоволення. Кілька таких побудов покроково описані нижче.

Задача на побудову 2. Побудувати послідовність, яка складатиметься зі списку точок і списку прямих, що проходять через ці точки і основну точку A . Кількість точок має змінюватися динамічно за допомогою слайдера. Положення m . A залежить від кількості точок у списку.

Приклад застосування функції *Послідовність* для ітеративного розбиття відрізка на задану кількість частин (табл. 3.7).

За допомогою функції **Послідовність** можна розділити будь-який відрізок на задану кількість частин n . Для початку треба задати формулу

розрахунку довжини частини відрізка, що дорівнює $1/n$ його довжини. Для прикладу візьмемо відрізок FG і відкладемо третину його довжини:

$$F + 1/3*(G - F)$$

Таблиця 3.7

Покрокова побудова задачі 2

Крок	Інструмент	Інструкція
1.		<p>Створіть цілочисельний слайдер b (0;20).</p>
2.	Ввод:	<p>Створюємо перший список точок:</p> $Points = \text{Послідовність} [(i, 1), i, 1, b, 1]$
3.	Ввод:	<p>Координати точки A зручно прописати через командний рядок:</p> $A: (b/2, 8)$ <p>Таким чином, т. A буде знаходитись завжди посередині над послідовністю точок списку $Points$.</p>
4.	Ввод:	<p>Тепер створюємо послідовність прямих, які проходять через т. A і одну з точок списку $Points$. В аргументах послідовності необхідно вказати команду <i>Пряма</i> (<точка>, <точка>), посилаючись на елемент списку $Points$:</p> $\text{Послідовність} [\text{Пряма}[A, \text{Елемент}[Points, i]], i, 1, b, 1]$
5.		<p>Спостерігаємо результат роботи, користуючись слайдером.</p>

Розберемо цю формулу покроково:

$G - F$ – створюємо нову точку I , з'єднавши яку з початком координат, отримуємо вектор, рівний вихідному відрізку.

$1/3*(G - F)$ – відкладаємо на векторі точку, яка відділяє третину від його довжини.

$F + 1/3*(G - F)$ – відкладаємо третину довжини на вихідному відрізку.

Щоб поділити відрізок GF на три рівні частини, додаємо ще одну точку:

$$F + 2/3*(G - F).$$

За допомогою цієї формули можна скласти послідовність ділення відрізка на n рівних частин, яка буде генерувати список відповідних точок:

$$\text{Послідовність } [F + i*(G - F), i, 0, 1, 1/n]$$

На основі цього алгоритму виконаємо задачу на побудову.

Задача на побудову 1. Побудувати демонстрацію штрихування площини, що «викривляється» в призмі.

Покрокова побудова.

Навчальне дослідження 1. Створіть користувацький інструмент, який генерує подібну послідовність на двох будь-яких відрізках (виділяються вказанням їх кінців).

На цьому принципі можна створювати ефектні зображення, що відносяться до мистецтва нитяної графіки StringArt. Для досягнення більшого ефекту, створений інструмент можна застосовувати на різних багатокутниках та інших, більш складних замкнутих фігурах.

Навчальне дослідження 2. Застосуйте розроблений інструмент на таких фігурах:

– правильний шестикутник, у якого всі його вершини з'єднані з центром відрізками.

– правильний багатокутник, кількість вершин якого можна міняти з допомогою слайдера. Відрізки, що з'єднують центр з вершинами, згенеруйте за допомогою послідовності.

Вказівка: радимо створити ще одну послідовність з точок, які збігаються з вершинами багатокутника і прив'язувати послідовність відрізків до них.

Наступна побудова з використанням послідовностей лежить в області математичного мистецтва. Математичного – тому що воно дозволить наочно

досліджувати алгебраїчну криву кардіоїду; мистецтва – тому що її побудова несе певну естетичну красу.

Нагадаємо, що кардіоїда – це пласка лінія, алгебраїчна крива четвертого порядку, яка отримала свою назву через схожість своїх обрисів зі стилізованим зображенням серця. Геометрично описується фіксованою точкою кола, що котиться по нерухомому колу з таким же радіусом. Побудова цим способом описується в розділі «Епіциклоїди».

В попередньому підрозділі описувався поділ відрізка на рівні частини за допомогою послідовності точок. У цій побудові ділити потрібно коло.

Задача на побудову 1. Реалізувати інтерактивну побудову на базі послідовності точок кола для одержання кардіоїди.

Покрокова побудова.

Навчальне дослідження 1. Самостійно розберіть і опишіть дію наведеної нижче формули послідовності. *CirclePoints* – такий же список точок, як у кардіоїди, відрізок **CB** – діаметр «кола» точок. Побудуйте дану послідовність і зробіть висновки про результуючу конструкцію:

Послідовність[Коло[Елемент[CirclePoints, k],

Перетин[Перпендикуляр[Елемент[CirclePoints, k], Відрізок[C, B]],

Відрізок[C, B]]], k, 1, n]

Приклади побудови динамічних моделей для реалізації об'єктів математичного мистецтва.

Спірограф – це популярна дитяча іграшка. Її конструкція складається із пластмасової пластини з вирізаними колами різних діаметрів і набору коліс меншого діаметру з отворами всередині. Краї кіл і коліс зубчасті, щоб запобігти прослизання.

Спірограф був винайдений британським інженером Денісом Фішером в 1962 році під час роботи над підривниками для авіабомб. Йому знадобився спосіб швидко і точно креслити плавні вигнуті лінії. Зроблений винахід не допоміг Денісу просунути у своїй роботі, але він настільки сподобався його сім'ї, що він вирішив випустити його в якості іграшки. Спірограф визнавався

кращою навчальною іграшкою світу чотири роки поспіль, з 1965 по 1969.

Фігура, яку можна одержати за допомогою найпростішого спірографу, називається гіпотрохоїда.

У GeoGebra можна швидко побудувати модель спірографу зі спрощеною конструкцією (табл. 3.8).





Задача на побудову 1. Побудувати модель спірографу.

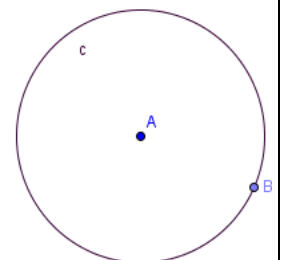
Навчальне дослідження 1. Поекспериментуйте зі слайдерами, що контролюють кола й анімовані точки. Зробіть висновки про те, як вони впливають на форму гіпотрохоїди. Дайте відповіді на запитання:




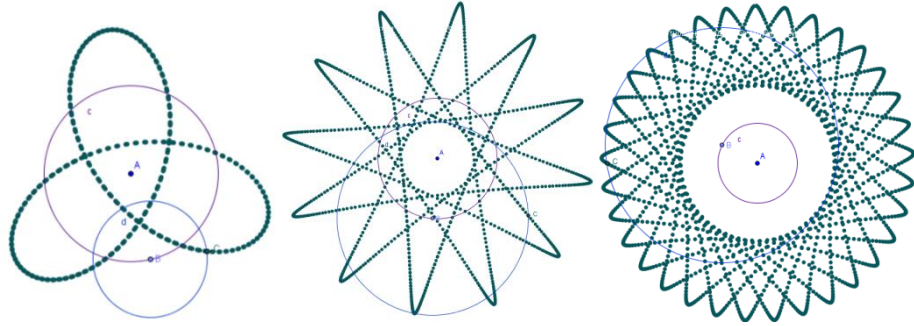
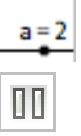

1. Який параметр/слайдер керує кількістю «пелюсток» гіпотрохоїди?
2. Яке значення повинен мати певний слайдер, щоб гіпотрохоїда мала три «пелюстки»? П'ять? Одинадцять?
3. Побудуйте за допомогою моделі спірографу гіпотрохоїди, за формою близькі до прямої, еліпсу, трикутника, квадрату, п'ятикутної зірки. Які ще впізнавані фігури Ви можете побудувати?
4. Які слайдери (або їх комбінація) контролюють форму пелюсток?
5. За яких параметрів гіпотрохоїда буде проходити через центр основного кола?

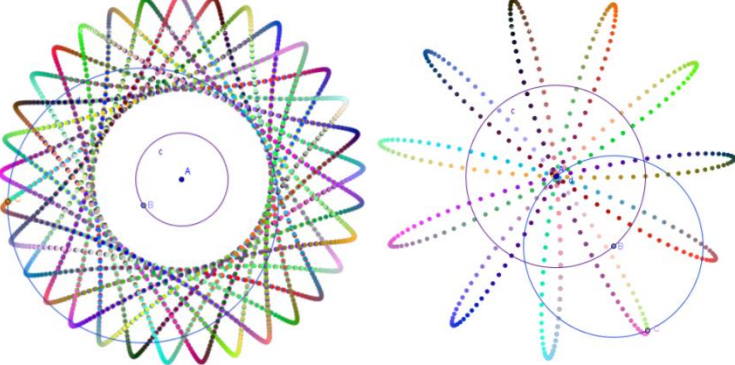

Таблиця 3.8

Покрокова побудова задачі 1

Крок	Інструмент	Інструкція
1.		Побудуйте точку <i>A</i> на початку координат і сховайте осі, вони для наступних побудов будуть не потрібні.
2.		Створіть слайдери <i>r1</i> (от 3 до 20) і <i>r2</i> (от 1 до 20); <i>v</i> (от 0.1 до 5) і <i>div</i> (от 0.1 до 10) із кроком 0,1.
3.		Навколо точки <i>A</i> побудуйте коло <i>c</i> з заданим радіусом <i>r1</i> . Радіус кола можна міняти за допомогою слайдера <i>r1</i> .
4.		На колі <i>c</i> з поставте точку <i>B</i> . Відкрийте вікно властивостей точки і перейдіть у вкладку <i>Алгебра</i> . В строку <i>Приріст</i> поставте змінну <i>v</i> (створений раніше слайдер) і поставте <i>Повтор</i> в значення =>Збільшення.



Крок	Інструмент	Інструкція
5.		Навколо точки B побудуйте коло d із заданим радіусом r2 .
6.		<p>На колі d поставте точку C.</p> <p>Як і для точки B, у вкладці <i>Алгебра</i> в строку <i>Приріст</i> поставте вираз v/div (для того, щоб між швидкостями точок була залежність) і поставте <i>Повтор</i> в значення \leqЗменшувати.</p> <p>У вкладці властивостей <i>Основні</i> поставте прапорець «Залишати слід».</p>
7.		<p>Запустіть анімацію для точок B і C. Коло d буде рухатися разом із точкою B. Поспостерігайте за гіпотрохоїдою, яку утворює слід від точки C.</p>  <p>Приклади гіпотрохоїд – результати роботи моделі спірографу при різних параметрах.</p> <p><i>Примітка:</i> якщо точки B і C будуть рухатися в одному напрямку, гіпотрохоїда буде, залежно від радіусів d і c, наближатися до кола або приймати форму, огинаюча крива якої близька до алгебраїчної кривої четвертого порядку кардіоїди.</p> <p>Щоб гіпотрохоїда приймала потрібну форму, точки B і C мають рухатися в протилежних напрямках.</p>
8.		<p>Результати роботи моделі, що вийшла, вже вражають, але є можливість ще більше вдосконалити її зовнішній вигляд.</p> <p>Розфарбуємо отримані фігури в динамічні кольори. Для цього створіть ще три дійсних слайдери з іменами r, g, b, значеннями від 0 до 1 і кроком 0,01.</p> <p>У властивостях анімації (вкладка <i>Повзунок</i>) в опції <i>Повтор</i> для всіх трьох слайдерів повинно стояти значення \leqКоливання. В рядок <i>Приріст</i> поставте різні значення, наприклад, для r –5, для g –7 і для b – 10.</p> <p>Анімуйте слайдери.</p>
9.		<p>У властивостях точки C, яка при русі залишає слід, перейдіть у вкладку <i>Додатково</i> та в розділі <i>Динамічне забарвлення</i> поставте змінні r, g, b у відповідні рядки.</p> <p>Тепер слід, що залишається від точки, набув динамічного забарвлення (при анімованих слайдерах).</p>

Крок	Інструмент	Інструкція
		 <p data-bbox="451 577 997 611">Ефект динамічних кольорів в GeoGebra.</p>
10.		<p data-bbox="451 640 1468 741">Наостанок, можна сховати кола, залишивши видимою тільки точку C, і змінити колір фону геометричного полотна на темний, щоб кольори виглядали більш ефектно.</p> <p data-bbox="451 763 1468 828">Створіть прапорець, щоб можна було швидко сховати/показати допоміжні об'єкти конструкції.</p>

Приклад дослідження на основі динамічних моделей окремих кривих.

Епіциклоїда – це плоска крива, утворена фіксованою точкою кола, що котиться по зовнішній стороні іншого кола без ковзання. На відміну від циклоїди, вона не є трансцендентною. Вид епіциклоїди та кількість її пелюстків залежить від співвідношення великого нерухомого кола та кола, що котиться по ньому.

З окремими випадками епіциклоїди – кардіоїдою й нефроїдою – ми вже зустрічалися в описі побудов на основі функції **Послідовність**.

Гіпоциклоїда – це плоска крива, яка утворюється точкою кола, що котиться по внутрішній стороні іншого кола без ковзання. Вона багато в чому подібна епіциклоїді, побудову якої описано вище. Динамічну модель гіпоциклоїди можна отримати, якщо внести в оригінальну модель епіциклоїди такі зміни.








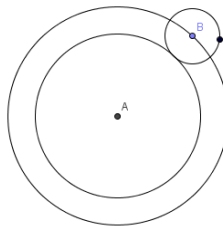





Задача на побудову 1. Створити модель генерації різних видів епіциклоїди, спираючись на її кінематичне визначення.

Навчальне дослідження 2. Спостерігайте за роботою моделі і переконайтеся, що n також є співвідношенням радіусів кіл R/r . Кількість пелюсток гіпоциклоїди також контролюється співвідношенням n . При цілих

значеннях n кількість каспів й n співпадатимуть.

Таблиця 3.9

Покрокова побудова

Крок	Інструмент	Інструкція	
1.		Створіть дійсний слайдер n (0;10) із кроком 0,1.	
2.		Побудуйте точку A на початку координат і сховайте осі.	
3.		Створіть константу $r=3$. Її зручно буде використовувати для контролю співвідношень радіусів кіл (для цього треба ввести рівняння $r=3$ у командний рядок).	
4.		Навколо т. A побудуйте коло з фіксованим радіусом $n*r$. Це буде великим, основним колом, по якому буде «котитися» мале, залежне коло.	
5.		Тепер потрібно створити мале коло, яке «котиться» по великому. В GeoGebra немає подібної функції, тобто не можна зробити це безпосередньо. Тому мале коло буде рухатися по ще одному, допоміжному колу, яке буде схованим. Його радіус буде дорівнювати радіусу великого кола плюс радіус малого, тобто $(n+1)*r$. Створіть коло із зазначеним радіусом навколо т. A .	
6.	 	Поставте на допоміжному колі точку B і побудуйте навколо неї коло з радіусом r . Це буде рухливе коло. Побудуйте на ньому точку C , яка буде залишати на полотні слід.	
7.		Приховуйте допоміжне коло і анімуйте точки B і C . Конструкція працює, але слід не формує епіциклоїду.	
8.		Введіть ще одну константу $v=2$. Вона буде контролювати швидкість анімації точок.	
9.		У властивостях анімації точки B поставте в значення <i>Приріст</i> константу v . <i>Повтор</i> повинен мати значення <i>Збільшення</i> .	
10.		У швидкості точки C , яка залишає слід, має стояти такий вираз: $v*(n+1)$. Таким чином, швидкість цієї точки залежить від швидкості руху малого кола, а також від співвідношення обох кіл. Точка повинна рухатися в тому ж напрямку, що і коло.	
11.		Конструкція готова. Запустіть анімацію і, змінюючи співвідношення кіл слайдером, спостерігайте за кривою, що формується. Зробіть висновки.	
12.		<p>Навчальне дослідження 1. Опрацюйте модель і переконайтесь, що кількість пелюсток епіциклоїди визначається значенням $n = R/r$. Причому при цілому n кількість пелюсток буде йому відповідати.</p> <p>Так, при $n=1$ епіциклоїда формуватиме кардіоїду, при – нефроїду.</p> <p>При нецілих значеннях, наприклад, при $n=2.1$, кількість пелюсток зростає до 21, при $n=2.2$ – до 11.</p> <p>При $0 < n < 1$ крива епіциклоїди дещо змінює притаманну їй форму: вона утворює кардіоїди з додатковими петлями, які, накладаючись,</p>	

Крок	Інструмент	Інструкція
		створюють нові фігури. При $n=0$ крива вироджується в коло.
1.		Навчальне дослідження 2 Побудова епіциклоїди Радіус допоміжного кола, по якому рухається центр малого кола, визначатиметься виразом $(n-1)*r$, так як мале коло тепер «котиться» по внутрішній стороні більшого.
2.		Швидкість точки, що залишає слід, визначатиметься наступним виразом: $v*(n-1)$.
3.		Анімовані точки (центр малого кола й точка, що залишає слід) повинні рухатися в протилежних напрямках.

При $n=2$ гіпоциклоїда буде вироджуватися в лінію діаметра більшої окружності. Окремий випадок гіпоциклоїди з чотирма каспами ($n=4$) називається астроїдою. При значеннях $1 < n < 2$ гіпоциклоїда приймає форму, що збігається з деякими випадками при $n > 1$. Так, форма кривої при $n=1,5$ і $n=3$ збігається, відрізняючись тільки за розміром результуючої фігури, так само, як при $n=1,2$ і $n=6$; $n=1,5$ і $n=3$. При нецілих значеннях $n > 2$ кількість каспів зростає. Так, при $n=3,5$ маємо фігуру з 7 каспами, а при $n=3,9$ – із 39 каспами.

При $n=1$ кривої не існує, так як рух моделі припиняється – обидва кола прирівнюються в радіусі. При $0 < n < 1$ крива вироджується в коло, при цьому змінюється тільки швидкість руху точки.

Приклад навчальне дослідження «Коробка максимального об'єму».

Завдання: Сконструйте «відкриту коробку» з аркуша паперу (формату А4), вирізавши квадрати у кутах аркушу. Обчисліть об'єм сконструйованої коробки та порівняйте отриманий результат з Вашими припущеннями.

Як винайти та сконструювати коробку найбільшого об'єму?

I. Дослідження:

1. Виміряйте Ваш аркуш паперу. Обміркуйте, коробку якого зовнішнього виду ви бажаєте створити (тобто виберіть вихідні параметри - довжину, ширину, висоту кінцевої моделі).

$$a = \text{_____}; \quad b = \text{_____}; \quad c = \text{_____}; \quad V = \text{_____}.$$

2. Підготуйте заготовку коробки та складіть модель. Обчисліть її об'єм. Що можна сказати про цю величину? Порівняйте Ваші результати.

3. Як Ви вважаєте, чи існує залежність між вибором вами вихідних параметрів та кінцевим об'ємом? _____

4. Якщо _____ Так, _____ то _____ яка?

5. Як побудувати коробку максимального об'єму для аркуша формату А4?

6. Як Ви вважаєте: краще вирішити задачу в окремому випадку (наприклад, розмір аркушу паперу А4) чи знайти розв'язання для загального випадку?

II. Створення комп'ютерної моделі заготовки:

1. Задайте вихідні параметри (довжина, ширина і висота).

2. Побудуйте модель аркушу паперу (прямокутник)

3. Виріжте квадрати по кутах.

4. Проведіть лінії згинів.

5. Обчисліть площу основи та об'єм побудованої Вами заготовки

6. Знайдіть максимальне значення об'єму коробки, змінюючи параметр висоти

$$V_{max} = \text{_____}, \quad a = \text{_____}, \quad b = \text{_____}, \quad c = \text{_____}, \quad S = \text{_____}.$$

III. Перевірте отриману модель:

1. Протестуйте вашу модель для випадків інших значень параметрів

довжини та ширини.

2. Побудуйте графік функції залежності об'єму від параметра висоти.

3. Знайдіть максимальне значення об'єму коробки, досліджуючи побудований графік функції.

4. Висловіть припущення та перевірте його: _____

V. Тривимірна модель:

1. Виготовлення коробки за отриманими даними.

2. Порівняйте з вашими попередніми версіями моделей.

3. Побудуйте модель в 3D Geometry.

Третя педагогічна умова – застосування комплексу засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації їхньої позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального й групового коучингу.

Позааудиторну роботу студентів було організовано в форматі дискусійного клубу “Science around us”. У роботі клубу були задіяні всі студенти експериментальної групи. Діяльність клубу була спрямована на студентів до ознайомлення з додатковими (позапрограмами) матеріалами, що розкривають значущість математики, цінність математичного моделювання, широту її застосувань у різних сферах людської діяльності, у тому числі і творчій; до підготовки нестандартних заходів для популяризації таких відомостей; до створення ілюстративної підтримки таких заходів з використанням пакету GeoGebra. Епізоди засідань клубу представлено на рис... За роки існування клубу накопичено значний обсяг корисних матеріалів та розробок різної науково-популярної тематики, які мають різноманітний формат та представлені інформацією різних типів. Клуб активно збільшує кількість активістів та розширює коло наукових питань для розгляду та обговорення. Така динаміка розвитку діяльності клубу потребує збереження та накопичення розроблених і відібраних матеріалів, а також систематизації, оперативного доступу і пошуку за різними критеріями. Необхідною є також можливість організації дистанційної колективної роботи студентів і викладачів над

спільними проблемами. У зв'язку з цим постає питання створення інтернет-ресурсу для підготовки до запланованих засідань, де студенти і викладачі могли б вільно розміщувати матеріали, обговорювати їх та редагувати.

Діяльність англomовного дискусійного клубу «Наука навкруги нас» («Science around us») зосереджується на кількох основних напрямках. Науково-популярний напрям, який знаходить своє відображення у тематиці засідань, спрямований на ознайомлення з новітніми досягненнями в науці та техніці; вивчення відомих цікавих фактів, які мають безпосереднє відношення до фізико-математичних наук, але не входять до обов'язкової програми вивчення в навчальних закладах; усвідомлення інтеграційних зв'язків між науками та перетворюючою діяльністю людини.

Фізико-математичний напрям характеризується спрямованістю діяльності клубу на поглиблене вивчення фізичних явищ, математичних законів та теорем, їх моделювання та дослідження за допомогою Інтернет-сервісів, коп'ютерних програм, конструкторів та різних приладів.

Комунікативний напрям зосереджений на розвитку навичок слухання та говоріння англійською мовою, який відбувається під час комунікації, обговорень, дискусій, миттєвого перекладу на засіданнях, а також під час підготовки до засідань.

Такі напрями роботи реалізуються у рамках цілого спектру видів навчально-пізнавальної діяльності:

- моделювання як комп'ютерне так і фізичне;
- хенд-мейд діяльність;
- вирішення цікавих задач та головоломок;
- обговорення науково-популярних проблем;
- доповіді та презентації на наукові теми;
- коментований перегляд відео-матеріалів навчального призначення;
- ігри та змагання.

Провідним методом пізнавальної діяльності на засіданнях клубу було обрано моделювання. Студенти-учасники залучаються як до математичного,

так і до комп'ютерного моделювання у різноманітних середовищах, до створення реальних моделей та роботи із ними. Окремі теми занять клубу, об'єкти пізнавальної діяльності, середовища та способи моделювання наведено у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Окремі теми занять клубу, об'єкти пізнавальної діяльності, середовища та способи моделювання

Тема	Об'єкти досліджень	Вид діяльності		
		В GeoGebra	В інших середовищах	Хенд-мейд
Час та годинник	Годинник	Механічний годинник (геометрична конструкція; тригонометрія руху годинникових стрілок)	MS Excel: механічний годинник (циферблат та годинникові стрілки засобами аналітичної геометрії та математичними функціями)	Логічні та геометричні задачі з реальними годинниками
Шестерні механізми	Математичні принципи передачі	Дослідження готових прикладів Даніеля Мендрада	Crocodile Technology 3D: моделювання систем шестерної передач	Класичні логічні задачі з шестернями
Шарнірні механізми	Геометрія роботи механізмів	Модель пантографа	www.etudes.ru: навчальне відео	Побудова та дослідження моделей шестерних з'єднань
Математика і музика	Фрактальна музика	Фрактальні моделі: крива Пеано	Знайомство з фрактальними алгоритмами музики	Побудова L-системи
Золотий перетин в мистецтві	Числа Фібоначчі; золотий перетин	Побудова ряду чисел Фібоначчі. Відтворення функціональності PhiMatrix	MS Excel: побудова послідовності чисел Фібоначчі PhiMatrix: інструмент для пошуку золотого співвідношення в графічних зображеннях	Дослідження чисел Фібоначчі: креслення спіралі равлика; золотий перетин в зразках мистецтва
Математика в мультиплікації	3D анімація	Застосування чисельних методів в дії	TED: Перегляд навчального відео	Створення власної анімації на папері
Математика калейдоскопу	Геометричні перетворення	Побудова різноманітних моделей калейдоскопу на базі різних геометричних перетворень	Силіконове дзеркало і калейдоскоп: створення калейдоскопу із фотографій	Дослідження кількості відображень об'єкта в залежності від кута відзеркалення. Створення власної фізичної моделі калейдоскопу

Моделювання та дослідження моделей будується за принципом «Я – Ти – Ми». «Я» символізує індивідуальну роботу кожного студента, «Ти» – взаємодія з партнером. «Ми» – комунікація зі всією групою студентів. Для діяльності клубу ця модель була пристосована відповідно до наших потреб і отримала новий прояв. На етапі «Я» студент готується до засідання, виконуючи деякі незалежні дослідження, або індивідуально працює під час засідання. На етапі «Ти» студент працює в аудиторії, приєднуючись до однієї з трьох невеликих груп. Роботи груп використовують різні інструментальні підходи до вирішення однієї і тієї ж проблеми. Перша група виконує моделювання в середовищі GeoGebra. Друга група використовує спеціально розроблене програмне забезпечення (вибір програмного забезпечення залежить від конкретної теми). Третя група бере участь у створенні ручних моделей досліджуваних об'єктів. На третьому етапі «Ми» всі групи порівнюють та підсумовують отримані результати в дискусії, з допомогою експертів, які представляли завдання.

Усі види діяльності базуються на покроковому підході вирішення проблем, який сприяє розвитку навичок досліджень. Коли математика взаємодіє з комп'ютерними технологіями, виникають різні методичні можливості для розв'язання реальних життєвих проблем. Студенти отримують можливість не тільки досліджувати та вивчати математичні ідеї та концепції за допомогою комп'ютерних моделей, але також можуть створювати та перевіряти свої власні гіпотези, слідуючи крокам реальних наукових досліджень.

Отже, особливості позааудиторної роботи студентів у форматі англomовного дискусійного клубу «Наука навкруги нас» («Science around us») полягають у виокремлених специфічних напрямках (науково-популярний, фізико-математичний, комунікативний) та у залученні цілого спектру видів навчально-пізнавальної діяльності (від різних видів моделювання до командних ігор). Фото-звіт деяких засідань клубу ви знайдете на наступних фото (рис. 3.11, 3.12, 3.13).

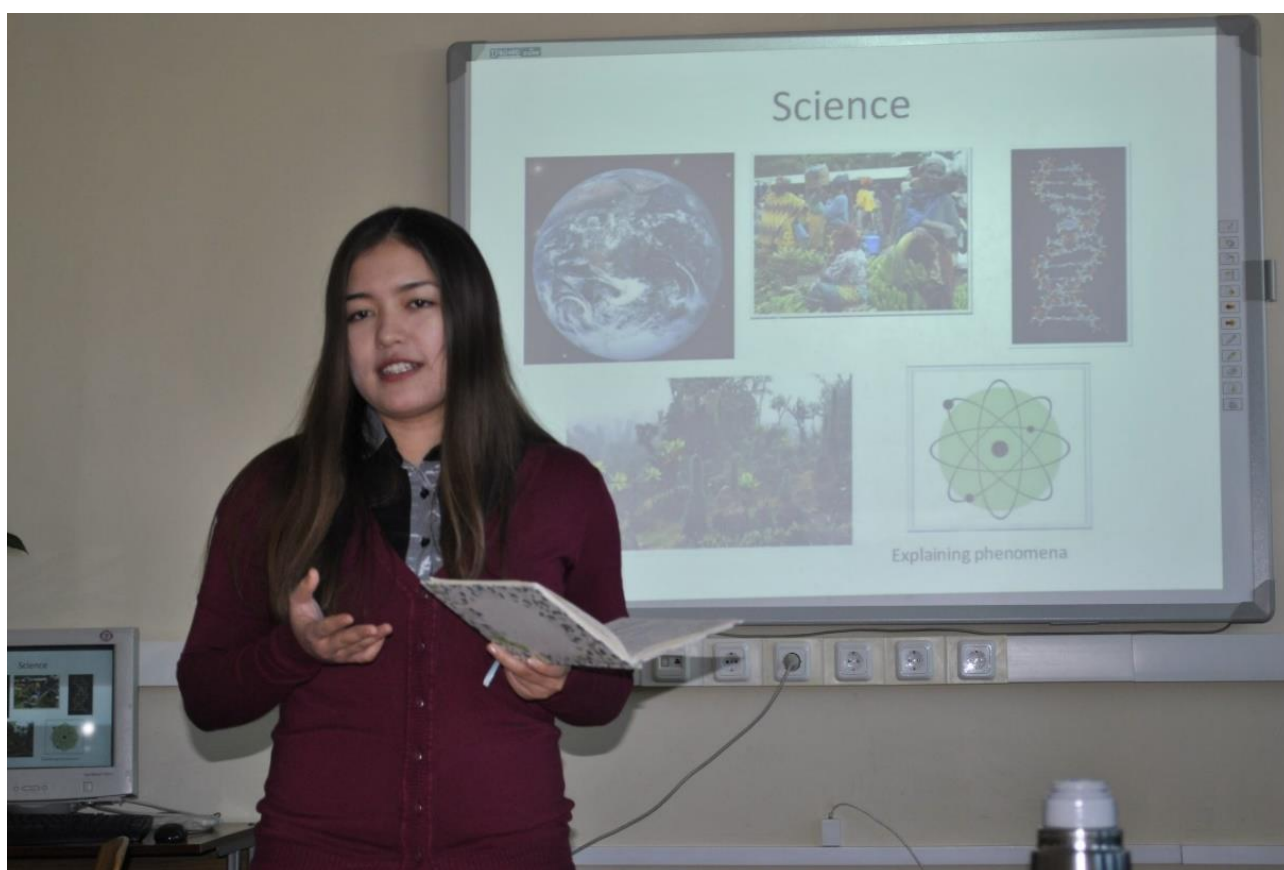


Рис. 3.11. Фрагмент засідання клубу з теми «Час та годинник»



Рис. 3.12. Фрагмент засідання клубу з теми «Математика і музика»



Рис. 3.13. Перше засідання клубу.

Реальне включення майбутніх учителів математики у діяльність міжнародної спільноти GeoGebra було здійснено для учасників експериментальної групи на базі регіонального Інституту GeoGebra, організованого в Харківському державному педагогічному університеті імені Г.С. Сковороди.

Метою такого включення було сприяти обміну ідеями і технологіями, впровадженню й адаптації продуктивного міжнародного досвіду в освітній процес підготовки майбутнього вчителя математики до використання пакету GeoGebra в STEM-освіті, що мало зіграти також роль потужного мотиваційного фактору як для студентів, так і викладачів.

Студенти, на рівні з викладачами, відчували свою причетність до активної діяльності міжнародної спільноти користувачів GeoGebra, отримали унікальну можливість не лише застосовувати вже готові рішення, виконані в пакеті GeoGebra, але і разом з тим, поділитися власними напрацюваннями в GeoGebra, розвивати як існуючі, так і пропонувати власні ідеї і підходи щодо використання пакету GeoGebra.

Водночас, студенти отримали можливість долучитися до процесу розвитку і подальшого вдосконалення пакету GeoGebra. Так, наприклад, на базі Університету Йогана Кеплера (м. Лінц, Австрія) діє програма підтримки талановитих студентів з різних куточків світу. Програма передбачає залучення молоді до процесу створення нових версій пакету GeoGebra для різноманітних мобільних пристроїв, розробку нових функцій, реалізацію інтеграції пакету GeoGebra з іншими освітніми платформами (Apple Education, Google Education, Pearson, Scoledu) [42]. Участь у такій програмі дає змогу студентам не лише підвищити власний рівень використання пакету GeoGebra, а й отримати реальний досвід роботи в команді розробників, опанувати нові програмні інструменти і технології, набути навиків професійної розробки програмних освітніх засобів. Відзначимо, що пакет GeoGebra швидко розвивається і потребує постійної адаптації до нових засобів і форм навчання (наприклад, дистанційне навчання, змішане навчання тощо, що зумовлює перспективність і

таких програм, і участі в них студентів.

Водночас студенти, на рівні з викладачами і науковцями, мали можливість брати участь у різноманітних заходах, які систематично організовуються міжнародною спільнотою GeoGebra. До таких заходів належать: міжнародна конференція GeoGebra (G3 – GeoGebra Global Gathering) [65], регіональні конференції, що відбуваються щороку в країнах, де діють місцеві інститути GeoGebra, майстер-класи від провідних досвідчених науковців – активних користувачів пакету GeoGebra, конкурси [44], серед яких, міжнародний конкурс командного мистецтва [5], що поєднує в собі елементи математики, творчості, технологій і як результат є яскравим прикладом застосування пакету GeoGebra в STEM-освіті. На подібних заходах, організатори завжди створюють умови для того, щоб студенти отримали можливість виступити з презентаціями і представити на огляд публіки результати своїх досліджень.

Найбільш продуктивною у цьому плані виявилась співпраця Інституту GeoGebra Харків з Варшавським центром GeoGebra. Завдяки цій співпраці була започаткована конференція “East West Conference on Mathematics Education” **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**. Конференція була започаткована на базі Університету соціальних та гуманітарних наук. До складу учасників конференції входять фахівці, в першу чергу, з різних областей психології, що вивчають методи навчання та проблеми студентів і викладачів. До регулярної співпраці залучені міжпредметні групи педагогів-практиків і дослідників в областях точних, соціальних і гуманітарних наук. Окрім численних національних та міжнародних конференціях в галузі психології та соціальних наук, Університет соціальних і гуманітарних наук, починаючи з 2010 року, регулярно проводить національну конференцію GeoGebra, а також є організатором і приймаючою стороною міжнародної конференції інституту IGI (міжнародний інститут GeoGebra) GeoGebra 2012. Щороку на базі Варшавського регіонального інституту GeoGebra (Польща) в рамках проведення конференції з актуальних питань використання пакету GeoGebra

студенти з різних навчальних закладів Польщі демонструють свої наукові проекти, виконанні у середовищі GeoGebra. Учасниками конференції стали й студенти, які представляли Інститут GeoGebra Харків, Україна. Студенти з України представляли свої дипломні розробки на конференціях EWCOME 2017 і EWCOME 2018, виступаючи з доповідями. Отриманий досвід стимулював студентів до проведення нових досліджень і їх презентації на наступних міжнародних конференціях, таких як CADGME 2018 [16]. Варто відзначити, що з кожним роком розширюється предметне поле конференції EWCOME. Так, зокрема, серед напрямків роботи конференції з'явилися: математика як елемент STEAM-системи; математична освіта в єдиній міждисциплінарній STEAM-системі. Під час доповідей по цих напрямках, науковці ділилися власним досвідом використання пакету GeoGebra у процесі навчання математики у форматі STEM-освіти.

Якщо конференція EWCOME зазвичай об'єднувала дослідників з країн західної і східної Європи, то конференція CADGME 2018 (Conference on Digital Tools in Mathematics Education Коїмбра, Португалія, 2018) розширила географію учасників, залучивши науковців з різних континентів. Це дало можливість започаткувати співпрацю з дослідниками з різних країн світу.

Зокрема, представлений студентом експериментальної групи проект, присвячений українській вишивці, викликав чималий інтерес представників Південно-Африканської Республіки (ПАР). Так зокрема, виявилось, що ритуальні орнаменти, притаманні певному африканському регіону, мають певні спільні риси з українським орнаментом. Було намічено перспективи подальшої наукової співпраці між представниками Інституту GeoGebra Харків і Інститутом GeoGebra ПАР.

У рамках конференції Gamification and Creativity in STEAM: Education Conference (Лінц, Австрія, 2019) студенти представили STEAM проект «Українська вишивка» в розширеному й доопрацьованому варіанті додавши до матеріалів з математики та програмування ще низку матеріалів з предметів гуманітарного спрямування [33].

Обговорюючи результати своєї участі в перелічених заходах, студенти зазначили, що «це дуже важливо» для них, вони «отримали досвід виступу перед висококваліфікованою міжнародною аудиторією», «знайшли нових друзів і однодумців», «отримали оцінку результатів своєї роботи». Як свої вагомі досягнення студенти оцінили те, що «змогли гідно виступити», «відповіли на різні питання, серед яких було багато неочікуваних», «висловили свою думку в обговоренні наукових доповідей інших учасників», «отримали ідеї для продовження власних досліджень».

У процесі педагогічного експерименту було реалізовано залучення студентів експериментальних груп до розробки GeoGebra-моделей, наукових проєктів з використанням пакету GeoGebra, розробки й презентації власних досліджень в середовищі GeoGebra, зорієнтованих на розкриття нових можливостей прикладного застосування пакету. Такі розробки студентів були представлені як їх особистий внесок у відкриті GeoGebra-ресурси. Студенти мали можливість викласти свої напрацювання на порталі міжнародної спільноти GeoGebra (GeoGebraTube). Водночас студенти мали змогу задавати питання, приймати участь в обговореннях інших GeoGebra-матеріалів з учасниками міжнародної спільноти GeoGebra, бути в курсі останніх новин і подій із життя спільноти, використовуючи такі платформи як форум (GeoGebra User Forum), блог (GeoGebra News) [255].

Майже кожен філіал міжнародного інституту GeoGebra має свій ресурси на порталі GeoGebra.org, де викладають матеріали різного характеру від методичних до наукових. Ресурс Інституту GeoGebra Харків, Україна <https://www.GeoGebra.org/u/kharkivgi> накопичив за певний час напрацювання студентів. Коли студенти бачать результати своєї роботи на подібних ресурсах, приймають участь у наукових та науково-методичних розробках викладачів, це додає впевненості студенту у значущості знань, які він отримує в освітньому процесі і в процесі проєктної або науково-дослідницької роботи, підвищує його самооцінку, стимулює дослідницьку й освітню активність.

Застосування індивідуального і групового коучингу сприяло розкриттю

особистісного потенціалу та успішності майбутнього вчителя, стимулювало його самостійний пізнавальний пошук, надавало підтримку його дослідницькій і проєктній діяльності, позитивно впливало на підвищення рівня, практичної значущості та затребуваності результатів, отриманих студентами в процесі зазначеної діяльності. Коучинг відбувався як в індивідуальному, так і в груповому форматі як цілком добровільне співробітництво студента або студентів з викладачем, яке розпочиналося із звичайних консультацій з тем навчальних дисциплін або з тем позаурочної роботи і тривало, як правило, впродовж усього циклу підготовки студента.

Серед найбільш цікавих наукових проєктів, виконаних студентами експериментальної групи, зазначимо:

– дослідження методів побудови кривої Без'є та її властивостей у середовищі GeoGebra (Н. Цвіркун, група 4МІ);

– формування дослідницьких умінь студентів при вивченні теми “Криві другого рівня” (Л. Новаковська, група 4МІ);

– розробка дистанційного курсу “Жива геометрія” для учнів 10-11 класів (М. Федунов, група 4МІ);

– розробка комплекту завдань у середовищі GeoGebra для підтримки вивчення функціональної змістової лінії у межах позакласної роботи з математики зі старшокласниками (Ю. Грудина, група 4МІ);

– GEOGEBRA як інструмент масової педагогічної практики (І. Русіна, група 5І);

– розробка онлайнної підтримки з використанням пакету GeoGebra у підготовці майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін (І. Русіна, група 5І);

– розробка практикуму з опанування пакету GeoGebra для майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін (В. Цибулька, група 5І);

– Using GeoGebra and Python in Modeling Ukrainian Embroidery (О. Гриценко, І. Русіна, група 6І);

– Exploring Ukrainian Embroidery with GeoGebra and Python (О. Гриценко,

I. Русіна, група 6I);

– розробка електронного інтернет-ресурсу для підтримки позааудиторної роботи студентів на базі англomовного дискусійного клубу «Science around us» (С. Ярмошко, група 6I);

– розробка онлайн-курсу “Використання пакету GeoGebra у навчанні математики” (В. Шерстюк, група 6I).

Таким чином, для перевірки ефективності розроблених і теоретично обґрунтованих педагогічних умов використання GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики було здійснено їх упровадження в реальний освітній процес для експериментальної групи студентів. Зокрема, було створено хмаро орієнтоване освітнє середовища, яке включало програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки і супроводу різних видів самостійної діяльності студентів (навчально-пізнавальної, навчально- та науково-дослідницької, проектної) з використанням пакету GeoGebra; було введено в освітній процес професійної підготовки майбутніх учителів математики практикум з проведення комп’ютерних STEAM-орієнтованих досліджень з використанням пакету GeoGebra, який передбачає поетапне залучення студентів до дослідження математичних об’єктів, об’єктів з інших дисциплін, реальних об’єктів і спирається на створену й постійно оновлювану базу навчальних моделей та розроблене методичне забезпечення; було застосовано комплекс засобів стимулювання всіх студентів експериментальної групи до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання (організація позааудиторної роботи студентів зазначеного спрямування; реальне включення студентів у діяльність GeoGebra-спільноти; застосування індивідуального і групового коучингу).

3.4 Аналіз результатів експериментального дослідження

Після впровадження педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх

учителів математики, здійсненого на формуючому етапі експериментального дослідження, було проведено його контрольний етап. Метою цього етапу було з'ясування ефективності обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики. Для оцінювання ефективності були використані такі ж методи та методики, як і на констатувальному етапі педагогічного експерименту, з подальшим порівняльним аналізом даних.

Для визначення рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним критерієм знову було проведено анкетування, опитування та спостереження у відповідності до вимог валідності, надійності та об'єктивності.

Визначені рівні сформованості мотиваційно-ціннісного критерію у студентів ЕГ та КГ на контрольному етапі експерименту наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним критерієм (контрольний етап)

Рівень сформованості	ЕГ	КГ	Різниця значень
	%	%	%
Творчий	41,9	23,0	18,9
Частково-пошуковий	38,7	39,3	-0,6
Репродуктивний	19,4	37,7	-18,3

На основі аналізу отриманих даних можемо констатувати, що у студентів ЕГ переважають творчий (41,9 %) і частково-пошуковий (38,7 %) рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним критерієм. Це дозволяє стверджувати, що, відповідно до показників критерію, на цьому етапі експерименту студенти ЕГ цілком усвідомлюють цінність математичних знань; розуміють цінність обраної

професії вчителя математики; проявляють скоріше стійке бажання ознайомлюватись з новітніми досягненнями у математичній галузі та впроваджувати їх у майбутній педагогічній діяльності; зацікавлені у використанні пакету GeoGebra в навчанні математики; цілком усвідомлюють перспективи його у власній професійній діяльності; намагаються надати вольових зусиль при появі труднощів щодо оволодіння методами досліджень у пакеті GeoGebra; виявляють прагнення до успіху у навчально-пізнавальній діяльності, а також до опанування інноваційних інструментів для засвоєння математичних знань. У студентів КГ також спостерігалось підвищення рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним критерієм, проте переважають частково-пошуковий (39,3 %) і репродуктивний (37,7 %) рівні. Можемо припустити, що це підвищення відбулося завдяки високому рівню професіоналізму науково-педагогічних працівників, які здійснюють освітню діяльність, а також завдяки потенціалу самого пакету динамічної математики.

Для визначення рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за праксеологічним критерієм (табл. 3.12), як і на констатувальному етапі експерименту, для студентів обох груп було підготовлено низку навчальних досліджень у середовищі пакету GeoGebra та діагностичну карту (додаток Д), яка включала запитання, що свідчили про рівень сформованості кожного з показників, та заповнювалась студентами у ході виконання навчального дослідження. За кожну правильну відповідь на запитання діагностичної карти студент міг отримати від 0 до 3 балів.

При розробці завдань і питань, а також при проведенні вимірювань рівня сформованості показників досліджуваного критерію дотримувалися вимог валідності, надійності, об'єктивності.

Отриману інформацію про сформованість усіх показників праксеологічного критерію було оброблено шляхом розрахунку

середньоарифметичних значень у межах кожної групи учасників експерименту.

Таблиця 3.12

Рівні сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за праксеологічним критерієм (контрольний етап)

Рівень сформованості	ЕГ	КГ	Різниця значень
	%	%	%
Творчий	43,6	19,7	23,9
Частково-пошуковий	40,3	37,7	2,6
Репродуктивний	16,1	42,6	-26,5

На основі даних, наведених в табл. 3.12, можна зробити висновок, що у студентів ЕГ спостерігається більш позитивна динаміка рівнів сформованості за досліджуваним критерієм. Зокрема, творчий рівень зафіксовано у 43,6 % студентів ЕГ, що на 35,5 % більше у порівнянні з даними, отриманими на констатувальному етапі експерименту. У КГ лише 19,7 % майбутніх учителів математики продемонстрували творчий рівень сформованості досліджуваного критерію. Разом з цим, у ЕГ частково-пошуковий рівень розвитку даного критерію виявили на 26,5 % менше студентів, ніж у КГ. Отже, аналіз вимірювань показників в ЕГ дозволяє зробити висновок про те, що більшість студентів виявила творчий рівень сформованості умінь покроково планувати комп'ютерне дослідження, раціонально застосовувати базовий функціонал GeoGebra для проведення дослідження та розробляти відповідні користувацькі інструменти, а також аналізувати результати дослідження, робити висновки, пропонувати перспективи дослідження.

Для перевірки рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за метакогнітивним критерієм було застосовано анкети, програму спостережень та шкалу вимірювання, наведені у додатку Е, при розробці яких ми дотримувалися вимог валідності, надійності, об'єктивності, як і на констатувальному етапі експерименту. Застосовувались ті ж самі групи проявів показників метакогнітивного критерію, що виявляються в аудиторний

та позааудиторний час, а також шкала вимірювання рівнів сформованості показників метакогнітивного критерію, що була розроблена на констатувальному етапі експерименту.

Отриману інформацію про сформованість усіх показників метакогнітивного критерію було оброблено шляхом розрахунку середньоарифметичних значень у межах кожної групи учасників експерименту (табл. 3.12).

Таблиця 3.13

Рівня сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за метакогнітивним критерієм (контрольний етап)

Рівень сформованості	ЕГ	КГ	Різниця значень
	%	%	%
Творчий	45,2	21,3	23,9
Частково-пошуковий	37,1	36,1	1,0
Репродуктивний	17,7	42,6	-24,9

Таким чином, з'ясовано, що більшість студентів ЕГ мають творчий і частково-пошуковий рівень сформованості метакогнітивного критерію. У процесі спостереження та опитування виявлено, що більшість студентів ЕГ одержали стійку здатність критично оцінювати рівень власних знань для вирішення поставленої проблеми; виявляють достатньою мірою спроможність використовувати різні способи набуття знань; мають стійке прагнення до постійного освітнього зростання. Отже, одержані результати вимірів дозволяють зробити висновок про позитивний вплив впроваджених педагогічних умов на рівень сформованості метакогнітивного критерію.

Узагальнені результати вимірювання здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за усіма трьома критеріями на контрольному етапі експерименту наведені у таблиці 3.14.

Наведені узагальнені результати дозволяють припустити позитивний вплив впроваджених педагогічних умов на рівень сформованості здатності

майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти.

Таблиця 3.14

Розподіл студентів ЕГ та КГ за рівнями сформованості мотиваційно-ціннісного, праксеологічного та метакогнітивного критеріїв здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти (контрольний етап експерименту)

Назва вибірки	Розподіл за рівнями		
	Творчий	Частково-пошуковий	Репродуктивний
<i>мотиваційно-ціннісний критерій</i>			
ЕГ	27	24	11
КГ	13	23	25
<i>праксеологічний критерій</i>			
ЕГ	21	34	7
КГ	12	26	23
<i>метакогнітивний критерій</i>			
ЕГ	25	27	10
КГ	10	27	24

Для перевірки нульової гіпотези, у відповідності до якої впровадження у практику навчання обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики, здійсненого на формуючому етапі експериментального дослідження, не вплинуло позитивно на рівень сформованості здатності студентів ЕГ до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за трьома досліджуваними критеріями, було використано статистичний критерій χ^2 .

При здійсненні кількісного аналізу розглядалася сукупність студентів експериментальної та контрольної груп. Були виділені три статистичні категорії. До першої категорії були віднесені студенти, які виявили творчий рівень сформованості, до другої – частково-пошуковий рівень, до третьої – репродуктивний рівень.

Значення статистики критерію розраховувалось за формулою [134,

с. 101]:

$$\chi^2 = \frac{1}{n_e \cdot n_k} \sum_{i=1}^c \frac{(n_e O_{ki} - n_k O_{ei})^2}{O_{ei} + O_{ki}}$$

де n_e, n_k – об'єми вибірок;

O_{ei}, O_{ki} – кількість елементів відповідної вибірки, що відносяться до i -тої категорії;

c – кількість категорій.

Дані про відсотковий розподіл студентів ЕГ та КГ за рівнями сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти за мотиваційно-ціннісним, праксеологічним та метакогнітивним критеріями на контрольному етапі експерименту наведено у таблиці 3.15.

Таблиця 3.15

Розподіл студентів спеціальності 014.04 Середня освіта (математика) за рівнем сформованості здатності до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти після формувального етапу педагогічного експерименту (у %)

рівні \ критерії	КГ			ЕГ		
	Репродуктивний	Частково-пошуковий	Творчий	Репродуктивний	Частково-пошуковий	Творчий
Мотиваційно-ціннісний	37,7	39,3	23,0	19,4	38,7	41,9
Праксеологічний	42,6	37,7	19,7	16,1	40,3	43,6
Метакогнітивний	42,6	36,1	21,3	17,7	37,1	45,2

Підставив в формулу послідовно значення із таблиці 3.14, ми одержали значення статистики критерію, що спостерігаються, для кожного із трьох означених критеріїв, які дорівнюють 10,358; 12,047; 12,186 відповідно.

Критичне значення статистики критерію χ^2 для двох ступенів вільності ($\nu=c-1=3-1=2$) при рівні значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює 5,991 [134].

Оскільки значення χ^2 , що спостерігається, більше критичного значення 5,991, то згідно до правила прийняття рішення [134], одержані результати

дають підставу для відхилення нульової гіпотези і прийняття альтернативної, відповідно до якої впровадження у практику навчання обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики позитивно вплинуло на рівень сформованості здатності до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у студентів експериментальної групи. Отже, фактор відмінності у рівнях сформованості усіх критеріїв вказаної здатності у студентів в експериментальній та контрольній групах є інформативним, а зафіксована відмінність у рівнях її сформованості є статистично значущою.

Таким чином, на контрольному етапі емпіричного дослідження було підтверджено загальну гіпотезу дисертаційного дослідження щодо ефективності обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Висновки до розділу 3

Мета експерименту полягала в перевірці ефективності застосування обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

На підготовчому етапі експериментальної роботи (2015 – 2017 рр.) розроблено навчально-методичне забезпечення використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики в педагогічних закладах вищої освіти: навчальний посібник з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти; комплекти дослідницьких завдань і навчальних моделей для проведення STEM-орієнтованих досліджень у пакеті GeoGebra; хмаро орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей, представлений у GeoGebra Book; завдання для індивідуальної STEM-

орієнтованої навчально-дослідницької діяльності студентів з використанням GeoGebra-моделювання; тематика STEM проєктів з використанням пакету GeoGebra; робочі матеріали для організації позааудиторної STEM-орієнтованої роботи студентів з використанням GeoGebra-моделювання у форматі дискусійного клубу (тематичні розробки, сценарії, презентації, добірки аудіо-та відеоматеріалів тощо).

Розроблено критерії та показники сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти:

а) мотиваційно-ціннісний (усвідомлення майбутніми вчителями цінності математичних знань, математичного апарату як основи комп'ютерних досліджень будь-яких об'єктів; мотивація до оволодіння математикою; готовність до подолання труднощів);

б) практиологічний (уміння майбутніх учителів покроково планувати комп'ютерне дослідження, застосовуючи технологію його проведення; уміння раціонально застосовувати функціонал GeoGebra для проведення дослідження; уміння аналізувати його результати й робити висновки);

в) метакогнітивний (здатність майбутніх учителів критично оцінювати рівень власних знань для вирішення поставленої проблеми; уміння ефективно використовувати різні способи набуття знань; прагнення до постійного освітнього зростання; здатність до застосування пакету GeoGebra для проведення трансдисциплінарних досліджень).

Кожен із показників описано на трьох рівнях сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти: репродуктивному (здатність до використання пакету GeoGebra для проведення предметних математичних досліджень за розробленим викладачем планом), частково-пошуковому (здатність до використання пакету GeoGebra для проведення самостійних і колаборативних предметних математичних досліджень та міжпредметних досліджень за підтримки викладача) та творчому (здатність до використання

пакету GeoGebra для проведення самостійних і колаборативних трансдисциплінарних досліджень), розроблено засоби їхньої діагностики.

Констатувальний та формувальний етапи педагогічного експерименту проведено на базі Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди та Криворізького державного педагогічного університету.

На констатувальному етапі (2018 р.) сформовано експериментальну (ЕГ) та контрольну (КГ) групи; доведено відсутність статистично значущої на рівні 0,05 різниці в рівнях сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти.

На формувальному етапі (2018 – 2020 рр.) реалізовано заходи з упровадження обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти та апробації комплексу навчально-методичних матеріалів. Завдання етапу включали також апробацію комплексу дидактичних матеріалів, що забезпечують упровадження зазначених педагогічних умов; відстежування динаміки процесу використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики. Педагогічний експеримент проводився в природних умовах педагогічного процесу із залученням студентів експериментальної групи. Студенти контрольної групи навчалися за традиційною методикою.

Для реалізації першої педагогічної умови на основі використання спеціально дібраних і розроблених на підготовчому етапі експериментальної роботи програмних, інформаційних, дидактико-методичних ресурсів було створено хмаро орієнтоване освітнє середовище для організації, підтримки й супроводу різних видів самостійної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra (навчально-пізнавальної, навчально-дослідницької, науково-дослідницької, проєктної).

Для реалізації другої педагогічної умови розроблено та впроваджено практикум із проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень із

використанням пакету GeoGebra. Практикумом було передбачено послідовне оволодіння майбутніми вчителями математики технологією проведення досліджень і дослідницьким інструментарієм пакету GeoGebra в процесі поетапного залучення до дослідження математичних об'єктів, об'єктів з інших дисциплін, реальних об'єктів з опорою на спеціально створену й постійно оновлювану базу навчальних моделей. Для підтримки і спрямування самостійної роботи студентів у процесі виконання практикуму використано навчально-методичний посібник. Кожне дослідження, виконуване студентом, складалося з трьох етапів. На першому етапі він залучався до побудови візуальної моделі математичного об'єкта в GeoGebra-середовищі, керуючись указівками до її побудови (наданою в практикумі таблицею побудови динамічного креслення, яка містить покроковий опис побудови, коментарі та ілюстрації до неї) й опановуючи в такий спосіб певний інструментарій GeoGebra. Далі студент виконував дослідження математичного об'єкта за наданим покроковим планом, який відтворював технологію проведення дослідження. Кожен крок супроводжувався запитаннями, які привертали увагу студента до суті отриманого результату. Другий етап дослідження студент здійснював за допомогою тієї самої моделі, але з її використанням для вивчення міжпредметного об'єкта, що вимагало активізації знань з інших дисциплін. Поставлені запитання спрямовувались на залучення студента до аналізу та осмислення отриманих результатів, пробудження його інтересу та ініціативи щодо його задоволення. Третій етап виводив на трансдисциплінарний рівень дослідження і стосувався реального об'єкта, вимагав прояву комплексу набутих знань. Запитання, які ставились до студента, мали на меті збуджувати його природну допитливість, спонукати до вироблення плану подальших досліджень, можливо, з модифікацією створеної моделі.

Для реалізації третьої педагогічної умови розроблено та застосовано комплекс засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання. Зокрема, організацію позааудиторної роботи здійснено у форматі дискусійного клубу, де провідним методом пізнавальної діяльності стало

GeoGebra-модельовання. Також відбувалося залучення студентів до діяльності GeoGebra-спільноти через розробку GeoGebra-моделей і презентацію власних GeoGebra-досліджень як особистого внеску у відкриті світові GeoGebra-ресурси, зокрема GeoGebra Book, з метою обміну ідеями й технологіями, а також упровадження й адаптації продуктивного міжнародного досвіду в освітній процес підготовки майбутнього вчителя математики до використання пакету GeoGebra в STEM-освіті, що відіграло роль потужного мотиваційного чинника для студентів. Клубний формат сприяв зростанню різноманітних взаємодій між викладачами і студентами на засадах взаємоповаги й довіри, установленню партнерських взаємин між ними, реалізації індивідуального та групового коучингу, що знаходило прояв у персоналізованому консультуванні студентів, спрямуванні їх на отримання значущих освітніх результатів, залученні до розробки практично затребуваних STEM-проектів, до спільного з викладачами виконання повноцінних наукових STEM-досліджень, і тривало впродовж усього циклу підготовки майбутнього вчителя математики.

Після завершення експериментальної роботи визначено рівень сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти (табл 3.15).

На контрольному етапі проаналізовано результати проведеного експерименту. Отримані результати дозволили стверджувати про позитивний вплив упровадження розроблених педагогічних умов на рівень сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти. Перевірку здійснено за допомогою критерію узгодженості Пірсона, який підтвердив, що чинник відмінності розподілів студентів КГ і ЕГ є статистично значущим на рівні 0,05. Отже, було підтверджено гіпотезу дослідження, що використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики набуде ефективності за умови реалізації обґрунтованих педагогічних умов.

Основні результати третього розділу дослідження опубліковані в роботах автора [50; 54; 66; 140; 208; 211; 212; 213; 214].

ВИСНОВКИ

У дисертації запропоновано вирішення наукової проблеми обґрунтування педагогічних умов використання GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики. Узагальнення результатів теоретичного пошуку і проведеного педагогічного експерименту дає підставу зробити такі **висновки**.

1. Аналіз психолого-педагогічної літератури показав, що STEM-освіта є інноваційним підходом, що впроваджується та розвивається спільними зусиллями науковців і освітян багатьох країн світу, зацікавлених у розвитку наукоємних виробництв і високих технологій. STEM-освіта поширюється на всі освітні рівні, що зумовлює особливе значення її впровадження в систему підготовки майбутнього вчителя, оскільки саме вчитель є головним рушієм змін в освіті.

STEM-освіту визначено як інноваційну модель природничо-математичної освіти XXI століття, а її впровадження – як широкомасштабний світовий експеримент, у ході якого визначається змістова компонента моделі (здійснюється відбір і структуризація змісту освіти), апробується процесуальна компонента (використовувані форми, методи, засоби навчання, специфіка організації освітнього процесу в його конкретних аспектах), уточнюється концептуальна компонента (термінологічний апарат, засадничі принципи тощо).

Виокремлено інтегративний, діяльнісний та технологічний підходи як ключові для STEM-освіти. Показано, що збільшення обсягу і значущості самостійної дослідницької роботи потребує її раціональної організації на технологічних засадах.

Проаналізовано потенціал математики як STEM-дисципліни у шкільній та університетській освіті. Визначено інтегративну роль математики в комплексі STEM-дисциплін, зумовлену універсальністю математичного апарату, повсюдністю його використання, математизацією різних галузей знань;

істотним впливом математичної освіти на розумовий, морально-вольовий та естетичний розвиток особистості; винятковою значущістю математичного моделювання та обчислювального експерименту на його основі як провідного методу науково-дослідницької, інженерно-технічної та практичної діяльності людини.

Окреслено проблеми в підготовці вчителів математики до впровадження елементів STEM-навчання, які зумовлюють необхідність проведення теоретичних обґрунтувань і розвідок щодо модернізації вищої педагогічної освіти в контексті ефективного впровадження STEM-концепції.

2. Розкрито освітньо-розвивальний потенціал та визначальні особливості пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики: позиціонування пакету як системи комп'ютерної математики, орієнтованої на підтримку навчально-дослідницької діяльності; потужність пакету і неперервність його вдосконалення, здійснюваного міжнародним колективом розробників; широкий діапазон застосувань у STEM-освіті та її відгалуженнях (STEAM, STREAM та інших), у науково-дослідницькій і практичній діяльності різного спрямування; вільне поширення повнофункційної версії пакету українською мовою; незалежність від апаратури та операційної системи; наявність хмаро орієнтованої версії; велика база вільно поширюваних освітніх STEM-ресурсів, створених відкритою GeoGebra-спільнотою; можливість візуалізації комп'ютерних моделей у віртуальній і доповненій реальності та їх матеріалізації засобами 3D-друку.

3. Розроблено й теоретично обґрунтовано педагогічні умови використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики: створення хмаро орієнтованого освітнього середовища, яке містить програмні, інформаційні, дидактико-методичні ресурси для організації, підтримки й супроводу різних видів навчальної діяльності студентів із використанням пакету GeoGebra; уведення в освітній процес підготовки майбутніх учителів математики практикуму з проведення комп'ютерних STEM-орієнтованих досліджень у

пакеті GeoGebra; застосування комплексу засобів стимулювання студентів до STEM-орієнтованого GeoGebra-моделювання на основі організації їхньої позааудиторної роботи, залучення до діяльності GeoGebra-спільноти та використання індивідуального й групового коучингу.

4. Проведено педагогічний експеримент для перевірки ефективності обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики. Розроблено критерії та показники сформованості здатності майбутніх учителів математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти: мотиваційно-ціннісний (усвідомлення майбутніми вчителями цінності математичних знань, математичного апарату як основи комп'ютерних досліджень будь-яких об'єктів; мотивація до оволодіння математикою; готовність до подолання труднощів); практиологічний (уміння майбутніх учителів покроково планувати комп'ютерне дослідження, застосовуючи технологію його проведення; уміння раціонально застосовувати функціонал GeoGebra для проведення дослідження; уміння аналізувати його результати й робити висновки); метакогнітивний (здатність майбутніх учителів критично оцінювати рівень власних знань для вирішення поставленої проблеми; уміння ефективно використовувати різні способи набуття знань; прагнення до постійного освітнього зростання; здатність до застосування пакету GeoGebra для проведення трансдисциплінарних досліджень). Схарактеризовано репродуктивний, частково-пошуковий та творчий рівні сформованості за кожним із критеріїв, розроблено шкали для їх вимірювання, визначено та дібрано діагностичний інструментарій. Опрацювання експериментальних даних здійснено з використанням методів математичної статистики. Отримані результати засвідчили ефективність обґрунтованих педагогічних умов використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти в процесі підготовки майбутніх учителів математики.

Виконане дослідження не вичерпує всіх аспектів аналізованої проблеми. До перспективних напрямів подальших наукових розвідок нами віднесено розробку моделі професійної підготовки майбутніх учителів математики на засадах інтегративного підходу, методичних засад реалізації STEM-освіти в навчанні майбутніх учителів фізики, інформатики та технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 25 Makerspace Projects For Kids. URL: <https://www.makerspaces.com/25-makerspace-projects-for-kids/>.
2. Anthony O.R. GeoGebra Courses for STEM. *Gifted Gateway*, Issue 5, 2017. P. 33. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/kH2QCqsW#material/XKJG7PEJ>.
3. Apps that help you put the power of technology to work. and out of class. URL: <https://www.apple.com/education/k12/teaching-tools>.
4. Arbain N. and Shukor N. The effects of GeoGebra on students' achievement. *Global Conference on Business & Social Science-2014 (GCBSS-2014)*, Kuala Lumpur, 2015. P. 208–214. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.01.356.
5. Art & Math Exhibition. International Team Art Contest. *GeoGebra Book.*, URL: <https://www.GeoGebra.org/m/y3uzcnsW>.
6. Australia's STEM workforce. URL: <https://www.chiefscientist.gov.au/news-and-media/2020-australias-stem-workforce-report>.
7. Bauch M. and Pikalova V. Exploring linear functions: representational relationships. *International Journal Information Technologies and Knowledge*, Vol. 1, 2007. P. 67–71.
8. Beghetto R. A. and Kaufman J. C. *Nurturing creativity in the classroom* (2nd ed.). New York, NY: Cambridge University Press, 2017.
9. Best project nominees of the StarT season 2020. URL: <https://start.luma.fi/en/materials/the-best-of-start-2020/best-projects-2020/>.
10. Bilousova L., Byelyavtseva T., Kolgatin O., Kolgatina L., Kanevska M., Pudy A. and Yukht V. *Numerical Methods Courseware Based on Mathcad. Guidebook for Students*. A publishing house FOP Virovec A.P. in the Publishing group «Apostrophe», Kharkiv, 2011.
11. Bilousova L., Gryzun L., Sherstiuk D. and Shmelster E. Cloud-based complex of computer transdisciplinary models in the context of holistic educational approach Cloud Technologies in Education. *Proceedings of the 6-th Workshop CTE-2018*, Vol. 2433, Kryvyi Rih, Ukraine, 2018. P. 336–351. URL:

- <http://ceur-ws.org/Vol-2433/paper22.pdf>.
12. Bilousova L., Gryzun L., Zhytienova N. and Pikalova V. Search algorithms learning based on cognitive visualization. *Proceedings 15th International Conference «ICT in Education, Research, and Industrial Applications» (ICTERI-2018)*, Kherson, Ukraine, 2019. P. 472 – 478. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190472.pdf>.
 13. Blanco T., Diego-Mantecón J. and Ortiz-Laso Z. Proyectos STEAM con formato KIKS para el desarrollo de competencias clave *Comunicar: Revista Científica de Comunicación*, 2021. URL: <http://eprints.rclis.org/40901/2/c6603es.pdf>.
 14. Brewer P., Mitchell M., Sanders R., Wallace P. and Wood D. Teaching and Learning in Cross-Disciplinary Virtual Teams. *IEEE Transactions On Professional Communication*, Vol. 58, №2, 2015. P. 208–229.
 15. Brzezinski T. Augmented Reality: Ideas for Student Explorations. *GeoGebra Book*, 2020. URL: <https://www.geogebra.org/m/RKYFdQJy>.
 16. CADGME: Web Proceedings Conference on Digital Tools in Mathematics Education, Coimbra, 2018. URL: <https://www.uc.pt/en/congressos/cadgme2018>.
 17. Download GeoGebra apps. URL: <https://www.GeoGebra.org/download>.
 18. Dugger W. Evolution of STEM in the United States. *6th Biennial International Conference on Technology Education Research*, Gold Coast, Queensland, Australia, 2010. URL: <http://www.iteea.org/Resources/PressRoom/AustraliaPaper.pdf>.
 19. Earl J. McGrath, An Integration of Knowledge and Experience, Change. *The Magazine of Higher Learning*, Vol. 10, 1978. P. 6–9. doi: 10.1080/00091383.1978.10569473.
 20. Education 2030. Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4. 2016. URL: http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/education-2030-incheon-framework-for-action-implementation-of-sdg4-2016-en_2.pdf
 21. Fahlberg-Stojanovska L. & Stojanovski V. GeoGebra – freedom to explore and

- learn. Teaching Mathematics and Its Applications. *International Journal of the IMA*, Vol. 28, 2009. P. 49–54.
22. Flavell J. H. Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive developmental Inquiry. *American Psychologist*. Vol. 34, Issue 10, 1979. P. 906–911. doi: 10.1037/0003-066x.34.10.906.
 23. Furner J. M. & Marinas C. A. Geometry sketching software for elementary children: Easy as 1, 2, 3. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, Vol. 3, 2007. P. 83–91.
 24. GeoGebra Team. GeoGebra Partnerships. *GeoGebra Book*, 2021. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/pR5DME5S#material/jetg4zsr>.
 25. Haas B., Kreis Y. & Lavicza Z. Outdoor STEAM integrated framework in elementary schools in Luxembourg using MathCityMap and GeoGebra 3D Calculator. *Conference 25th Asian Technology Conference in Mathematics*, 2020. URL: <https://orbilu.uni.lu/handle/10993/45108>.
 26. Hacker J. Teaching new thinking. *Journal of developmental Psychol*, Vol. 5, 1997. P. 28–36.
 27. Hall J. & Lingefjärd T. *Mathematical Modeling, Applications with GeoGebra*. John Wiley & Sons, New Jersey, 2016. 570 p.
 28. Hewson P. GeoGebra for mathematical statistics. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, Vol. 16, 2009. URL: <http://www.editlib.org/p/30304>.
 29. Hohenwarter M. & Lavicza Z. GeoGebra, its community and future. *Fifteenth Asian Technology Conference in Mathematics*, University of Malaya Kuala Lumpur, Malaysia, 2010. URL: https://www.atcm.mathandtech.org/EP2010/invited/3052010_18180.pdf.
 30. Hohenwarter M. & Preiner J. Dynamic mathematics with GeoGebra. *Journal of Online Mathematics and its Applications*, ID 1448, Vol. 7, 2007.
 31. Hohenwarter M., Jarvis D. & Lavicza Z. Linking Geometry, Algebra, and Mathematics Teachers: GeoGebra Software and the Establishment of the International GeoGebra Institute. *International Journal for Technology in*

- Mathematics Education*, Vol.16, 2009. P. 83–87.
32. Hom E. What is STEM-education? *Live science*, 2014. URL: <http://www.livescience.com/43296-what-is-stem-education.html>.
 33. Hrytsenko O., Pikalova V. & Rusina I. STEAM project: Exploring and Modelling Ukrainian Embroidery. *Education Conference «Gamification and Creativity in STEAM»*, Johannes Kepler University, Linz, Austria, 2019. URL: <http://mintlinz.pbworks.com/w/page/129872385/Gamification%20and%20Creativity%20in%20STEAM%20Education%20Conference%3A%2017-18%20Jan%202019>.
 34. Hrytsenko O., Pikalova V. & Rusina I. Using GeoGebra and Python in Modelling Ukrainian Embroidery. *Book of Abstract Proceedings of East West Conference «Mathematics Education EWCOME-2018»*, Warsaw, Poland, 2018. P. 26–27. URL: <https://sites.google.com/site/ewcome2018warszawa/program>.
 35. Jacobs H. H. Interdisciplinary curriculum: Design and implementation, Ed. Alexandria, VA: ASDC, 1989. 99 p. URL: <https://eric.ed.gov/?id=ED316506>
 36. JKU STEAM Conference. Early-career researchers in STEAM education conference. *GeoGebra Book*, Linz, 2021. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/qsgvgspn>.
 37. Kukhareno V. & Oleinik T. Open distance learning for teachers. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2393, 2019. P. 156–169. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper_295.pdf.
 38. Lavicza Z., Fenyvesi K., Lieban D., Park H., Hohenwarter M., Diego J. & Prodromou T. Mathematics Learning Through Arts, Technology and Robotics: Multi-and Transdisciplinary STEAM Approaches. *8th ICMI-East Asia Regional Conference on Mathematics Education*, Taipei, Taiwan, 2018.
 39. Lavicza Z., Prodromou T., Fenyvesi, K., Hohenwarter M., Juhos I. & Koren B. Integrating STEM-related Technologies into Mathematics Education at Large Scale. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, Vol. 27, 2020. P. 3-12. doi: 10.1564/tme_v27.1.01.
 40. Leikin R. & Pitta-Pantazi D. Creativity and mathematics education: The state of

- the art. *ZDM*, Vol. 45, 2013. P. 159–166.
41. Lev-Zamir H. & Leikin R. Saying versus doing: teachers' conceptions of creativity in elementary mathematics teaching. *ZDM*, 45, 2013. P. 295–308.
 42. Linz School of Education. Research. STEM-education, Linz, 2021. URL: <https://www.jku.at/en/linz-school-of-education/research/stem-education/>.
 43. Meeth L. R. Interdisciplinary Studies: Integration of Knowledge and Experience Change. – 1978. – №10. – P. 6–9
 44. Morze N., Varchenko-Trotsenko L. & Tiutiunnyk A. Introduction of STEAM education with the use of 3D technologies: modelling, scanning and printing. *Open Educational E-environment of modern university*, 2016. P. 51-59.
 45. Nicolescu B. The Transdisciplinary Evolution of the University Condition for Sustainable Development. *Talk at the International Congress "Universities' Responsibilities to Society"*, International Association of Universities, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, November 12-14, 1997. URL: <http://cired-transdisciplinarity.org/bulletin/b12c8.php>.
 46. Oldknow A. GeoGebra as a vehicle for STEM. URL: <https://directorymathsed.net/public/FinalResourceFile2/GeoGebra/GeoGebra%20as%20a%20vehicle%20for%20STEM.pdf>.
 47. Panchenko L. F. & Muzyka I. O. Analytical review of augmented reality MOOCs. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2547, 2020. P. 168–180. – URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2547/paper13.pdf>.
 48. Partnership for 21st century learning. *Battelleforkids*. URL: www.P21.org.
 49. Perignat E. & Katz-Buonincontro J. What Does Creativity Look Like in the STEAM Classroom? *Circe magazine: steam edition*, 2019. P. 66.
 50. Pikalova V. Discovering Steiner's Theorem with GeoGebra. *Proceedings of the International Conference GeoGebra*, Warsaw, Poland, 2012. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/aVYvB97f>.
 51. Pikalova V. Play, Invent and Program with Python, GeoGebra, Makey Makey and App Inventor2. *Proceedings of East West Conference on Mathematics Education (EWCOME 2017)*, Warsaw, Poland, 2017. P. 26 – 27.

52. Pikalova V. Teaching and Exploring Geometry with GeoGebra. *Proceedings of the International Conference Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education*, University of South Bohemia, Pedagogical Faculty, Hluboka nad Vltavou, Czech Republic, 2010. P. 31.
53. Pikalova V. Teaching and Learning Math Behind Computer Science with the Help of GeoGebra and Python. *Web Proceedings Sixth Central- and Eastern European Conference Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education*, Targu Mures, Romania, 2016. URL: <https://cadgme.ms.sapientia.ro/>.
54. Pikalova V. GeoGebra-Integrated Professional Development of Pre-service Math Teachers within Discrete Mathematics Course. *Proceedings of GeoGebra: Global Gathering Conference*, Johannes Kepler University, Linz, Austria, 2015. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/oz0TtfO8>.
55. Robert I. V., Mukhametzyanov I. S., Arinushkina A. A., Kastornova V. A. & Martirosyan L. P. Forecast of the development of education informatization. *Espacios*. Vol. 38, Iss. 40, 2017. P. 32.
56. Sanders M. STEM, STEM-education , STEMmania. *The Technology Teacher*, Vol. 68, 2009. P. 20–26. URL: http://www.artstem.org/wp-content/uploads/2010/09/Sanders_STEM_VTProgram.pdf.
57. Schleicher A. PISA 2018: Insights and Interpretations. 2018. URL: <https://www.oecd.org/pisa/PISA%202018%20Insights%20and%20Interpretations%20FINAL%20PDF.pdf>
58. Schoen R. *Model-Centered Learning. Pathways to Mathematical Understanding Using GeoGebra*. Sense Publishers, AW Rotterdam, The Netherlands, 2011. 247 p.
59. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. URL: <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>.
60. Science, Technology, Engineering, and Math, including Computer Science. *Education for Global Leadership U. S. Department of Education*. URL:

- <https://www.ed.gov/stem>.
61. Semenikhina O. V., Drushliak M. H. The Necessity to Reform Mathematics Education in Ukraine. *Journal of Research in Innovative Teaching*, Vol. 8, Iss. 1, March 2015. P. 51-62.
 62. Semerikov S., Striuk A., Striuk L., Striuk M. & Shalatska H. Sustainability in Software Engineering Education: a case of general professional competencies. E3S Web Conf. The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020), Vol. 166, 2020. 13 p.
 63. Statistics Canada. OECD. *The Conference Board of Canada*. URL: <http://www.conferenceboard.ca/hcp/provincial/education/sciencegrads.aspx>.
 64. STEAM Education for Teaching Professionalism, STEAMTeach. 2021. URL: <https://www.steamteach.unican.es/universitat-linz/>.
 65. Stephen J. GeoGebra. Global Gathering 2019. *GeoGebra Book*, Linz, Austria, 2019. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/tvwmdan8>.
 66. Strutynska O. & Umryk M. Learning startups as a project based approach in STEM education. *E-learning and STEM Education Scientific Editor Eugenia Smyrnova-Trybulska "E-learning"*, Vol. 11, Katowice-Cieszyn, 2019. P. 529-555.
 67. Strutynska O., & Umryk M. ICT tools and trends in research, education and science: local survey. *Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету» (Open educational e-environment of modern university)*, № 3, 2017. P.150160. URL: <https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/79>
 68. Teaching STEM, URL: <https://teach.com/what/teachers-know/stem-education>.
 69. The New Ukrainian School. Conceptual Principals of Secondary School Reform, URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/Book-ENG.pdf>.
 70. Trybulkevych K. H., Zaitseva A. V., Lupak N. M., Dychkivska I. M., Bortniuk N. V. The Influence Of Social Reflection To Enhance The Efficiency

- Of Professional Communication Of The In-Service Teachers In The Settings Of Methodical Work. *Applied Linguistics Research Journal. ALRJournal*, №4, 2020, P. 182-189.
71. Tsupros, N., Kohler, R., & Hallinen, J. STEM-education: A project to identify the missing components. *Intermediate Unit 1 and Carnegie Mellon*. Pennsylvania. 2009.
 72. Uwurukundo M., Maniraho J. & Tusiime M. GeoGebra Integration and Effectiveness in the Teaching and Learning of Mathematics in Secondary Schools: A Review of Literature. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, Vol. 16, №1, 2020. P. 1-13.
 73. Virtual Library Home: Mathematics Software. URL: <https://math.fsu.edu/Virtual/index.php?f=21>.
 74. Vlasenko K., Chumak O., Achkan D., Lovianova I. & Kondratyeva O. Personal e-learning environment of a mathematics teacher. *Universal Journal of Educational Research*. Vol. 8, Iss. 8, 2020. P. 3527–3535.
 75. Vlasenko K., Chumak O., Sitak I., Chashechnikova O. and Lovianova I. Developing informatics competencies of computer sciences students while teaching differential equations. *Revista Espacios*, Vol. 40, Iss. 31, 2019. P. 11–27.
 76. Vlasenko K., Sitak I., Chumak O. & Kondratyeva O. Review of the Experience with the Implementation of STEM-education Technologies. *Current Issues in Ensuring the Quality of Mathematical Education: Monograph*. In L. Kyba (A. Ed.). Budapest, Hungary: SCASPEE, 2019. P. 97–110. URL: https://drive.google.com/file/d/0B0mGM6lS_wnKZVpKWFk1LWIKRTdaVndEdFVvLU5SeFRpRWN3/view.
 77. Weinhandl R., Lavicza Z., Hohenwarter M. & Schallert S. Enhancing flipped mathematics education by utilising GeoGebra. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, Vol. 8, 2020. P. 1–15. URL: <https://ijemst.org/index.php/ijemst/article/viewFile/832/206>.
 78. What is GeoGebra? 2021. URL: <https://www.GeoGebra.org/about>.

79. Wilke J. Using Imagination in the Math Classroom. *Educational Perspectives*, Vol. 39, 2006. P. 15–18.
80. Zakhochay O. I., Menyaylenko A. S. & Lyfar V.A. Separate Analysis of Informational Signs in Multi-Parametric Combined Patterns Recognition Systems. *Problemele energeticii regionale*, Iss. 1-1, 2019. P. 60-68. – DOI : 10.5281/zenodo.3239140.
81. Zeus P. & Skiffington S. *The Complete Guide to Coaching at Work*. Australia: The Mc Grow-Hill Companies, Inc., 2007.
82. Zuga K. National Science Foundation. STEM and Technology Education. 2007. URL: [http://www.iteea.org/mbrsonly/Library/WhitePapers/STEM\(Zuga\).pdf](http://www.iteea.org/mbrsonly/Library/WhitePapers/STEM(Zuga).pdf).
83. Аверин С. А. и Маркова В. А. STEM – технологии в образовании: мода или реальность? *IV Всероссийская научно-практическая конференция «Ребенок в современном образовательном пространстве мегаполиса»*, Москва, 2017. С. 193–202.
84. Азимов Э. Г. и Щукин А. Н. *Новый словарь методических терминов и понятий (теория и практика обучения языкам)*. Москва: Издательство ИКАР, 2009.
85. Александрова М. В., Горбунова Н. В., Доница И. А., Первова Д. А. и др. Формирование исследовательской компетентности будущих педагогов как обязательное условие реализации ФГОС ВО по направлению подготовки 44.03.01 педагогическое образование (уровень бакалавриата): *монография*, Ялта, 2018. С. 60–72.
86. Алексанян Г. А. Педагогические условия использования облачных технологий в обучении математике студентов СПО. *Научное обозрение. Педагогические науки*. №1, 2015. С. 40. URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=558>.
87. Алексюк А. М. *Педагогіка вищої освіти України. Історія. Теорія: підруч. для студентів, аспірантів та мол. викладачів вищ. навч. закл.* Київ: Либідь, 1998.
88. Альтшулер Ю. Б. Методическая система обучения электродинамике

- учащихся средней школы на основе синтеза фундаментальных и прикладных знаний: автореф. дис. ... докт. пед. наук : 13.00.02 – теория и методика обучения и воспитания (физика). Москва, 2013. 43 с.
89. Андреев А. А. и Долина Н. В. Преподаватель как коуч. *Высшее образование в России*, №8-9, 2011. С. 73–78.
90. Андрієвська В. М. та Білоусова Л. І. Концепція BYOD як інструмент реалізації STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*, Вип. 4(14), 2017. С. 13–17.
91. Андрущенко В. П. та Савельев В. Л. Освітня політика (огляд порядку денного) К. : Леся, 2010. 368 с.
92. Аткинсон М. и Чоис Т. *Наука и искусство коучинга: Внутренняя динамика*. Киев: Companion Group, 2009.
93. Бабанский Ю. К. *Избранные педагогические труды*. Москва: Педагогика, 1989. 265 с.
94. Багачук А. В. и Зданович О. В. Структурно-содержательная модель исследовательской компетенции студента – будущего учителя математики. *Современные проблемы науки и образования*, №2, 2014. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12378>.
95. Балик Н. Р. та Шмигер Г. П. Підходи та особливості сучасної STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*, №2(12), 2017. С. 26–30.
96. Балик Н. Р., Барна О. В. та Шмигер Г. П. Впровадження STEM-освіти у педагогічному університеті. *Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи»*, Тернопіль, 2017. С. 11–15. URL: <https://clck.ru/TG4hS>.
97. Беляев Е. А. и Перминов В. Я. *Философские и методологические проблемы математики*. Москва: МГУ, 1981. 217 с.
98. Берсенева О. В. Модель формирования готовности будущих учителей математики к организации исследовательской деятельности школьников. *Вестник Красноярского государственного педагогического университета*

- им. В.П. Астафьева, №1, 2017. С. 56–58.
99. Беспалько В. П. О критериях качества подготовки специалистов. *Вестник высшей школы*, №1, 1988. С. 3–9.
100. Биков В. Ю. *Моделі організаційних систем відкритої освіти : монографія*. К. : Атіка, 2009. 684 с.
101. Білоусова Л. І., Горонескуль М. М. Курс вищої математики у середовищі Maple: навч. посіб. Харків: УЦЗУ КП "Міська друкарня", 2009. 412 с.
102. Білоусова Л. І., Колгатін О. Г. та Колгатіна Л. С. Фактори ефективності самостійної роботи в інформаційно-комунікаційному педагогічному середовищі. *Зб. наук. пр. ІХ Міжнародна конференція (ІТЕА-2014) «Нові інформаційні технології в освіті для всіх»*, Україна, МННЦ, Ч. 1. Київ, 2014. С. 52–58. URL: <http://issuu.com/iteaconf/docs/itea2014ua1/1?e=5444579/11083293>.
103. Білоусова Л. І. та Горонескуль М. М. *Курс вищої математики у середовищі Maple: навчальний посібник*. Харків: УЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2009. 412 с.
104. Білоусова Л. І. та Житеньова Н. В. Використання комп'ютерної підтримки у навчанні природничо-математичних дисциплін. *Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського освітнього простору*, Т. VII (25), 2010. С. 34–39.
105. Білоусова Л. І. та Житеньова Н. В. Візуалізація навчального матеріалу з використанням технології скрайбінг у професійній діяльності вчителя. *Фізико-математична освіта*, №1, 2016. URL: <http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/publ/3-1-0-56>.
106. Білоусова Л. І. та Житеньова Н. В. Компоненти готовності майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування технологій візуалізації у предметно-професійній діяльності. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*, №3, 2018. С. 80–87.
107. Білоусова Л. І., Гризун Л. Е. та Житеньова Н. В. Проблеми реалізації

- холістичного підходу в професійній підготовці майбутніх учителів інформатики. *Фізико-математична освіта*, Вип. 4(22), 2019. С. 11–15.
108. Білоусова Л. І., Пікалова В. В. та Столбов Д. В. Особливості використання пакету GeoGebra у системі підготовки майбутнього вчителя математики та інформатики. *V Міжнародна науково-практична конференція «Математика. Інформаційні технології. Освіта»*, Луцьк, 2016. С. 119–120.
109. Богач О. В. Застосування інформаційних технологій під час навчання геометрії учнів основної школи, URL: http://vyshneveschool3.edukit.kiev.ua/Files/downloads/посібник_математика%20_Богач.pdf.
110. Бондарчук Т. В. Упровадження елементів STEAM–освіти під час викладання фізики. *Український проект «Якість освіти»*, URL: http://yakistosviti.com.ua/userfiles/web-sten-school-2019/4-bereznia/bondarchuk/Dodatok_1_stattja.pdf.
111. Бордовская Н. В., Реан А. А. и Розум С. И. *Психология и педагогика*, Спб.: Питер, 2002. 186 с.
112. Ботузова Ю. Особливості використання STEM-технологій в навчанні математики. *Наукові записки Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка*, Вип. 12, 2016. С. 3–8. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nz_pmf_m_2016_12__3.
113. Буряк В. К., Кондрашова Л. В. и Гапоненко Л. А. Индивидуальная работа студентов по педагогическим дисциплинам. Кривой Рог: КГПИ, 1995. 155 с.
114. Важинський С. Е. та Щербак Т. І. Методика та організація наукових досліджень: навчальний посібник. Суми: СумДПУ імені А.С.Макаренка, 2016.
115. Вакалюк Т. А. Хмарні технології в освіті. Навчально-методичний посібник для студентів фізико-математичного факультету. 2016. 230 с.
116. Валько Н. В. Система підготовки майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до застосування STEM технологій у професійній

- діяльності: автореф. Дисер. д-ра пед. наук: [спец.] 13.00.04 Класич. приват. ун-т., Запоріжжя: [б.в.], 2020. 40 с.
117. Васильєва Д. В. Урізноманітнення форм навчання математики в контексті STEM-освіти. *Зимова сесія "Web-STEM-школи — 2018"*, 2018. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=MshUSDfSYwU>.
118. Величко В. Є. та Федоренко О. Г. Ефективність застосування вільного програмного забезпечення в підготовці майбутніх учителів математики, фізики та інформатики як педагогічна проблема. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького*, Вип. 1, 2020. С. 257–263. – DOI : 10.31651/2524-2660-2020-1-257-263
119. Відділ STEM-освіти, URL: <https://imzo.gov.ua/proimzo/struktura/viddil-stem-osviti>.
120. Віртуальний STEM-центр Малої академії наук України, URL: <https://stemua.science/>.
121. Власенко К. та Скафа О. Актуалізація евристичних ситуацій на уроках геометрії (за матеріалом основної школи): для вчителів й учнів. Донецьк: Фірма ТЕАН, 2003. 160 с.
122. Власенко К. В. та Реутова І. М. *Геометрія для майбутніх інженерів: навчально-методичний посібник для учнів старшої школи*. Донецьк: вид-во «Вебер», 2009.
123. Воеводина С. А. и Жукова Т. Л. Подготовка будущих педагогов к руководству учебно-исследовательской деятельностью учащихся. *II Всероссийская научно-практическая конференция «Учебно-исследовательская деятельность учащихся: реалии и перспективы»*, Омск, 2018. С. 97.
124. Волкова Н. П. Інтерактивні технології навчання у вищій школі : навчально-методичний посібник, Дніпро: Університет імені Альфреда Нобеля, 2018. 360 с.
125. Гаврилова Т. Ю. и Игнатова О. Г. STEM-образование в современной школе в рамках проектной деятельности по естественно-научным дисциплинам.

- Электронные библиотеки*, 22, 2019. С. 547–555. doi: 10.26907/1562-5419-2019-22-6-547-555.
126. Глазунова О. Г., Кузьмінська О. Г., Волошина Т. В., Саяпіна Т. П., Корольчук В. І. Хмарні сервіси Microsoft та Google: організація групової проектної роботи студентів ВНЗ. *Електронне наукове фахове видання “Відкрите освітнє e-середовище сучасного університету”*, Вип. 3, 2017. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeemu_2017_3_36
127. Гнеденко Б. В. Математика в современном мире. Москва: Просвещение, 1980. 128 с.
128. Годованюк Т., Махомета Т. та Тягай І. Інноваційні навчальні технології – основа модернізації методичної підготовки майбутнього вчителя математики. *Відкрите освітнє e-середовище сучасного університету*, Спецвип., 2019. С. 107–115, URL: <https://openedu.kubg.edu.ua/journal/index.php/openedu/article/view/217/pdf>
129. Голви Т. Максимальная самореализация: Работа как внутренняя игра. Москва: Альпина Бизнес Букс, 2007.
130. Гончарова Н. О. Професійна компетентність учителя в системі навчання STEM. *Наукові записки Малої академії наук України*, Вип. 7, 2015. С. 141–148.
131. Горбатюк Р. М. Комп’ютерне моделювання у підготовці фахівців з вищою освітою. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*, Vol.1, №1, 2015. С. 33–42.
132. Горох В. П. и Раков С. А. *Компьютерные эксперименты в геометрии: учеб. пособие для учащихся по курсу геометрии*. Харьков, 1996.
133. Горошко Ю. В. *Система інформаційного моделювання у підготовці майбутніх учителів математики та інформатики : дис... д-ра пед. наук : 13.00.02 – теорія та методика навчання (інформатика)*, Чернігівський національний педагогічний університет імені Т. Г. Шевченка, Чернігів, 2013. 470 с.
134. Грабарь М. И. и Краснянская К. А. *Применение математической*

- статистики в педагогических исследованиях. Непараметрические методы.* Москва: Педагогика, 1977. 136 с.
135. Гриб'юк О. О. Психолого-педагогічні вимоги до комп'ютерно-орієнтованих систем навчання математики в контексті підвищення якості освіти. *Гуманітарний вісник ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди»*, Дод. 1 до Вип. 31, Том IV(46), 2013. С. 110-123.
136. Гриб'юк О. О. та Юнчик В. Л. Особливості використання системи GeoGebra в процесі навчання курсу «Математичні основи інформатики». *Математика. Інформаційні технології. Освіта*, Т. 1, Вип. 4, 2017. С. 34–49. URL: https://lib.iitta.gov.ua/707285/1/MIТО_Yunchyk.pdf.
137. Гриб'юк О. О. та Юнчик В. Л. Проектний підхід у навчанні математики з використанням системи GeoGebra, URL: https://lib.iitta.gov.ua/704901/1/Grybyuk-Yunchyk_Drogobich_tezu++.pdf.
138. Григорьев С., Курносенко М. Внедрение элементов STEM-образования в подготовку педагогов по профилю «Информатика и технологии». *Известия института педагогики и психологии образования*, №2, 2018. С. 5–13. URL: <http://izvestia-ippo.ru>.
139. Гризун Л. Е., Грудина Ю. О., Пікалова В. В. Розробка комплекту завдань у середовищі GeoGebra для підтримки вивчення функціональної змістової лінії у межах позакласної роботи з математики із старшокласниками. *Науково-дослідна робота студентів як чинник удосконалення професійної підготовки майбутнього вчителя*, Вип. 12, 2014. С. 53–59.
140. Гризун Л. Е., Пікалова В. В., Русіна І. Д. та Цибулька В. А. Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти: *навчальний посібник*. Харків: ХНПУ імені Г.С. Сковороди, 2018. 80 с.
141. Гуревич Р. С. Теорія і практика навчання в професійно-технічних закладах: монографія. Вінниця: ДОВ «Вінниця, 2008. 410 с.
142. Дауни М. *Эффективный коучинг: Уроки коуча коучей*. Москва:

- Издательство «Добрая книга», 2008. 250 с.
143. Дроздова О. Інноваційні технології навчання в програмі підготовки майбутнього вчителя, URL: <https://sno.udpu.edu.ua/index.php/naukovo-metodychna-robota/89-suchasni-tekhnologiyi-rozvytku-profesiynoi-maysternosti-maybutnikh-uchyteliv-25-zhovtnia-2018-r/157-innovatsijni-tekhnologiji-navchannya-v-programi-pidgotovki-majbutnogo-vchitelya>.
144. Дуранов М. Е. Структурно-функциональный подход к направленности личности. *Региональная конференция «Воспитание и профессиональная подготовка молодежи»*, Магнитогорск, 1994. С. 71–78.
145. Егупова М. В. *Методическая система подготовки учителя к практико-ориентированному обучению математике в школе* : автореф. дис. ... докт. пед. наук : 13.00.02 – теория и методика обучения и воспитания (математика), Москва, 2014. 47 с.
146. *Енциклопедія освіти / Акад. пед. наук України* ; гол. ред. В. Г. Кремень. – К. : Юрінком Інтер, 2008. –1040 с.
147. Євдокимов В. І., Агапова Т. П., Гавриш І. В. та Олійник Т. О. *Педагогічний експеримент: навч. посіб. для студентів педагогічних вузів*. Харків: ОВС, 2001. 148 с.
148. Євтух М., Матвійчук А. та Пелех Ю. Постнекласична педагогіка: філософсько-методологічне осмислення наукового концепту. *Освіта для сучасності = Edukacja dla wspolczesnosci: зб. наук. пр.*, Т. 1, Київ, 2015. С. 104–117.
149. Єфімова О. М. та Жицька С. А. Коучинг як складова особистісно-орієнтованого навчання у професійній підготовці студентів вищих навчальних закладів. *Науковий огляд*, №4(36), 2017. С. 1–10.
150. Жалдак М. И. *Система подготовки учителя к использованию информационной технологии в учебном процессе: дис. в форме науч. доклада д-ра пед. наук: спец. 13.00.02. АПН СССР; НИИ содержания и методов обучения*. Москва, 1989. 356 с.
151. Житеньова Н. В. *Теоретичні і методичні засади професійної підготовки*

- майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін до використання технологій візуалізації в освітньому процесі: дис. докт. пед. наук. Харків. нац. пед. ун-т ім. Г.С.Сковороди. Харків, 2020. 324 с.
152. Жуков Н. И. *Философские проблемы математики*. Минск, 1977. 96 с.
153. Зиатдинов Р. А. Геометрическое моделирование и решение задач проективной геометрии в системе GeoGebra. *Международная конференция «Молодежь и современные информационные технологии»*, Томск, 2010. С. 168–170.
154. Зуев П. В. Праксеологический подход к решению проблемы повышения эффективности обучения. *Педагогическое образование и наука*, №3, 2008. С. 7–15.
155. Иманова А. Н., Самуратова Р. Т. и Жуманбаева А. О. STEAM – технологии: инновации в естественно-научном образовании. *Достижения науки и образования*, №8(30), Том 2, 2018. С. 75. URL: <https://scientifictext.ru/images/PDF/2018/DNO-8-30/DNO-8-30--2.pdf>.
156. Ипполитова Н. и Стерхова Н. Анализ понятия «педагогические условия»: сущность, классификация. *General and Professional Education*, №1, 2012. С. 8–14.
157. Канке В. А. *Философия математики, физики, химии, биологии: учебное пособие*. Москва: КНОРУС, 2011. 367 с.
158. Карпов А. В. Скитяева И. М. *Психология метакогнитивных процессов личности*. Москва: Изд-во «Институт психологии РАН», 2005. 344 с.
159. Кедровский О. И. *Взаимосвязь философии и математики в процессе исторического развития. От Фалеса до эпохи Возрождения*. Киев, 1974. 255 с.
160. Кедровский О. И. *Методика построения теоретических систем знания: диалог философа и математика*. Киев: Вища шк., 1982. 167 с.
161. Кедровский О. И. *Методологические проблемы развития математического познания*. Киев: Вища шк., 1977. 232 с.
162. Ким хочуть бути випускники українських шкіл у 2020 році. 2020.

- URL: <https://cambridge.ua/uk/news/top-desired-professions-2020/>
163. Кириленко С. та Кіян О. Поліфункціональний урок у системі STEM-освіти: теоретико-методологічні та методичні сегменти. *Рідна школа*, №4, 2016. С. 50–54.
164. Клековкин Г. А. Использование интерактивной математической системы GeoGebra при обучении дифференциальной геометрии. Пространственные кривые. *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета*, №4(32), 2019. URL: http://vestospu.ru/archive/2019/articles/19_32_2019.pdf.
165. Кобильник Т. П., Когут У.П. Системи комп'ютерної математики у навчанні студентів напряму підготовки "Інформатика". *Інформаційні технології і засоби навчання*, Т. 40, Вип. 2, 2014. С. 50–64.
166. Кови С. Р. *Семь навыков высокоэффективных людей: Мощные инструменты развития личности*. Москва: Альпина Бизнес Букс, 2006.
167. Кода С. В. STEM-освіта – шлях до професійної майстерності педагога. *III Всеукраїнська науково-методична конференція «Особистісно-професійна компетентність педагога: теорія і практика»*, Суми, 2019. С. 149–152.
168. Кондаурова И. К. и Гусева М. А. Формирование у будущих педагогов-математиков умений и навыков педагога-исследователя в контексте развития профессиональной биографии. *Азимут научных исследований: педагогика и психология*, №4, 2014. С. 69–72. URL: <https://anipp.ru>.
169. Концепція нової школи: предмети на вибір і 12 класів, URL: <https://glavcom.ua/digest/konceptsiya-novoji-shkoli-predmeti-na-vibir-i-12-klasiv-368355.html>.
170. Корольський В. В., Крамаренко Т. Г., Семеріков С. О. та Шокалюк С. В. *Інноваційні інформаційно-комунікаційні технології навчання математики: навчальний посібник*. Кривий Ріг: вид-во Киреєвського, 2009.
171. Коротяев Б. И. *Нестандартный взгляд на стандарты высшего образования*: моногр.; Луган. нац. ун-т им. Тараса Шевченко. Старобельск: Изд-во ГУ «ЛНУ имени Тараса Шевченко», 2016. 293 с.

172. Котарбинский Т. *Избранные произведения*. Москва: Издательство иностранной литературы, 1963. 196 с.
173. Котарбинский Т. Развитие праксиологии. *Польское обозрение*, №12, 1962. С.15–27.
174. Краевский В. В. и Полонский В. М. *Методология для педагога: теория и практика: учебное пособие*. Волгоград: Перемена, 2001. 264 с.
175. Крамаренко Т. Г. Бібліотека електронних наочностей до навчального посібника «Інноваційні інформаційно-комунікаційні технології навчання математики»: GeoGebra Book, 2018. URL: <https://www.geogebra.org/m/gqpk8yfu>
176. Крамаренко Т. Г. та Пилипенко О. С. Проблеми підготовки учителя до впровадження елементів STEM-навчання математики. *Фізико-математична освіта*, Вип. 4, 2018. С. 90–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/fmo_2018_4_16.
177. Крамаренко Т. Г., Корольський В. В., Семеріков С. О., Шокалюк С. В. Інноваційні інформаційно-комунікаційні технології навчання математики : навч. посіб.; наук. ред. М. І. Жалдак. Вид. 2, перероб. і доп. Кривий Ріг : Криворізький держ. пед. ун-т, 2019. 444 с. URL: <http://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/3315>.
178. Краснова Л. и Осмоловская И. Проблема междисциплинарности в исследованиях процесса обучения. *Образование и наука*, Т.19, №7, 2017. С. 9–24.
179. Крылов Д. А. *Формирование технологической культуры у будущих педагогов: монография*. Казань: Офсет-сервис, 2010.
180. Кузан К. Ю. Види наукових досліджень:термінологічний аналіз. *Гуманітарний вісник ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди»*, Дод. 4, Вип. 31, Том III (11), Київ, 2014. С. 295–301.
181. Левицька Р. Знайти своє місце в майбутньому: як за допомогою STEAM-системи дати дітям правильну освіту, URL:

- <https://4mama.ua/kids/education/8586-nayti-svoe-mesto-v-budushtem-kak-s-pomoshtyu-steam-sistemy-dat-detyam-pravilnoe-obrazovanie>.
182. Лемешовець А. В. та Лемешовець О. І. Елементи STEM/STEAM-навчання на уроках математики і фізики: з досвіду роботи. URL: <http://elar.ippo.edu.te.ua:8080/bitstream/123456789/5017/1/Lemeshovets-ilovepdf-compressed.pdf>.
183. Лечкина Т. О. Технология «квест-проект» как инновационная форма воспитания. *Наука и образование: новое время*, №1, 2015. С. 12–14.
184. Литвинова С. Г. Поняття й основні характеристики хмаро орієнтованого навчального середовища середньої школи. *Інформаційні технології і засоби навчання*, №40, Вип. 2, 2014. С. 26-41.
185. Литовченко В. П. Інформаційно-комунікаційні технології в структурі міждисциплінарного навчання. *Міжнародні відносини*, №13, 2018. С. 24–26, URL: http://journals.iir.kiev.ua/index.php/ec_n/article/view/3287.
186. Ловягин С. и Обухов О. Задания для практики STEM-образования: от суммы частных задач и учебных дисциплин к целостному деятельностному междисциплинарному подходу. *Исследователь*, №2, 2020. С. 63–82.
187. Мадер В.В. *Введение в методологию математики: Гносеологические, методологические и мировоззренческие аспекты математики. Математика и теория познания*. М.: Интерпракс, 1995. 464 с.
188. Малихін О. В. Принципи організації самостійної освітньої діяльності студентів. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*, Вип. 53, 2017. С. 482–490. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pfto_2017_53_63.
189. Манчул Б. В. Інтегративні тенденції в науці: потенціал і форми актуалізації: автореф. дис. канд. філософ. наук. Чернів. нац. ун-т ім. Ю.Федьковича, Чернівці, 2010. 20 с.
190. Матяш О. І. *Теоретико-методичні засади формування методичної компетентності майбутнього вчителя математики до навчання учнів*

- геометрії. Монографія*, Міністерство освіти і науки України, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського. Вінниця, 2013. – 450 с.
191. Методичні рекомендації щодо розвитку STEM-освіти в закладах загальної середньої та позашкільної освіти України у 2018/2019 навчальному році (№ 22.1/10-2573 від 19.07.2018 р.), URL: https://osvita.ua/legislation/Ser_osv/61444/.
192. Минакова Т. В. *Развитие познавательной самостоятельности студентов технического университета в процессе изучения иностранного языка. Дис. канд. пед. наук*, Оренбургский гос. ун-т. Оренбург, 2001. 285 с.
193. Морзе Н. В. та Співак С. М. Формування сучасного хмароорієнтованого персоналізованого освітнього середовища враховуючи ІКТ-компетентність учасників навчального процесу. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*, Вип. 3, 2017. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeeetu_2017_3_44.1.
194. Морозова О. В. и Духанина Е. С. STEAM-технологии в дополнительном образовании детей. *Сборник статей научных чтений памяти С.Н. Баландина «Баландинские чтения»*, Т. XIV, Новосибирск, 2019. URL: http://nsuada.ru/nauka/konferentsii/balandinskie-chteniya/xiv/84_Morozova_Dukhanina.pdf.
195. Найн А. Я. Обучение как управляемый процесс. Челябинск: Урал. гос. акад. физ. культуры, 1990.
196. Нахман А. Д. Формирование компетенции математического моделирования в условиях реализации концепции развития математического образования. *Международный журнал экспериментального образования*, № 2, 2016. С. 282–286.
197. Овсянникова Т. Л. Использование программы GeoGebra при обучении геометрии будущих учителей математики. *Мир педагогики и психологи*, №11(28), 2018, URL: <https://scipress.ru/pedagogy/releases/11-28-noyabr-2018.html>.

198. Онуфрієнко О. Застосування елементів STEM-освіти у професійній підготовці майбутнього вчителя математики. *Зб. наук. пр. Міжнародної науково-практичної конференції «Наукова діяльність як шлях формування професійних компетентностей майбутнього фахівця» (НПК – 2017)*, Суми, 2017. С. 55–56. URL: <https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/7091/1/Onufrienko%20O..pdf>.
199. Опачко М. В. Теоретико-методичні засади підготовки майбутніх учителів фізики з дидактичного менеджменту: автореф. дис. докт. пед. наук, Нац. пед. ун-т ім. М.П.Драгоманова. Київ, 2018.
200. Основи методології та організації наукових досліджень: *навчальний посібник для студентів, курсантів, аспірантів і ад'юнктів*. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 156 с.
201. Пасічник І. Д., Каламаж Р. В. та Августюк М. М. Метакогнітивний моніторинг як регулятивний аспект мета пізнання. *Наукові записки*. Вип. 28, 2014. С. 3–16.
202. Педагогічна Конституція Європи. Вища освіта України, №3, 2013. С. 111–116. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vou_2013_3_17
203. Переверзев М. Организационно-содержательные педагогические условия формирования полифункциональной компетенции будущих специалистов в сфере гостиничного сервиса и туризма. *Гуманитарные науки*, №3(47), 2019. С. 70-80.
204. Петренко О. Педагогічний коучинг у діяльності вчителя в контексті реалізації Концепції «Нова українська школа». *Нова педагогічна думка*. № 1, 2018. С. 62-66. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npd_2018_1_17.
205. Пехота О. М. Технології педагогічної освіти: мета, зміст, особливості застосування у сучасних умовах. *Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Серія : Педагогічні науки*. Вип. 1.40. 2013. С. 26-31. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmdup_2013_1.

206. Пикалова В. В. Сотрудничество с Международным институтом GeoGebra как инструмент совершенствования математической подготовки будущего учителя. *Образовательные технологии и общество*, Т. 16, №1, 2013. С. 564–574. URL: <https://readera.org/sotrudnichestvo-s-mezhdunarodnym-institutom-GeoGebra-kak-instrument-14062453>.
207. Писаревский М. Образование: STEM и STEAM – добавьте немного творчества к науке! 2018. URL: <https://innovationhouse.org.ua/ru/statti/obrazovanie-stem-i-steam-dobavte-nemnogo-tvorchestva-k-nauke/>
208. Пікалова В. В. GeoGebra як інструмент упровадження STEM орієнтованих досліджень у практику підготовки майбутнього вчителя математики. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова*, №22(29), 2020. С. 134–139.
209. Пікалова В. В. Використання СДМ GeoGebra у ракурсі STEM-освіти майбутніх вчителів. *Науково-практична Інтернет-конференція «Інформаційні технології в освітньому процесі»*, Чернігів, 2020. URL: <https://tvorchistd.blogspot.com/2020/11/2020.html>.
210. Пікалова В. В. Відкриття геометрії засобами динамічної геометрії. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова*, Сер. 2, Вип. 4, 2001. С. 119–127.
211. Пікалова В. В. Організація позааудиторної роботи майбутніх учителів математики в середовищі GeoGebra. *Педагогічні науки*, Вип. 92, 2020. С. 68–73.
212. Пікалова В. В. Реалізація STEM-освіти в проєктній діяльності майбутнього вчителя математики. *Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету»*, №9, 2020. С. 95–103.
213. Пікалова В. В. Система підготовки майбутнього вчителя математики до використання пакету GeoGebra у майбутній професійній діяльності. *Інформаційні технології в освіті*, Мелітополь, 2014. С. 252–262.
214. Пікалова В. В., Шерстюк В. М. Розробка відкритого он-лайн курсу

- Використання пакету динамічної математики GeoGebra у викладанні математики. III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми теорії і практики дистанційного і електронного образования», Ялта, 2014. С. 112–115.
215. Пікалова В. В. Підтримка навчальних досліджень у курсі геометрії засобами пакета DG. Комп'ютер у школі та сім'ї, 4(28), 2003. С. 34–40.
216. Пікалова В. В., Токарева А. В. Шляхи інтеграції – створення та підтримка освітніх середовищ відкритого доступу в мережі Інтернет. V наук.-практ. конф. молодих учених «Методологія сучасних наукових досліджень», Харків, 2008. С. 92–93.
217. План заходів щодо впровадження STEM-освіти в Україні на 2016-2018 рр, URL: <https://imzo.gov.ua/2016/11/10/plan-zahodiv-shhodo-vprovadzhennya-steam-osviti-v-ukrayini-na-2016-2018-roki/>.
218. Поліхун Н. І., Сліпучіна І. А. та Чернецький І. С. Педагогічна технологія STEM як засіб реформування освітньої системи України. *Освіта та розвиток обдарованої особистості*, № 3(58), 2017. С. 5–9.
219. Попель М. В. Дослідження інформаційно-комунікаційної компетентності майбутніх учителів математики та стану матеріально-технічного забезпечення навчального закладу в аспекті використання хмарних технологій. *Нова педагогічна думка*. 2016. № 1 (85). С. 54-59.
220. Про вищу освіту : Закон України № 1556-VII. Верховна Рада України. – Київ, 1 липня 2014 року. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
221. Про затвердження концепції розвитку педагогічної освіти. 16 липня 2018. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-konceptsiyi-rozvitku-pedagogichnoyi-osviti>
222. Про освіту : Закон України № 2145-VIII / Верховна Рада України. Київ, 5 вересня 2017 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>.
223. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). 5 серпня 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>

224. Проект концепції STEM-освіти в Україні, URL: http://mk-kor.at.ua/STEM/STEM_2017.pdf.
225. Прокопенко І. Ф. *Педагогічні технології*: навчальний посібник. Харків: Колегіум, 2005.
226. Раков С. А. Формування математичних компетентностей учителя математики на основі дослідницького підходу у навчанні з використанням інформаційних технологій: дис. докт. пед. наук, Харків. нац. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди, Харків, 2005. 360 с.
227. Ракута В. М. Система динамічної математики GeoGebra як інноваційний засіб для вивчення математики. *Інформаційні технології і засоби навчання*, №4(30), 2012, URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/700/524>.
228. Рамки кваліфікацій у Європейському освітньому просторі. Навчально-методичний посібник / В.М. Захарченко, М. В. Міюсов, Д. Г. Парменова. Одеса: НУ «ОМА», 2017. 88 с.
229. Рамський Ю. С. Методична система формування інформаційної культури майбутніх вчителів математики : дис. .. д-ра пед. наук : 13.00.02 – теорія та методика навчання (інформатика) / Рамський Юрій Савіянович ; Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 2013. – 560 с.
230. Рашевська Н. В. Хмарні технології дистанційного навчання у процесі навчання вищої математики. *Інформаційні технології в освіті*, № 13, 2013. С.127-133.
231. Реан А.А. Психология и педагогика / А.А. Реан, Н.В. Бордовская, С.И. Розум. – Спб.: Питер, 2002. – 432 с.
232. Репин А. О. Актуальность STEM-образования в России как приоритетного направления государственной политики. *Научная идея*, №1, 2017. URL: <http://www.nauch-idea.ru/index.php/arkhiv/8-1/22-aktualnost-stem-obrazovaniya-v-rossii-kak-prioritetnogo-napravleniya-gosudarstvennoj-politiki>.
233. Рождественська Л. В. STEAM-проекти в шкільній освіті, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=SnBjtBe5Ofg>.

234. Розин В. М. Визуальная культура и восприятие. Как человек видит и понимает мир. Москва: ЛКИ, 2006. 135 с.
235. Ромакина Л. Н., Харченко А. А. и Харченко Н. А. Геометрические построения на идеальной области плоскости Лобачевского. *XXXVI Международный научный семинар преподавателей математики и информатики ун-тов и пед. вузов «Н.И.Лобачевский и математическое образование в России»*, Казань, 2017. С. 114–118.
236. Романова С. М. Коучинг як нова технологія в професійній освіті. *Вісник Національного авіаційного університету*, Серія: Педагогіка, Психологія, Вип. 3, 2010. С. 83–86. doi: 10.18372/2411-264X.3.2145.
237. Романова С. М. Коучінг як нова технологія в професійній освіті. *Вісник НАУ*, Вип. 3, 2010. С. 83–86.
238. Романюк О. та Пойда С. 3D моделювання в контексті STEM. *Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі»*, Київ, 2019. С. 110-112.
239. Сейдаметова З.С., Аблялимова Э.И., Меджитова Л.М., Сейтвелиева С.Н. и Темненко В.А. *Облачные технологии и образование: под общ. ред. З.С. Сейдаметовой*. Симферополь: «ДИАЙПИ», 2012. 204 с.
240. Семеніхіна О. В., Юрченко А. Формування інформатичної компетентності вчителя математики і фізики на основі використання спеціалізованого програмного забезпечення. *Наукові записки Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти.* – 2015. – Випуск 8 (III). – С. 52-57.
241. Семеріков С. О., Словак К. І. та Триус Ю. В. Мобільні математичні середовища: сучасний стан та перспективи розвитку. *Науковий часопис Національного педагогічного у-ту ім. М. П. Драгоманова*, №12(19), 2012. С. 102–109.
242. Семеріков С., Теплицький І. та Шокалюк С. Махіта – система комп'ютерної математики для вітчизняної освіти. *Науковий часопис*

- Національного педагогічного у-ту ім. М. П. Драгоманова*, №6(13), 2008. С. 32–39. URL: <https://sj.npu.edu.ua/index.php/kosn/article/view/490>.
243. Серебренникова Ю. А. Подготовка педагогов к реализации STEM-образования. *Известия института педагогики и психологи образования*, 2019. URL: <http://ippo.selfip.com:85/izvestia/serebrennikova-yu-a-podgotovka-pedago/>.
244. Скворцова С. О. Нормативна складова методичної компетентності майбутнього вчителя в галузі викладання математики. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Педагогічні науки*. 2013. Вип. 110. С. 286-288.
245. Співаковський О. В., Осипова Н. В., Львов М. С. та Бакуменко К. В. Проведення обчислювального експерименту засобами системи дистанційного вивчення курсу «Основи алгоритмізації та програмування». *Інформаційні технології в освіті*. 2010. Вип. 6. С. 11-22.
246. Спірін О. М. Інформаційно-комунікаційні та інформатичні компетентності як компоненти системи професійно-спеціалізованих компетентностей вчителя інформатики. *Інформаційні технології і засоби навчання*. № 5(13). К., 2009. 15 с.
247. Степанов О. М. та Фіцула М. М. *Основи психології і педагогіки: посібник*. Київ: Академвидав, 2003.
248. Стрижак О. Є. Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів: автореф. дис. д-ра техн. наук, Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. Київ, 2014.
249. Тараканова Е. Н. Программно-инструментальное сопровождение STEM-образования. *Научное отражение*, Вип. 5-6, 2017. С. 160–161. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.naukopolis-center.ru/nomera-zhurnala-nauchnoe-otrazhenie/nauchnoe-otrazhenie-no-5-6-9-102017>.
250. Теплицький О. І., Теплицький І. О., Семеріков С. О. та Соловйов В. М. Професійна підготовка учителів природничо-математичних дисциплін засобами комп'ютерного моделювання: соціально-конструктивістський

- підхід. *Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі: монографія*, Вип. 1(10), спецвипуск «Монографія в журналі», Кривий Ріг: Видавничий відділ ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2015.
251. Терентьева Н. Міждисциплінарність як основа нового знанневого продукту в інформаційному суспільстві. *Педагогіка і психологія. Науково-теоретичний та інформаційний вісник НАПН України*, №1(90), 2016. С. 59–65.
252. Тимощук Г. В. Формування ціннісного ставлення до професійної діяльності майбутніх економістів у процесі вивчення фахових дисциплін: дис. канд. пед. наук, Харків. нац. пед. ун-т ім. Г.С.Сковороди. Харків, 2015.
253. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л. Л. и др. *Основы педагогики высшей школы: учебное пособие*. Харьков: НТУ «ХПИ», 2005.
254. Триус Ю. В. Комп'ютерно-орієнтовані методичні системи навчання математичних дисциплін у вищих навчальних закладах: дис. докт. пед. наук, Черкаський нац. ун-т ім. Богдана Хмельницького, Черкаси, 2005.
255. Федонюк А. А. та Юнчик В. Л. Порівняльна характеристика функціональних можливостей систем комп'ютерної математики в процесі розв'язування задач. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи і мережі»*, №6, 2019. С. 90–102.
256. Форсайт економіки України середньостроковий (2015-2020 роки) і довгостроковий (2020-2030 роки) часові горизонти. Київ, НТУУ «КПІ», 2015. 136 с. URL: <http://ied.kpi.ua/wp-content/uploads/2015/10/Foresight-2015.pdf>
257. Хаджирадева С. К. Моделювання як метод науково-практичного пізнання. *Вісник Академії митної служби України*, № 1, 2009. С. 44–52.
258. Халин С. М. *Познание и метапознание*. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 1998.
259. Холодная М. А. *Психология интеллекта. Парадоксы исследования*, СПб: Питер, 2002.
260. Чотири столичні школи отримали STEM-лабораторії. *Вечірній Київ*, URL:

- <https://vechirniy.kyiv.ua/news/38575/>.
261. Швай О. Л. Методологія математики: *навчальний посібник для студентів вищ. навч. закл.* Луцьк: СНУ імені Лесі Українки, 2017. 120 с.
262. Ширяева В. А. Педагогические условия формирования универсальной ключевой компетенции. URL: http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2013/07/15/i-09_shiryayeva.pdf.
263. Шишкіна М. П. Теоретико-методичні засади формування і розвитку хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища вищого навчального закладу: *дис. доктора пед. наук : 13.00.10*, Київ, 2016. 276 с.
264. Яковлев Е. В. и Яковлева Н. О. Педагогическая концепция: методологические аспекты построения. Москва: Владос, 2006. 215 с.

ДОДАТКИ

Додаток А Основні компоненти пакету GeoGebra та розділи GeoGebraBook «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra»

Схарактеризуємо робочу область GeoGebra та особливості роботи із її основними компонентами. Зауважимо, що роботу у межах практикуму орієнтовано на десктоп версію GeoGebra Classic 5, яку можна завантажити за посиланням: www.GeoGebra.org/download. За деяких змін завдання можуть бути виконані у наступній версії пакету GeoGebra Classic 6.

Після відкриття програми ми бачимо біле поле з осями координат – **геометричне полотно** (рис. А.1). За замовчуванням зліва від геометричного полотна знаходиться **панель об'єктів**, в якій будуть відображатися всі об'єкти, що створюються, в алгебраїчному вигляді. Кожна кнопка панелі містить в собі групу однотипних інструментів, при наведенні курсору на які можна побачити підказку щодо їх застосування.

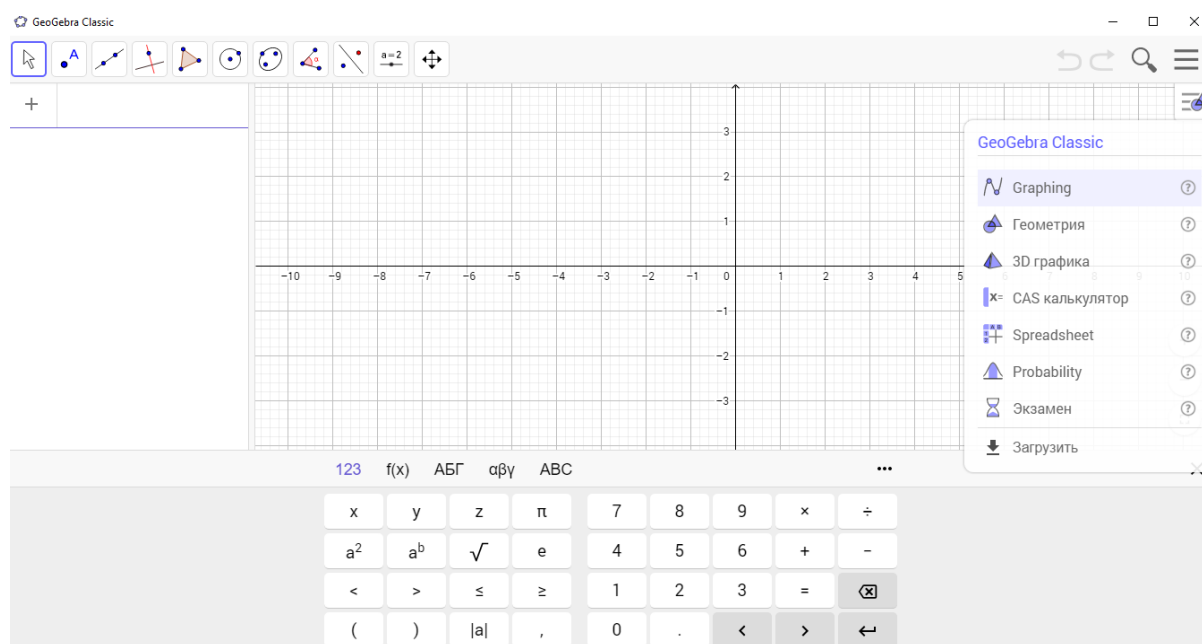


Рис. А.1. Загальний вигляд вікна GeoGebra Classic після відкриття

У нижній частині екрану знаходиться **командний рядок** для введення формул і команд. Повний список команд з необхідними атрибутами і варіантами запису можна побачити, натиснувши на кнопку праворуч від рядка. При активному стані рядка на ньому з'являється кнопка зі значком α – це набір

математичних символів, стандартних змінних і латинських літер для побудови формул. Історія введення зберігається в пам'яті рядка, яку можна відкрити, натиснувши на кнопку з двома стрілками.

У якості першого завдання рекомендуємо побудувати на геометричному полотні всі стандартні геометричні фігури та об'єкти GeoGebra, використовуючи доступні інструменти. Спробуйте пересувати за допомогою миші точки і зробіть висновки про те, як змінюються або зберігаються властивості фігур при їх деформації. Потім за допомогою панелі об'єктів проекспериментуйте з видимістю об'єктів, їх підписів, з їх основними властивостями, кольором і стилем (ПКМ → Властивості). Змінити розмітку екрана і розташування окремих панелей середовища можна у вікні налаштувань Вид → Розмітка ...

Познайомимось детальніше із основними компонентами та інструментами пакету.

Панель об'єктів GeoGebra (Algebra View)

Панель об'єктів містить символічну алгебраїчну репрезентацію об'єктів, які відображаються в графічному полотні (у разі якщо вони мають графічну інтерпретацію). Алгебраїчні вирази можуть бути безпосередньо введені за допомогою інтегрованого рядка введення (командного рядка). Наприклад, введений вираз $y=5x+3$ буде відображено в графічному полотні у вигляді прямої, якій автоматично буде присвоєне нове ім'я. Для обробки виразу в рядку введення не обов'язково вказувати всі операції, як це необхідно робити в мовах програмування. Записи $y=2x$ і $y:=2*x$ будуть інтерпретуватися як один вираз. Після створення об'єкта через рядок введення його вираз може бути скориговано через панель об'єктів, його графічне відображення буде оновлюватися після кожної зміни. GeoGebra пропонує користувачеві широкий спектр команд для створення і перетворення об'єктів. При введенні команди в рядок введення в супутньому контекстному меню відображається перелік схожих команд і порядок введення їх атрибутів. Інструменти створення і перетворення геометричних об'єктів з панелі інструментів можна

безпосередньо застосовувати на алгебраїчних виразах в панелі об'єктів, як і на їх графічному відображенні.

Графічне полотно GeoGebra (Graphics View)

Графічне полотно – основний компонент GeoGebra, оскільки на ньому відображаються графічні репрезентації всіх створених об'єктів. Осі абсцис і ординат, типи сітки – GeoGebra підтримує ізометричну, полярну і декартову систему координат (рис. А.2) – і зовнішній вигляд полотна можуть бути змінені користувачем. Пакет надає можливість одночасної роботи з двома полотнами.

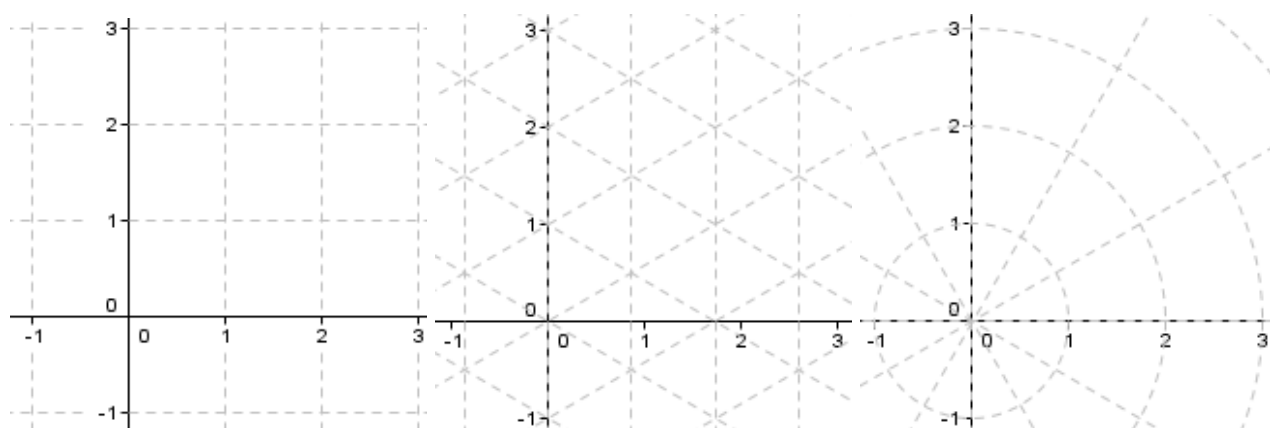


Рис. А.2. Декартова, ізометрична и полярна системи координат GeoGebra

Геометричні конструкції в графічному полотні можуть бути створені за допомогою інструментів побудови і миші. Всі побудови матимуть символічну інтерпретацію в панелі об'єктів. Також геометричні об'єкти можуть створюватися за допомогою введення в командний рядок формул і спеціальних команд та функцій.

Графічне полотно 3D GeoGebra (3D Graphics View)

Полотно 3D подібне полотну 2D за основними властивостями і принципами побудови об'єктів, а також має з ними безпосередній зв'язок. Всі створені на одному полотні об'єкти і конструкції будуть відображатися на іншому – геометричні фігури будуть мати аналоги на площині в тривимірному просторі і навпаки. Також полотно 3D має свій набір інструментів і команд.

Інструмент переміщення має два режими – переміщення по площині $xу$ і окремо по осі Oz (їх можна перемикає за допомогою миші або клавішами

PageUp і PageDown).

До функції переміщення полотна додана функція обертання креслення, що дозволяє спостерігати створені конструкції з різних ракурсів – це дає студентам можливість краще вивчити тривимірні об'єкти.

Протокол побудови

Протокол в GeoGebra – це таблиця, яка показує всі здійснені етапи побудови об'єкта і дозволяє покроково відтворити їх (рис. А.3). Протокол можна експортувати у вигляді web-сторінки.

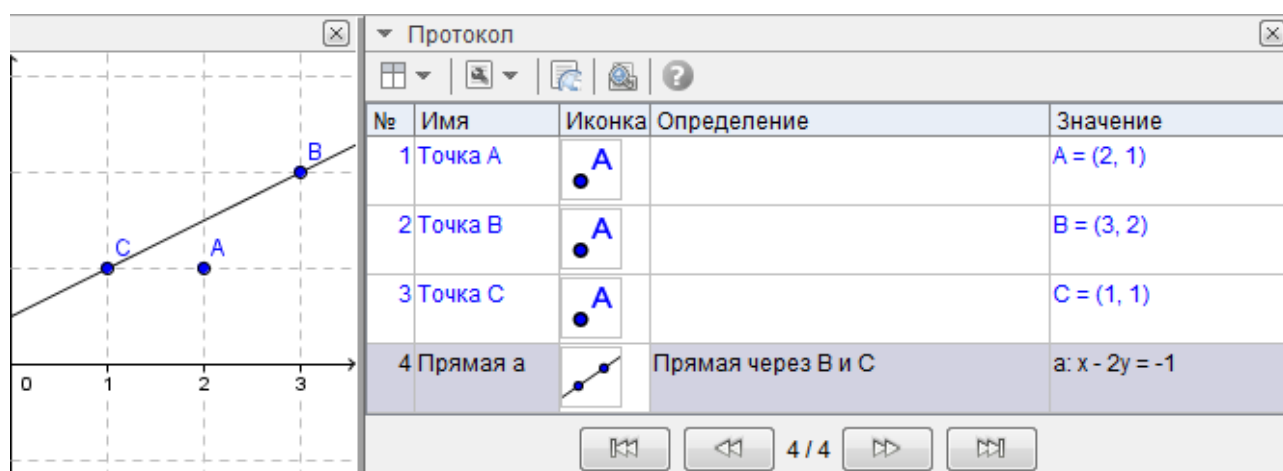


Рис. А.3. Протокол побудови у GeoGebra

Система комп'ютерної алгебри CAS GeoGebra


Система комп'ютерної алгебри (computer algebra system, CAS) – це прикладна програма для символічних обчислень, тобто для виконання перетворень та роботи з математичними виразами в аналітичній (символьній) формі

Сучасні системи комп'ютерної алгебри (як приклад можна навести системи Maple, MathCad, Maxima, Sage) розрізняються за можливостями, але зазвичай підтримують такі функції:

- спрощення виразів, приведення до стандартного вигляду;
- підстановка символічних і чисельних значень у вирази;
- зміна виду виразів: розкриття добутків і степенів, часткова і повна факторизація (розкладання на множники);

- розкладання на прості дроби, запис тригонометричних функцій, перетворення логічних виразів;
- диференціювання в часткових і повних похідних;
- знаходження невизначених і визначених інтегралів;
- рішення задач оптимізації: знаходження екстремумів;
- рішення лінійних і нелінійних рівнянь;
- знаходження границь функцій і послідовностей;
- інтегральні перетворення;
- дії над з рядами: підсумовування, множення, суперпозиція;
- матричні операції: звернення, факторизація, рішення задач;
- статистичні обчислення;
- експорт програмного коду.

Система комп'ютерної алгебри CAS GeoGebra (рис. А.4) дозволяє здійснювати символічні обчислення і підтримує вищевказані функції. Вид CAS GeoGebra являє собою комірки, кожна з яких має поле введення у верхній частині і вивід в нижній частині. Ці поля введення використовуються таким же чином, як звичайний рядок введення. До комірок CAS можна звернутися за допомогою статичних (вміст комірки в разі зміни вихідних даних не оновлюється) і динамічних посилань (у разі зміни даних, до яких здійснено звернення, вміст комірки змінюється відповідно). CAS має набір базових інструментів, які відображаються в панелі об'єктів при активному вікні CAS.

Індикатор  під номером кожного рядка введення CAS показує поточний стан видимості об'єкта, який в ній описується (у випадку, якщо об'єкт можливо відобразити). Наприклад, рівняння функції $g(x)=x^2$ буде відображено на графічному полотні у вигляді графіка параболи.

При введенні даних в комірки необхідно враховувати такі особливості:

- можна використовувати будь-які змінні, що не були раніше оголошені. Наприклад, вираз $(x+y)^2$ за допомогою формули скороченого множення автоматично зводиться до виду: $x^2+2*x*y+y^2$;
- будь-які змінні і функції після оголошення стають доступними для

обробки усіма компонентами GeoGebra. Щоб видалити змінну, необхідно використовувати команду Delete [ім'я];

– знак “=” використовується в рівняннях, а оператор присвоювання «:=» – для виконання операцій, наприклад, для оголошення змінної та присвоєння їй певного значення;

– всі операції мають бути описані детально, як в алгоритмічній мові. Наприклад, якщо командний рядок обробить обидва варіанти $a(b+c)$ і $a*(b+c)$ для операції множення, то в CAS є коректним лише другий, більш детальний запис.

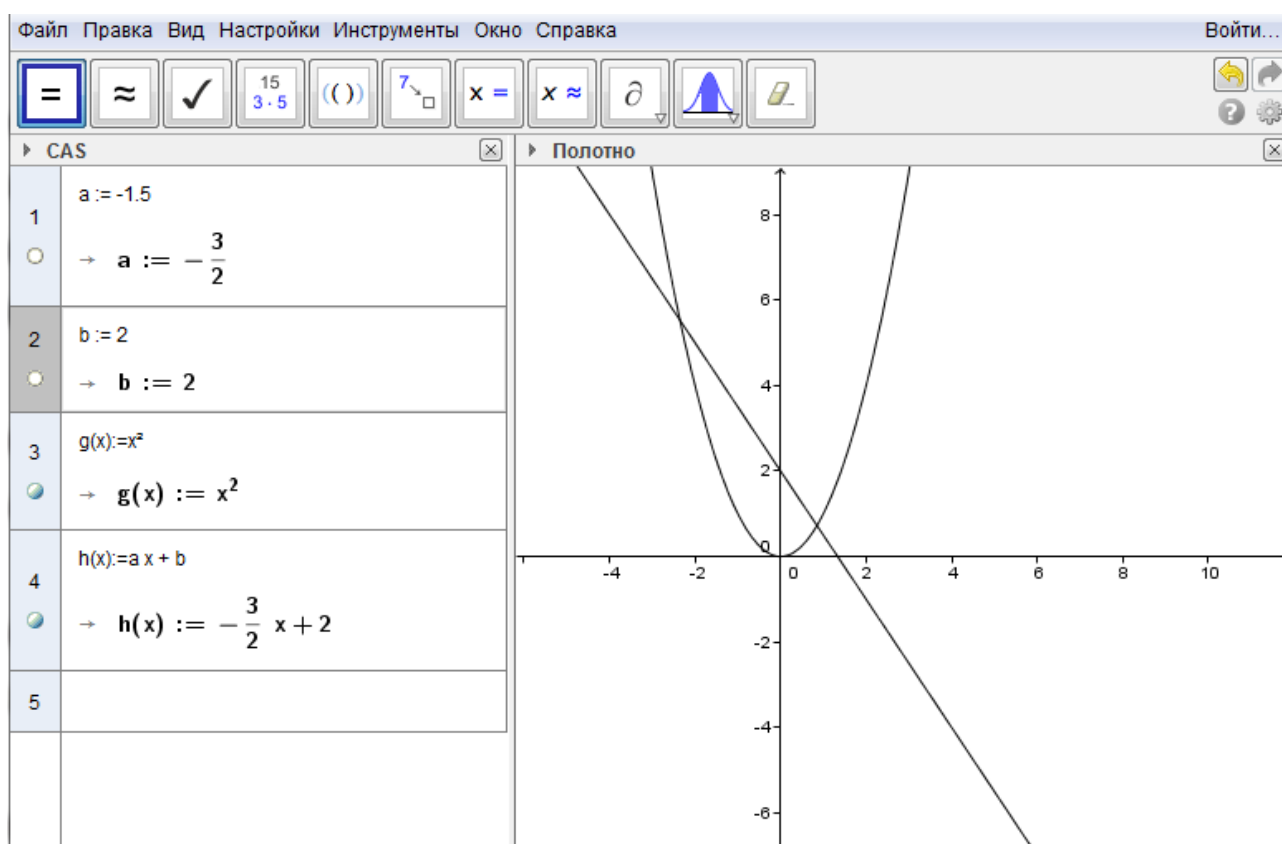


Рис. А.4. Фрагмент роботи у CAS GeoGebra

Компонент Таблиця GeoGebra

Принципи роботи компоненту *Таблиця* GeoGebra багато в чому подібні принципам роботи інших табличних редакторів, таких як Microsoft Excel. Кожна комірка має індивідуальне ім'я, яке може бути використане в формулах і командах всіх компонентів пакета. Також для роботи з таблицею є набір спеціальних команд, підтримується абсолютна та відносна адресація. В комірки

можуть бути введені не тільки числові значення, але й всі типи об'єктів GeoGebra, функції та команди.

Як і CAS, компонент *Таблиця* має свій набір базових інструментів, що відображається за активного вікна таблиці.

Наведемо список позначень та перелік інструментів GeoGebra, які будуть використовуватися в подальших побудовах, та їх стислий опис.

Додаток Б GeoGebra Book для підтримки «Практикуму з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіті»

Практикум створено з метою практичного опанування компонентів та вбудованих інструментів GeoGebra шляхом виконання покрокових побудов і навчальних досліджень (рис. Б.1). Слід також зауважити, що навчання проводиться на прикладах та моделях, які можна віднести до об'єктів математичного мистецтва, що дозволило авторам представити GeoGebra як потужний інструмент реалізації концепції STEM-освіти, з акцентом на STEAM.

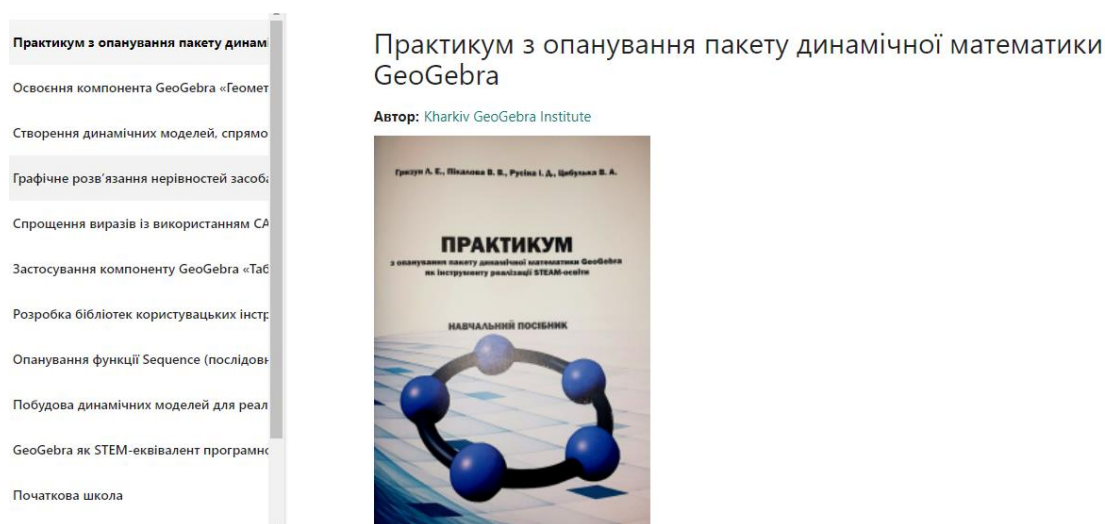


Рис. Б.1. GeoGebra Book для підтримки практикуму

Посилання на практикум: <https://www.geogebra.org/m/jjqf2vfk>

Кожен розділ практикуму має таку загальну структуру:

- 1) теоретичні відомості, загальна постановка задач на побудову;
- 2) покрокове розв'язання задач і таблиця побудови динамічного креслення, яка містить:
 - іконку інструменту GeoGebra, що використовується;
 - покроковий опис;
 - коментарі, примітки;
 - ілюстрації до побудови.

Після виконання покрокових побудов, як правило, пропонується провести навчальне дослідження, до якого надаються вказівки.

Файли GeoGebra з розробками всіх креслень доступні за посиланням <https://www.geogebra.org/m/jjqf2vfk>.

Загалом практикум охоплює десять розділів різноманітної тематики. Його може бути застосовано у процесі підготовки та перепідготовки вчителів природничо-математичних дисциплін, а також у позакласній роботі зі старшокласниками.

GeoGebraBook містить наступні розділи:

Освоєння компонента GeoGebra «Геометрія».

Освоєння компонента «Геометрія» спирається, насамперед, на знання законів Евклідової геометрії та на вміння працювати з базовими інструментами, тому до 1-го розділу були включені побудова найпростіших геометричних фігур за допомогою вбудованих інструментів GeoGebra, дослідження властивостей трикутника (теорема Морлея, чудові точки трикутника, точки Торрічеллі, точка Ферма), додаткові дослідження властивостей трикутника (пряма Ейлера, коло Ейлера, пряма Сімсона, педальний (подерний) трикутник).

Створення динамічних моделей, спрямованих на дослідження алгебраїчних функцій.

Вивчення властивостей функцій та їх графіків займає значне місце в шкільній математиці і в подальших курсах. Ця тема вивчається не тільки в курсах математичного та функціонального аналізу та в інших розділах вищої математики, але й у більшості вузько професійних предметів, наприклад, в економіці. У розділі виокремлені питання особливості використання командного рядка GeoGebra для побудови графіків функцій, загальної схеми побудови графіка функції в GeoGebra, розробки та застосування моделей для дослідження елементарних функцій (постійна функція, степенева функція, показникова функція, логарифмічна функція та тригонометричні функції), застосуванню алгебраїчного представлення об'єкту для опанування координатного методу.

Графічне розв'язання нерівностей засобами GeoGebra.

В цьому розділі розглянуто створення моделей для графічного рішення нерівностей та використання моделей для знаходження площі, обмеженої кривою, за допомогою інструменту «Інтеграл».

Спрощення виразів із використанням CAS GeoGebra (computer algebra system, система комп'ютерної алгебри).

Компонент GeoGebra CAS – зручний спосіб працювати зі складними рівняннями і многочленами.

Застосування компоненту GeoGebra «Таблиця» як додаткового формату представлення даних.

Розділ представлений побудовою кривої апроксимації для множини точок засобами компонента «Таблиці» GeoGebra та гомотетичним перетворення трикутників засобами компонента «Таблиці» GeoGebra.

Розробка бібліотек користувацьких інструментів на прикладі реалізації моделей неевклідової геометрії.

Неевклідова геометрія – в буквальному розумінні, будь-яка геометрична система, відмінна від геометрії Евкліда. Традиційно термін «неевклідова геометрія» відноситься тільки до двох геометричних систем: геометрії Лобачевського і сферичної геометрії. Геометрія Лобачевського (гіперболічна геометрія) – заснована на тих же постулатах, що і звичайна евклідова геометрія, за винятком аксіоми про паралельні прямі. Вона замінюється на аксіому про паралельні прямі Лобачевського. В цьому розділі розглянута модель паралельних прямих Лобачевського та заомощення площини Лобачевського правильними трикутниками.

Опанування функції Sequence (послідовність) для ітеративних побудов.

Спочатку зазначені теоретичні відомості про особливості застосування функції Sequence, потім застосування функції Sequence для ітераційного розбиття відрізка на задану кількість частин та ітераційні побудови на базі послідовності точок кола.

Побудова динамічних моделей для реалізації об'єктів математичного мистецтва.

Налаштування анімації та динамічних кольорів для реалізації моделі спірографа, побудова динамічної моделі циклоїди, дослідження на основі динамічних моделей окремих кривих та інверсні перетворення відносно кола представлені у даному розділі.

GeoGebra як STEM-еквівалент програмного забезпечення.

Пакет GeoGebra дозволяє активно підтримувати STEM діяльність, яка є напрямом в освіті, при якому в навчальних програмах посилюється природничо-науковий компонент та інноваційні технології. Розділ розкрито на прикладі проекту «Вишивка», група «Математики». Для реалізації були залученні попередні, базові розділи, такі як, освоєння компонента GeoGebra «Геометрія» та розділ опанування функції Sequence (послідовність) для ітераційних побудов.

Проаналізувавши традиційну українську вишивку та відповідну літературу, ми дійшли до таких висновків: орнамент складається з підорнаментів, підорнаменти діляться на рапорти, рапорт в свою чергу ділиться ще на менші частинки - мотив або мінімальний рисунок, мінімальний рисунок - це найменша частина рапорту, з допомогою якої, проводячи перетворення симетрії, будується рапорт. Симетрія виявляється яскраво в орнаментах. Вона служить основним прийомом при їх побудові. Виділяють такі види симетрії: відображення (симетрія відносно прямої, дзеркальна симетрія), поворот, паралельний перенос (трансляція), ковзне відображення. Всі ці геометричні перетворення можна реалізувати за допомогою існуючих інструментів геометричних перетворень пакету GeoGebra. Нами були розроблені інструменти (рапорти) та основа для побудови - динамічна канва. При допомозі інструментів геометричних перетворень можна відтворювати більш складні схеми для вишивання, приклади яких також представлені у цьому розділі.

Початкова школа.

До цього розділу були віднесені теоретичні відомості про дидактичні

функції пакету GeoGebra у підготовці майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін та приклади реалізації у GeoGebra завдань для школярів початкової школи, тренажери.

Доповнена реальність.

В цьому розділі описана інноваційна складова пакету GeoGebra, приклади використання. Також наявне відео нашої участі у 3D Modeling Challenges (<https://www.geogebra.org/m/ucxjxvrc>), який започаткував Т. Бржезінські (Tim Brzezinski).

GeoGebraBook «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra» містить в собі теоретичні відомості; задачі на побудову з покроковими інструкціями які реалізовані в GeoGebraBook як pdf файли, щоб їх можна було з легкістю скачати або роздрукувати на урок; аплети GeoGebra, які демонструють вже готові побудови та моделі; навчальні дослідження; відкриті питання та з варіантами відповідей, які перевіряються в онлайн режимі. Наявні також зображення, скріншоти та відео матеріали для наочності поданої інформації.

GeoGebraBook – це чудовий інструмент для організації та публікації онлайн добірки матеріалів з обраної теми. Для створення нової GeoGebraBook та для доопрацювання існуючої або запозиченої онлайн-книги, користувачу потрібно зайти на сайт [geogebra.org](https://www.geogebra.org) під існуючим акаунтом або створити його.

Обрати на лівій панелі «Профіль». Під шапкою профіля розташовано 3 іконки, натискаєте «Нова книга». Наступний крок – створення титульного аркуша, на якому потрібно вказати наступну інформацію: заголовок книги; мова; стислий опис (є необов'язковим); цільова група (вік); зазначити теги – ключові слова, що найкраще описують зміст книги в цілому та допомагають у пошуку (цю інформацію можна бути вдосконалити або змінити пізніше); встановити доступ, а саме обрати 1 із трьох запропонованих варіантів:

- для всіх – інші користувачі зможуть знаходити і переглядати цю книгу,
- хто має посилання – тільки користувачі, які мають посилання для перегляду цієї книги, вона не з'являтиметься у результатах пошуку інших

користувачів,

– приватний – інші користувачі не можуть переглядати книгу, вона не з'являтиметься в результатах їх пошуку.

Слід звернути увагу, що не має можливості додавати приватні матеріали до вільних або публічних книг. Кожен пункт титульного аркушу може бути змінено або відредаговано пізніше. Публікація офіційна, створюючи GeoGebra книгу користувач публікує власну роботу під Creative Commons: Attribution Share Alike ліцензією. У кінці сторінки буде кнопка «Завершити», натиснувши яку з'явиться вгорі повідомлення, що книга успішно створена. Перша сторінка, яку побачить автор, умовно поділена на 3 частини: додати розділи; додати розробку та переглянути книгу, вгорі під назвою книги ще 2 написи, зміст (зараз відкрита) та титульна сторінка (заповнювали на початку). Перейшовши на титульну сторінку можна не тільки редагувати, те що вже заповнили, а й додати зображення до обкладинки, воно є необов'язковим. Повертаючись до вкладки «Зміст», натиснувши «Додати розділи» буде запропоновано створити новий розділ чи обрати існуючий. Обираючи існуючий розділ, можна додавати не тільки свій, а й взяти розділ з чиеїсь книги, при цьому авторство зберігається. Пошук здійснюється по ключовим словам та тегам, які вказав автор чи користувачі. Якщо обирати, створити новий, то треба вказати назву та за бажанням опис, який також можна згодом змінити. Створивши потрібні розділи, доцільно переходити до другої візуально розділеної частини сторінки, а саме «Додати Розробку». В один розділ можна додавати декілька розробок. Розробку, як і розділ, можна створити нову або обрати по такому ж принципу існуючу, але тут вже можна і сортувати вибірку за актуальністю, коли була змінена розробка, шукати тільки в заголовку або за рейтингом. Натиснувши «Нова Розробка», відкривається сторінка Worksheet, на якій треба обов'язково вказати назву розробки «Заголовок» та безпосередньо наповнювати. Проблему наповнення вирішує 7 способів додання інформації до розробки.




Текст. Набір тексту з додаванням заголовку по бажанню.







Відео. Відео можна додати тільки за посиланням, тобто задалегідь

прийдеться викласти відео, наприклад, до YouTube чи скористатись вже викладеними. Додавання заголовку по бажанню.


 GeoGebra. Вставка GeoGebra аплету. Тут перед автором відкривається три можливості:


– знайти аплет – додати вже існуючий, пошук таким же чином по тегам, також можна сортувати вибірку за актуальністю, коли був змінений аплет, шукати тільки в заголовках або за рейтингом;


– завантажити аплет – вибрати файл з комп'ютера;


– створити аплет – створити в даний момент, для цього буде запропоновано на вибір додатки:  Графіки;  СКА;  Геометрія;  3D

Графіка;  Таблиця;  Ймовірність.

 Зображення. Обрати файл зображення на комп'ютері, вказати при необхідності заголовок та опис, ширину, висоту, та чи треба зберігати пропорції.

 Веб. Вказати URL та заголовок по бажанню.

 PDF Файл. Обрати PDF-файл на комп'ютері, вказати при необхідності заголовок.

 Питання. Буде запропоновано вказати заголовок по бажанню. Вказати безпосередньо питання. На цьому етапі можна натискати «Гаразд» і буде сформоване риторичне запитання. Можна вказати відповідь, але коли це якась фраза треба бути обережним, при перевірці ураховується тільки 100% збіг (розкладка клавіатури, реєстр, тощо). І третя варіація – це «Множинний вибір». Можна додавати стільки варіантів відповідей, скільки вам заманеться та позначати правильну відповідь, можна декілька. При відкритті книги як користувач буде питання та якщо автор вказував відповідь, то поле для вводу чи список для вибору варіанту, а нижче синя кнопка «Перевірити відповідь». Перевірка відбувається миттєво, участь автора книги ні на якому етапі перевірки не потребується. Статистику відповідей переглянути немає можливості, але те на скільки часто звертаються до вашої книги впливає на

рейтинг розробки.

Для кожної окремої розробки можна налаштувати, як і для всієї книги доступ (приватний, хто має посилання, для всіх) та теги. Наприклад, вже опублікована книга, та є потреба попрацювати над певною розробкою та відкрити доступ пізніше. Або викладені розділи є частиною реклами, а останні відкриваються по посиланню при оплаті курсу.

Зліва внизу є ще одна кнопка-стрілочка «Налаштування розробки», де можна вказати вік цільової групи, змінити зображення розробки, додати стислий опис та обрати мову.

По завершенню роботи слід натиснути внизу «Зберегти та закрити» або «Скасувати».

Справа зверху є панель: «Зберегти»; віконце у вигляді ока – перегляд матеріалу; поділитися цим проектом з друзями або колегами; і три крапки: поділитись; переглянути розробку; додати до книги (наприклад, до іншої своєї книги); копіювати розробку (розробка з'явиться у проектах у приватному доступі); докладніше (вся інформація по налаштуваннях і положеннях цієї розробки, тут можна також змінювати ці параметри та інші); завантажити; налаштування доступу; видалити.

Остання, третя візуально розділена частина сторінки створення GeoGebraBook, а саме «Переглянути Книгу» дає змогу переглянути книгу в тому вигляді, в якому її будуть бачити відвідувачі автора сторінки на GeoGebra.

Готову книгу можна не тільки скопіювати або поділитися посиланням на неї, а й скачати. Для цього при вході до книги у верхньому правому куті слід натиснути на 3 крапки, потім обрати «Деталі», у відкритому вікні справа буде кнопка «Завантажити». Натиснувши на неї впливе вікно, де слід поставити прапорець навпроти напису «Я згоден з умовами GeoGebra некомерційної ліцензії». Тоді стануть активні на вибір 2 опції:

- Оффлайн GeoGebraBook (.zip)
- Editable LaTeX version (.zip)

За таким же принципом можна скачувати не тільки книги, а й розділи, розробки або аплети.

Додаток В Вхідна анкета для перевірка сформованості мотиваційно-ціннісного критерію

Група _____

П.І.Б. _____

Дата заповнення _____

1. Зазначте чи вважаєте Ви за необхідне використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки вчителя:

Так, вважаю Ні, це не потрібно

2. Якщо так, то вкажіть з якою метою (якщо ні, то попустіть відповідь):

- Для подання нового матеріалу
- Для візуального супроводу розповіді вчителя
- Для демонстрації складно-засвоєваних моментів
- Для візуалізації складних математичних понять
- Для скорочення часу засвоєння навчального матеріалу
- Для швидкого та ефективного сприйняття навчального матеріалу
- Для зацікавлення учнів
- Для створення сприятливої атмосфери

3. Вкажіть судження щодо використання GeoGebra-моделей у процесі вивчення математики з якими Ви погоджуєтесь:

- це тільки відволікає учня від навчання;
- займає багато часу для підготовки, проте є мало ефективним;
- педагогу-професіоналу не потрібно залучати комп'ютерні моделі, а невмілому не допоможе;
- використання GeoGebra-моделей покращує засвоєння матеріалу;
- використання GeoGebra-моделей оптимізує освітній процес;
- інтерактивні GeoGebra-моделі добре запам'ятовується;
- використання пакету GeoGebra є додатковим навантаження на педагога, яке ніяк не враховується;
- використання пакету GeoGebra є ефективним проте матеріально не

заохочується.

4. Вкажіть чи відшукуєте Ви самостійно інноваційних інструменти для вивчення математики (презентації, математичні пакети, додатки, сайти тощо) для використання в освітньому процесі у школі:

- Так, постійно шукаю
 Так, час від часу здійснюю пошук
 Ні, мені це не потрібно

5. Вкажіть чи потрібно, на вашу думку, залучати студентів до проектної діяльності із використання пакету GeoGebra:

- Так, це є необхідним Ні, це не потрібно

6. Вкажіть чи вважаєте Ви за необхідне використовувати STEM-орієнтованих досліджень із використанням пакету GeoGebra:

- досягнення успіху школяра у навчанні;
 забезпечення кращого засвоєння математичного апарату;
 для розвитку критичного мислення школярів;
 для розвитку уяви учнів;
 не вважаю необхідним створювати.

7. Вкажіть чи вважаєте ви необхідним знайомитися із досвідом колег щодо створення та використання математичних моделей для реалізації STEM-проектів в освітньому процесі:

- Так, це є необхідним Ні, це не потрібно

8. Вкажіть чи використовуєте Ви веб-сайти методичного спрямування:

- Так, відвідую Ні, не відвідую

9. Якщо відвідуєте, то вкажіть які саме: _____

10. Оцініть, наскільки є необхідним саме для Вас вміння використовувати математичні додатки та модулі пакету GeoGebra в професійної діяльності (табл. В.1).

Таблиця В.1

Оцінка використання Вами математичних додатків GeoGebra

Математичні додатки / модулі GeoGebra <i>GeoGebra Apps / perspectives</i>	Я добре знаю/вмію	Я можу опанувати самостійно	Знаю додаток, але не вмію користуватися	Не знаю такого додатку	Цікаво опанувати	Не потрібно
 Науковий калькулятор <i>Scientific calculator</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Графічний калькулятор <i>Graphing Calculator</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Геометрія <i>Geometry</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 3D калькулятор <i>Geometry 3D</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Калькулятор СКА <i>CAS Calculator</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Колекція <i>GeoGebra Suite</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Класична GeoGebra <i>GeoGebra Classic</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Тестування <i>Exam Mode</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Таблиця <i>Spreadsheet</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Ймовірності <i>Probability</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Дякуємо за участь в опитуванні!

Додаток Г Діагностична карта для встановлення рівня сформованості кожного з показників практиологічного критерію

Таблиця Г.1

Діагностична карта для встановлення рівня сформованості кожного з показників практиологічного критерію

№	Студент	Запитання і завдання, відповіді на які свідчатимуть про рівень сформованості кожного з показників									Разом
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	

1. Сформулюйте мету запропонованого комп'ютерного дослідження.
2. Виділіть кроки даного комп'ютерного дослідження та їх послідовність.
3. Сформулюйте завдання кожного кроку дослідження.
4. Визначте набір базових компонентів GeoGebra, який забезпечить виконання запропонованого Вам дослідницького завдання.
5. Застосуйте обраний набір компонентів для виконання даного дослідження. Чи можливо оптимізувати цей набір?
6. Якщо необхідно, розробіть користувацький інструмент GeoGebra для розв'язання завдань дослідження і вкажіть його призначення.
7. Схарактеризуйте сенс отриманих результатів дослідження.
8. Зробіть аргументовані висновки із одержаних результатів.
9. Запропонуйте перспективний напрям подальшого дослідження.

За кожен правильну відповідь на запитання діагностичної карти студент міг отримати від 0 до 3 балів.

**Додаток Д Програма спостережень за зовнішніми проявами
показників метакогнітивного критерію та правила їх оцінювання**

Таблиця Д.1

**Програма спостережень за зовнішніми проявами показників
метакогнітивного критерію**

Показники, що виявляються в аудиторний час	Зовнішні прояви показників	Максимальна оцінка у балах
<i>Показники, які виявляються аудиторно</i>		
Запитання та їх характер	– спрямованість запитань на відтворення прослуханого навчального матеріалу;	1
	– спрямованість запитань на отримання інформації про основні елементи навчального матеріалу;	2
	– спрямованість запитань на поглиблення знань про сутність явищ, процесів, причинно-наслідкових зв'язків	3
Прагнення виявити знання	– шляхом відповіді;	1
	– шляхом розв'язання задачі біля дошки;	2
	– шляхом обґрунтованого зауваження щодо відповідей інших студентів; демонстрації оригінального методу рішення задач;	3
	– шляхом викладення або застосування знань з додаткових джерел	4
Відповідальність і сумлінність	– якість і регулярність виконання домашніх і аудиторних завдань	1
Ініціативність	– вибір пізнавальних завдань за власним бажанням	3
Активне оперування знаннями, свідомий вибір оптимальних шляхів рішення	– швидкість та правильність виконання поточних навчальних завдань	3
Стійкість пізнавального інтересу	постійних характер прояву пізнавальної активності;	1
Поведінка студента при зустрічі з утрудненнями	– припиняє виконувати завдання;	1
	– звертається за допомогою до викладача або одногрупників і продовжує виконання завдання;	2
	– продовжує спроби виконати завдання самостійно	3
<i>Показники, які виявляються у позааудиторний час</i>		
Знайомство з додатковою літературою	– регулярне;	2
	– епізодичне	1
Участь у факультативах, гуртках, студентських наукових спілках тощо	– регулярна, із задоволенням;	2
	– епізодична	1
Виконання за власним вибором та бажанням завдань у позаурочний час	– регулярне;	2
	– епізодичне	1

Якщо зовнішній прояв певного показника присутній у студента, то він отримує за нього максимальну можливу оцінку, якщо ні, то студент отримує 0 балів.

Форма фіксації результатів спостереження за розробленими показниками та шкалою вимірювання (бланк протоколу спостереження).

Протокол №__ педагогічного спостереження від _____

Група _____

Викладач _____

Тип заняття _____

Тема заняття _____

Мета спостереження _____

Таблиця Д.2

Правила оцінювання проявів критеріїв пізнавальної активності

Прізвище студента	Показники та їх прояви														
	Запитання та їх характер			Прагнення виявити знання				Відповідальність і сумлінність	Ініціативність	Активне оперування знаннями, свідомий вибір оптимальних шляхів рішення	Стійкість пізнавально-го інтересу	Поведінка студента при зустрічі з утрудненнями			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
				Оцінки в балах за прояви критеріїв пізнавальної активності											

Примітки:

- 1 – спрямованість запитань на відтворення набутих знань;
- 2 – спрямованість запитань на отримання інформації про основні елементи навчального матеріалу;
- 3 – спрямованість запитань на виявлення сутності явищ, процесів, причинно-наслідкових зв'язків;
- 4 – прагнення виявити знання шляхом відповіді;
- 5 – прагнення виявити знання шляхом розв'язання задачі біля дошки;

6 – прагнення виявити знання шляхом обґрунтованого зауваження щодо відповідей інших студентів, демонстрації оригінального рішення задачі;

7 – прагнення виявити знання шляхом викладення або застосування знань з додаткових джерел;

8 – якість і регулярність виконання домашніх і аудиторних завдань;

9 – вибір пізнавальних завдань за власним бажанням;

10 – швидкість та правильність виконання поточних навчальних завдань;

11 – епізодичний чи постійний характер прояву пізнавальної активності;

12 – припиняє виконувати завдання;

13 – звертається за допомогою до викладача або одногрупників і продовжує виконання завдання;

14 – продовжує спроби виконати завдання самостійно.

Додаток Е Список публікацій здобувача за темою дисертації

Список публікацій В.В. Пікалової за темою «Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Пікалова В. В. Відкриття геометрії засобами динамічної геометрії. Науковий часопис Нац. пед. ун-ту імені М. П. Драгоманова, Сер. 2, Вип. 4, 2001. С. 119 – 127.
2. Пікалова В. В. Підтримка навчальних досліджень у курсі геометрії засобами пакета DG. Комп'ютер у школі та сім'ї, 4(28), 2003. С. 34 – 40.
3. Пікалова В. В. Реалізація STEM-освіти в проєктній діяльності майбутнього вчителя математики. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*, Вип. 9, 2020. С. 95 – 103. DOI: 10.28925/2414-0325.2020.9.8
4. Пікалова В. В. Організація позааудиторної роботи майбутніх учителів математики в середовищі GeoGebra. Педагогічні науки, Вип. 92, 2020. С. 68 – 73.
5. Пікалова В. В. GeoGebra як інструмент упровадження STEM орієнтованих досліджень у практику підготовки майбутнього вчителя математики. Науковий часопис Нац. пед. ун-ту імені М. П. Драгоманова, Сер. 2, Вип. 22(29), 2020. С. 134 – 139.
6. Bilousova L. I., Gryzun L. E., Zhytienova N. V., Pikalova V. V. Search algorithms learning based on cognitive visualization. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2387, 2019. P. 472 – 478. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190472.pdf>. (*Scopus*)
7. Bauch M., Pikalova V. Exploring linear functions: representational relationships. International Journal Information Technologies and Knowledge, Vol. 1, 2007. P. 67 – 71.
8. Пикалова В. В. Сотрудничество с Международным институтом

GeoGebra как инструмент совершенствования математической подготовки будущего педагога. Образовательные технологии и общество, Том 16, 2013. С. 564 – 574. URL: http://ifets.ieee.org/russian/depository/v16_i1/html/12.htm.

9. Пікалова В. В., Токарева А. В. Шляхи інтеграції – створення та підтримка освітніх середовищ відкритого доступу в мережі Інтернет. V наук.-практ. конф. молодих учених «Методологія сучасних наукових досліджень», Харків, 2008. С. 92 – 93.

10. Pikalova V. Teaching and Exploring Geometry with GeoGebra. Proc. of the Intl. Conf. Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education, Univ. of South Bohemia, Hluboka nad Vltavou, Czechia, 2010. P. 31. URL: http://home.pf.jcu.cz/~cadgme2010/annotations/43_Valentyna_Pikalova.pdf.

11. Pikalova V. Discovering Steiner's Theorem with GeoGebra. Proc. of the Intl. Conf. GeoGebra, Warsaw, Poland, 2012. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/aVYvB97f>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

12. Пікалова В. В., Шерстюк В. М. Розробка відкритого он-лайн курсу Використання пакету динамічної математики GeoGebra у викладанні математики. III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми теорії і практики дистанційного і електронного образования», Ялта, 2014. С. 112 – 115.

13. Гризун Л. Е., Грудина Ю. О., Пікалова В. В. Розробка комплекту завдань у середовищі GeoGebra для підтримки вивчення функціональної змістової лінії у межах позакласної роботи з математики із старшокласниками. Науково-дослідна робота студентів як чинник удосконалення професійної підготовки майбутнього вчителя: зб. наук. пр. Харків: Харківський нац. пед. ун-т імені Г. С. Сковороди, Вип. 12, 2014. С. 53 – 59.

14. Пікалова В. В. Система підготовки майбутнього вчителя математики до використання пакету GeoGebra у майбутній професійній діяльності. VI Всеукр. конф. «Інформаційні технології в освіті», Мелітополь, 2014. С. 252 – 262.

15. Pikalova V. GeoGebra-Integrated Professional Development of Pre-service Math Teachers within Discrete Mathematics Course. Proc. of GeoGebra: Global Gathering Conf., Johannes Kepler University, Linz, Austria, 2015. URL: <https://www.GeoGebra.org/m/oz0TtfO8>.

16. Білоусова Л. І., Пікалова В. В., Столбов Д. В. Особливості використання пакету GeoGebra у системі підготовки майбутнього вчителя математики та інформатики. V Міжнар. наук.-практ. конф. «Математика. Інформаційні технології. Освіта», Луцьк, 2016. С. 119 – 120.

17. Pikalova V. Teaching and Learning Math Behind Computer Science with the Help of GeoGebra and Python. Web Proc. Sixth Central- and Eastern European Conf. Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education, Targu Mures, Romania, 2016. URL: <https://cadgme.ms.sapientia.ro/>.

18. Pikalova V. Play, Invent and Program with Python, GeoGebra, Makey Makey and App Inventor2. Proc. of East West Conf. on Mathematics Education (EWCOME 2017), Warsaw, Poland, 2017. P. 26 – 27.

19. Hrytsenko O., Pikalova V. & Rusina I. Using GeoGebra and Python in Modelling Ukrainian Embroidery. Proc. of East West Conf. on Mathematics Education (EWCOME 2018), Warsaw, Poland, 2018. P. 32 – 33.

20. Hrytsenko O., Pikalova V. & Rusina I. STEAM project: Exploring and Modelling Ukrainian Embroidery. Education Conf. “Gamification and Creativity in STEAM”, Johannes Kepler Univ., Linz, Austria, 2019. URL: <http://mintlinz.pbworks.com/w/page/129872385/Gamification%20and%20Creativity%20in%20STEAM%20Education%20Conference%3A%2017-18%20Jan%202019>.

21. Пікалова В. В. Використання СДМ GeoGebra у ракурсі STEM-освіти майбутніх вчителів. Наук.-практ. інтернет-конференція «Інформаційні технології в освітньому процесі», Чернігів, 2020. URL: <https://tvorchistd.blogspot.com/2020/11/2020.html>.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

22. Гризун Л. Е., Пікалова В. В., Русіна І. Д., Цибулька В. А. Практикум з

опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти: навч. посіб., Харків: ХНПУ імені Г.С. Сковороди, 2018. 80 с.

Додаток Ж Відомості про апробацію результатів дисертації

Таблиця Ж.1

Відомості про апробацію результатів дисертації В. В. Пікалової за темою «Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»

Назва заходу	Місце, установа, дата	Форма апробації
V науково-практична конференція молодих учених «Методологія сучасних наукових досліджень»	Харків, Харківський національний університет імені Г. С. Сковороди, 12 листопада 2008 р.	очна
Third Central- and Eastern European Conference on Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education	Глубока над Влтаву (Чехія), Університет Південної Чехії в Чеських Будейовицях, 29 червня – 1 липня 2010 р.	очна
International GeoGebra Institute conference 2012	Варшава (Польща), Університет соціальних та гуманітарних наук SWPS, 21-23 вересня 2012 р.	очна
VI Всеукраїнська науково-практична конференція «Інформаційні технології в освіті»	Мелітополь, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, 24-25 квітня 2014 р.	заочна
III конференція «Проблеми теорії і практики дистанційного і електронного образования»	Ялта, Кримський гуманітарний університет (г. Ялта), 21-25 мая 2014 г.	очна
GeoGebra: Global Gathering Conference	Лінц (Австрія), Університет Йоганнеса Кеплера JKU, 15-17 липня, 2015 р.	очна
Sixth Central- and Eastern European Conference Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education (CADGME 2016)	Тиргу-Муреш (Румунія), Угорський університет Трансильванії ла Сапієнтіа, 7-10 вересня, 2016 р.	очна
V Міжнародної науково практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта» (MITO-2016)	Луцьк, Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, 5-7 червня, 2016 р.	очна
East West Conference Mathematics Education (EWCOME 2017)	Варшава (Польща), Університет соціальних та гуманітарних наук SWPS, 24-26 серпня, 2017 р.	очна
East West Conference Mathematics Education (EWCOME 2018)	Варшава (Польща), Університет соціальних та гуманітарних наук SWPS, 22-23 вересня 2018 р.	очна
15 th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications	Херсон, Херсонський державний університет, 12-15 червня 2019 р.	очна
Education Conference «Gamification and Creativity in STEAM»	Лінц (Австрія), Університет Йоганнеса Кеплера JKU, 15-17 липня 2019 р.	очна
Науково-практична Інтернет-конференція «Інформаційні технології в освітньому процесі»	Чернігів, Чернігівський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти ім. К. Д. Ушинського, 14-20 грудня 2020 р.	заочна

**Додаток II Список закладів вищої освіти та установ, у яких
упроведжено результати дослідження**

1. Харківський національний педагогічний університет ім.
Г. С. Сковороди.
2. Криворізький державний педагогічний університет.
3. Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла
Коцюбинського.
4. Волинський національний університет імені Лесі Українки.
5. Чернігівський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти
імені К. Д. Ушинського.
6. Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут».

Додаток К Довідки про впровадження результатів дослідження



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(КДПУ)

пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, 50086, тел. (056) 470-13-34, факс (056) 470-13-68
E-mail : kdpu@kdpu.edu.ua, Код ЄДРПОУ 40787802

22 ЛЮТ 2021

№ 09/1-156/3

На № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дослідження В. В. Пікалової
«Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»
на кафедрі інформатики та прикладної математики
Криворізького державного педагогічного університету

Дисертаційне дослідження В. В. Пікалової виконувалось на кафедрі інформатики та прикладної математики й упроваджувалось у навчальний процес кафедри протягом 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 та 2019-2020 навчальних років. Упровадження здійснювалося шляхом модернізації освітньої програми підготовки студентів спеціальності 014 Середня освіта (математика), введенням дослідницького практикуму зі STEM-орієнтованих комп'ютерних досліджень у середовищі пакету GeoGebra. Були використані дидактичні та методичні матеріали, розроблені В.В. Пікаловою для проведення практикуму, а саме: навчальний посібник «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEAM-освіти» (у співавторстві), комплект дослідницьких завдань, хмарно-орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей GeoGebra Book, представлених на сайті geogebra.org. Крім того, були використані розроблені В. В. Пікаловою тематика STEAM-проектів, матеріали для проведення позааудиторних занять зі STEM-орієнтованого GeoGebra-модельовання. Викладачі кафедри відзначають, що дослідницький практикум, розроблений В. В. Пікаловою, заслуговує на широке впровадження у практику STEAM-підготовки майбутніх учителів.

000249

РЕКТОР



Я. В. ШРАМКО



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ імені Г.С. СКОВОРОДИвул. Алчевських, 29, м. Харків, 61002, тел. (057) 700-35-23, факс (057) 700-69-09
e-mail: rector@hnpu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02125585Від 10.12.2020 № 01/40-599

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Пікалової Валентини Валеріївнина тему «**Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики**» в освітній процес

Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди,

поданого на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук

зі спеціальності 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті

01 – Освіта/Педагогіка

Результати наукового пошуку Пікалової Валентини Валеріївни з теми «Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики» було впроваджено в освітній процес на фізико-математичному факультеті Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди впродовж 2015-2020 років.

Теоретичні та практичні здобутки наукового дослідження В.В. Пікалової знайшли своє відображення у процесі підготовки майбутніх учителів спеціальності «Середня освіта (математика)», а саме:

- у практичній реалізації запропонованих педагогічних умов використання пакету динамічної математики GeoGebra;
- у запровадженні розробленої автором спеціалізованої програми практики з інформаційних технологій для майбутніх учителів математики «Розробка STEM моделей у середовищі GeoGebra»;
- у використанні в освітньому процесі навчально-методичного посібника «Практикум з опанування динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEAM-освіти» (автори Л.Е. Гризун, В.В. Пікалова, І.Д. Русіна, В.А. Цибулька) і комплекта спеціально підготовлених В.В. Пікаловою навчальних моделей для проведення такого практикуму;
- у використанні розробленої автором тематики завдань з дослідження реальних об'єктів навколишнього світу засобами комп'ютерного моделювання у середовищі

GeoGebra для організації проектної та науково-дослідницької діяльності майбутніх викладачів математики.

Матеріали дисертації були використані в освітній діяльності студентів і викладачів, що дало змогу розширити можливості реалізації концепції STEM-освіти в практиці підготовки майбутнього вчителя математики.

Результати впровадження матеріалів дисертаційного дослідження В.В. Пікалової на тему «Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук зі спеціальності 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті, 01 – Освіта/Педагогіка, були обговорені на засіданні кафедри математики фізико-математичного факультету (протокол № 23 від 30 червня 2020 р.) й оцінені як такі, що є вагомими для педагогічної науки та практики і заслуговують на впровадження у практику підготовки майбутніх учителів математики у педагогічних закладах вищої освіти.

В.о. ректора
Харківського національного педагогічного
університету імені Г.С. Сковороди



Юрій БОЙЧУК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

просп. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, тел. (0332) 24-10-07, факс (0332) 72-01-23
 e-mail: post@vnu.edu.ua, web: http://www.vnu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02125102

28.01.2021 № 03-28/02/215 Г

на № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Пікалова Валентина Валеріївна

«Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»

(спеціальність 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті)

Результати дослідження Пікалової Валентини Валеріївни з теми «Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики» впроваджувались у практику професійної підготовки майбутніх учителів математики на факультеті інформаційних технологій і математики Волинського національного університету імені Лесі Українки впродовж 2018-2020 років.

Теоретичні та практичні здобутки наукового дослідження Пікалової В.В. були впроваджені в освітній процес шляхом використання:

- навчального посібника «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEAM-освіти»;
- системи спеціальних дослідницьких завдань для реалізації методики проведення STEM орієнтованих досліджень у середовищі пакету GeoGebra, що налічує загалом близько дев'яноста реалізованих навчальних моделей із підтримкою проведення досліджень;
- хмарно-орієнтованого комплексу міждисциплінарних моделей, зібраних у GeoGebra Book, та розташованих у вільному доступі на сайті geogebra.org.

Названі розробки було використано викладачами для проведення лекцій, практичних і лабораторних занять, організації самостійної роботи студентів, а також навчально-дослідницької діяльності.

Результати впровадження матеріалів дисертаційного дослідження Пікалової В.В. обговорювалися на засіданнях кафедри математичного аналізу та статистики (протокол № 5 від 16 грудня 2020 року), де отримали схвальну оцінку науковців. Здійснена апробація підтвердила актуальність дисертаційного дослідження Пікалової В.В., результати впровадження підтверджують їх теоретичну і практичну значущість, сприяють набуттю готовності майбутніми вчителями математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у майбутній професійній діяльності та створенню власних якісних дидактичних та методичних матеріалів. Основні теоретичні положення та практичні результати дисертаційного дослідження Пікалової В.В. заслуговують на подальше запровадження в освітню практику.

Проректор
з науково-педагогічної роботи
та інновацій

Завідувач кафедри
математичного аналізу та статистики



Ульянов В. О.

Мекуш О.Г.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 імені Михайла Коцюбинського

вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна, тел. (0432) 616-620, факс (0432) 612-812, E-mail: info@vspu.edu.ua код ЄДРПОУ 02125094

02.02.2021 № 06/05

на №

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Пікалової Валентини Валеріївни

«Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»
 (спеціальність 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті)

Результати дослідження Пікалової Валентини Валеріївни з теми «Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики» впроваджувались у практику професійної підготовки майбутніх учителів математики на факультеті математики, фізики, комп'ютерних наук і технологій Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського впродовж 2018-2020 років.

Наукові та методичні напрацювання Пікалової В.В. а саме, навчальний посібник «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEAM-освіти», розроблена система спеціальних дослідницьких завдань для реалізації методики проведення STEM орієнтованих досліджень у середовищі пакету GeoGebra, що налічує загалом близько дев'яноста реалізованих навчальних моделей із підтримкою проведення досліджень, а також хмарно-орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей, зібраних у GeoGebraBook, та розташованих у вільному доступі на сайті geogebra.org. Названі розробки було використано викладачами для проведення лекцій, практичних і лабораторних занять, організації самостійної роботи студентів, а також навчально-дослідницької діяльності.

Результати впровадження матеріалів дисертаційного дослідження Пікалової В.В. обговорювалися на засіданні кафедри математики та інформатики (протокол №10 від 13 січня 2021 року), де отримали схвальну оцінку науковців. Здійснена апробація підтвердила актуальність дисертаційного дослідження Пікалової В.В., результати впровадження підтверджують їх теоретичну і практичну значущість, сприяють набуттю готовності майбутніми вчителями математики до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у майбутній професійній діяльності та створенню власних якісних дидактичних та методичних матеріалів. Основні теоретичні положення та практичні результати дисертаційного дослідження Пікалової В.В. оцінені як такі, що є вагомими для педагогічної науки та практики й заслуговують на подальше запровадження в освітню практику.

Пікалова В.В. взяла участь у роботі двох Всеукраїнських науково-практичних конференцій «Математика та інформатика у вищій школі: виклики сучасності» (одна з них із міжнародною участю), що проводилися в травні 2017 та 2019 року на базі факультету математики, фізики, комп'ютерних наук і технологій Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

Проректор з наукової роботи

Свєн Громов (0432) 61-80-72



Алла КОЛОМІСЦЬ



Чернігівська обласна рада
Управління освіти і науки
Чернігівської обласної державної адміністрації

**ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ІНСТИТУТ
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ПЕДАГОГІЧНОЇ ОСВІТИ ІМЕНІ К.Д.УШИНСЬКОГО**

вул. Слобідська, 83, м. Чернігів, 14021, тел. (0462) 653-988,
e-mail: choippo.cg@gmail.com, сайт: choippo.edu.ua, код ЄДРПОУ 02139222

01.02.2021 № 20/91-13/88 на № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Пікалової Валентини Валеріївни

«Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»
(спеціальність 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті)

На кафедрі природничо-математичних дисциплін та інформаційно-комунікаційних технологій в освіті Чернігівського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти імені К.Д. Ушинського впродовж 2018-2020 років були апробовані і впроваджені в процес підвищення кваліфікації учителів математики результати дисертаційного дослідження В.В. Пікалової.

Методичні напрацювання здобувачки а саме, навчальний посібник «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEAM-освіти», система спеціальних дослідницьких завдань для реалізації методики проведення STEM орієнтованих досліджень у середовищі пакету GeoGebra, що налічує загалом близько дев'яноста реалізованих навчальних моделей із підтримкою проведення досліджень, а також хмарно-орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей, зібраних у GeoGebra Book, та розташованих у вільному доступі на сайті geogebra.org. Названі розробки було використано в процесі підвищення кваліфікації учителів математики.

Результати впровадження матеріалів дисертаційного дослідження В.В. Пікалової обговорювалися на засіданнях кафедри природничо-математичних дисциплін та інформаційно-комунікаційних технологій (протокол №5 від 05 січня 2021 року), де отримали схвальну оцінку. Здійснена апробація підтвердила актуальність дисертаційного дослідження здобувачки, результати впровадження підтверджують наукову і практичну значущість, надають вчителями математики методичні та дидактичні матеріали для використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у професійній діяльності, а також сприяють створенню додаткових дидактичних та методичних матеріалів та заслуговують на подальше впровадження в освітню практику.

Ректор



Анатолій ЗАЛІСЬКИЙ

Завідувач кафедри природничо-математичних дисциплін та ІКТ в освіті

Дмитро ПОКРИШЕНЬ

024675



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Україна, 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, тел.: +38(057) 707-66-00, факс: +38(057) 707-66-01
 E-mail: omsroot@kpi.kharkov.ua

01.02.2021 № 66-01-324/7

На № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Пікалової Валентини Валеріївни

«Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики»
 (спеціальність 13.00.10 – інформаційно-комунікаційні технології в освіті)

Результати дослідження Пікалової Валентини Валеріївни з теми «Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики» впроваджувались у практику освітнього процесу студентів спеціальності 113 «Прикладна математика» (спеціалізація «Інтелектуальний аналіз даних») факультету комп'ютерних наук і програмної інженерії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» впродовж 2018-2020 років.

Наукові та методичні напрацювання Пікалової В.В. представленні навчальним посібником «Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEAM-освіти», системою спеціальних дослідницьких завдань для реалізації методики проведення STEM орієнтованих досліджень у середовищі пакету GeoGebra, а також хмарно-орієнтований комплекс міждисциплінарних моделей, зібраних у GeoGebra Book.

Вищезгадані методико-дидактичні матеріали дослідження були апробовані в учбовому процесі першого курсу спеціальності 113 «Прикладна математика» (спеціалізація «Інтелектуальний аналіз даних») в дисциплінах: математична логіка, математичний аналіз, лінійна алгебра та дискретна математика.

Результати впровадження матеріалів дисертаційного дослідження Пікалової В.В. обговорювалися на засіданнях науково-методичного семінару кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних, де отримали позитивну оцінку як такі, що сприяють підтримці професійної діяльності математика, розробці та дослідженню математичних моделей, візуалізації даних, проведенню розрахунків; організації та підтримці проектної діяльності студентів та заохочують студентів та викладачів до використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у власній професійній діяльності та заслуговують на подальше запровадження в освітню практику.

Розглянуто та затверджено на засіданні кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних (протокол № 5 від 04.01.2021).

Проректор з науково-педагогічної роботи

Руслан МИГУЩЕНКО

Завідувач кафедри КМАД

Олена АХІСЗЕР

