

УДК [378:37.011.3-051]:[51+004]

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2024-2-10>

«МАТЕМАТИКА В STEM-ПРОЕКТАХ» ЯК ВИБІРКОВА ДИСЦИПЛІНА У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ

Крамаренко Тетяна Григорівна,

кандидат педагогічних наук, доцент,

доцент кафедри математики та методики її навчання

Криворізького державного педагогічного університету

ORCID ID: 0000-0003-2125-2242

Scopus-Author ID: 57214945934

Підготовка майбутніх фахівців з питань STEM-навчання, практичні напрями реалізації STEM-освіти є актуальною проблемою. Об'єкт дослідження – професійна підготовка студентів закладів вищої педагогічної освіти. Мета дослідження – формування STEM-компетентностей здобувачів вищої освіти через впровадження інтегрованих курсів. У статті проаналізовано діючі модельні навчальні програми міжгалузевих STEM-курсів для закладів загальної середньої освіти, виділено можливості використання існуючих STEM-технологій у навчанні математики. Охарактеризовано змістове наповнення для вибіркової навчальної дисципліни «Математика в STEM-проектах», доцільні методи, засоби та форми роботи. Представлено результати впровадження розробленого методичного забезпечення. У процесі навчання математики співпрацювали студенти спеціальностей 016.01 Спеціальна освіта (Логопедія); 014.04 Середня освіта (Математика), додаткова Інформатика; 242 Туризм та рекреація. У статті зазначено переваги та проблеми сумісного навчання математики студентів різних спеціальностей. За результатами навчання і проведеного анкетування підтверджено гіпотезу про підвищення рівня сформованості STEM-компетентностей студентів. У навчанні важливо забезпечувати мотивування та стимулювання здобувачів освіти до навчально-пізнавальної та дослідницької діяльності, впровадження STEM-проектів у навчанні, застосування ІКТ для забезпечення наочності та дослідницької спрямованості навчання математики, використання індивідуального та групового коучингу. У ході навчання слід дотримуватися принципів науковості та доступності, розвитку, інтеграції, пізнавальної активності, індивідуальності, дослідницької та практичної спрямованості, взаємозв'язків теорії та практики, самостійності та активності, інтерактивності, усвідомленості.

Ключові слова: STEM-освіта, навчання математики, підготовка майбутніх учителів, цифрові технології, проектна діяльність, інтегрований курс, вибіркова дисципліна.

Kramarenko Tetiana. «Mathematics in STEM projects» as an elective discipline in the training of future teachers

Training of future specialists in STEM education, practical directions of STEM education implementation is an urgent problem. The object of the study is the professional training of students of higher pedagogical education institutions. The purpose of the study is the practical implementation of the formation of STEM competencies of higher education students through the introduction of integrated courses. The article analyzes the existing model curricula of interdisciplinary STEM courses for general secondary education institutions, highlights the possibilities of using existing STEM technologies in teaching mathematics. The content for the elective discipline “Mathematics in STEM projects”, appropriate methods, means and forms of work are characterized. The results of the implementation of the developed methodological support are presented. Students majoring in 016.01 Special Education (Speech Therapy); 014.04 Secondary Education (Mathematics), Additional Informatics; 242 Tourism and Recreation collaborated in the process of teaching mathematics. The advantages and problems of joint teaching of mathematics to students of different specialties are outlined in the article. Based on the results of the training and the survey, the hypothesis of increasing the level of students' STEM competencies was confirmed. In teaching, it is important to motivate and stimulate students to engage in educational, cognitive, and research activities, implement STEM projects in teaching, use ICT to ensure visibility and research orientation of mathematics teaching, and use individual and group coaching. In the course of training, the principles of scientificity and accessibility, development, integration, cognitive activity, individuality, research and practical orientation, interconnections between theory and practice, independence and activity, interactivity, and awareness should be followed.

Key words: STEM education, mathematics teaching, future teachers' training, digital technologies, project activities, integrated course, elective discipline.

Вступ. STEM-освіта є одним із найважливіших напрямів реформування освіти в Україні. Завдяки розвитку в молоді STEM-компетентностей можна подолати відставання між освітою і вимогами сучасного життя. На актуалізацію STEM-освіти значний вплив справляє як соціальне замовлення на підготовку висококваліфікованих STEM-фахівців, так і розвиток інформаційно-комунікаційних та STEM-технологій, у тому числі на вивчення математики як одного з найважливіших складників STEM-освіти. Важливо здійснювати пошук інноваційних методик, що сприятиме формуванню особистості, здатної до розв'язування комплексних завдань.

В Україні успішно пройшли апробацію модельні навчальні програми «Робототехніка. 5–6 класи», «STEM. 5–6 класи (міжгалузевий інтегрований курс). У серпні 2024 року набули чинності модельні навчальні програми міжгалузевих курсів «STEM. 7–9 класи», «STEM. 5–9 класи» для закладів загальної середньої освіти [1].

Провідниками STEM-технологій у підготовці молоді є учителі закладів середньої освіти та викладачі вищої школи. На сьогодні недостатньо розроблено та впроваджується курсів з підготовки STEM-фахівців, дискусійним є їх змістове наповнення. Тому проблема підготовки відповідних педагогічних кадрів є актуальною. Мотивування та стимулювання студентів до навчально-пізнавальної та дослідницької діяльності у навчанні математики, впровадження STEM-проектів, використання цифрових технологій розглядаємо як важливі умови в контексті проблеми формування STEM-компетентностей фахівців.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблеми підготовки майбутніх учителів, концептуальні засади та практичні напрями реалізації STEM-освіти висвітлювали Н. Балик, О. Барна, Г. Шмигер, В. Олексюк [2]. Подано модель професійної підготовки вчителів на основі розвитку STEM-компетентностей.

Т. Засекіна, І. Василяшко та О. Коршунова [3] презентують освітню програму підвищення кваліфікації педагогічних працівників «STEM-школа: організація освітнього процесу в системі інтегрованого навчання». У результаті її опанування слухачі можуть удосконалити уміння організувати освітній процес відповідно до вимог законодавчих актів у сфері базової середньої освіти, концептуальних засад НУШ в умовах запровадження STEM-освіти; використовувати STEM-підходи для організації сучасного освітнього процесу в умовах змішаного навчання; розробляти та реалізувати практико-орієнтовані STEM-проекти, інтегровані уроки, заняття; аналізувати, розробляти (добирати) та використовувати інтегровані компетентнісно-орієнтовані STEM-завдання; розвивати м'які навички та навички мислення високого рівня.

Питання складників STEM-компетентностей висвітлюють Н. Морзе та О. Струтинська [4], Л. Гриневич, М. Шишкіна та інші науковці. STEM-компетентності студентів трактують як інтегроване особистісне утворення, що проявляється у сформованості його складових: математичної компетентності; інформаційно-комунікаційної компетентності; базових компетентностей в галузях природознавства і техніки; проектно-технологічної компетентності; м'яких навичок. STEM-компетентності характеризують як динамічну систему знань і умінь, навичок і способу мислення, цінностей і особистісних якостей, які визначають здатність до інноваційної діяльності. Виокремлення складників STEM-компетентностей важливе в контексті моніторингу їх удосконалення.

Практика впровадження STEM-навчання представлена в [5; 6; 7] та ін. Ю. Ботузова розглядає особливості використання STEM-технологій у навчанні математики [8]. Акцент зроблено на впровадженні проектів, проведенні інтегрованих уроків, використанні прикладних задач і цифрових технологій.

Для впровадження модельних навчальних програм міжгалузевих курсів «STEM. 7–9 класи», «STEM. 5–9 класи» для закладів загальної середньої освіти [1] важливе їх змістове наповнення, розробка навчально-методичного забезпечення, підготовка відповідних фахівців.

Т. Засекіна, О. Коршунова, І. Василяшко акцентують увагу на системному розвитку чотирьох змістових ліній: «Штучний інтелект», «Енергія. Рух», «Технічні рішення», «Екологія.

Системи». Авторський колектив О. Бутурліна та ін. для 7–9 класів пропонують реалізацію 5 модулів, що відповідають змістовим лініям: «Людина – людина», «Людина – техніка», «Людина – природа», «Людина – знак», «Людина – образ». Блок математики у зазначених вище програмах авторами не виокремлюється, її застосування є наскрізним.

У модельній програмі колективу Ф. Левченко та ін. у кожному STEM-модулі зінтегровано зміст і вимоги до очікуваних результатів за змістовими лініями (потреби суспільства і сталий розвиток; здоров'я і особистісний розвиток; екосистеми і вплив людини на довкілля) та за провідним складником STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). З математики у 5-му класі робиться акцент на мистецтво, у 6-му – побут, 7-й – бізнес, 8-й – професійна діяльність, 9-й – природа.

В процесі навчання у здобувачів освіти буде розвиватися низка ключових компетентностей, зокрема математична, компетентності в галузі природничих наук, техніки і технологій, інноваційність, інформаційно-комунікаційна компетентність, підприємливість, фінансова грамотність та ін. Інтегрований курс не може бути заміненим ніяким окремо взятим шкільним навчальним предметом, але окремі STEM-модулі можуть вивчатися у різних предметах.

Актуальні проблеми STEM-освіти, технологічні карти розробки STEM-проектів знайшли відображення у розробці авторського колективу Н. Поліхун, К. Постової, І. Сліпухіної, Г. Онопченко та О. Онопченко [9]. Зразки поданих технологічних карт використовувалися нами у розробленому методичному забезпеченні для вибіркової дисципліни «Математика в STEM-проектах».

Системи динамічної математики, зокрема GeoGebra, як engineering-інструменти STEM-навчання розглядають В. Пікалова [10], О. Семеніхіна, М. Друшляк. Доцільні результати використання GeoGebra представлено для впровадження STEAM-проектів [11]. Нами висвітлювалась окреслена проблема у розробленому методичному забезпеченні для вибіркової дисципліни [7].

Як зазначають Н. Шақун, О. Зівенко, І. Сальник [12], найважливішими інтерактивними елементами STEAM-освіти є технології доповненої та віртуальної реальності, робототехніка, використання матеріалів, надрукованих 3D принтерами тощо. Актуальними методиками, які використовують викладачі під час навчання, є робота з проектами, актуалізація дослідницького методу, кооперативного та «перевернутого» навчання.

Розглядаючи формування складових елементів STEM-компетентності учнів під час вивчення фізики засобами цифрових технологій, Н. Донець, І. Донець, О. Трифонова значну увагу приділяють опрацюванню експериментальних даних, їх візуалізації методами математики. Зокрема статистичного аналізу даних, їх інтерпретації [13, с. 22–21].

Однак, проблема підготовки майбутніх учителів, зокрема математики, здатних до впровадження STEM-підходів у навчанні учнів, набуття здобувачами освіти STEM-компетентностей потребує подальших досліджень.

Метою даної статті є аналіз діючих модельних навчальних програм міжгалузевих STEM-курсів для закладів ЗСО, виділення можливостей використання існуючих STEM-технологій у навчанні математики, висвітлення практичної реалізації формування STEM-компетентностей здобувачів вищої освіти, результатів упровадження розробленого навчально-методичного забезпечення для вибіркової дисципліни «Математика в STEM-проектах».

Матеріали та метод. Під час дослідження окресленої проблеми було використано методи, серед яких аналіз науково-методичної літератури та практики впровадження STEM-навчання, синтез провідних ідей та формулювання власних, спостереження за особливостями навчального процесу, виявлення методичних особливостей реалізації STEM-підходів при підготовці майбутніх учителів у навчанні математики, анкетування здобувачів освіти, узагальнення досвіду, формулювання висновків.

Результати. В основі STEM-підходу лежить проєктна форма організації освітнього процесу, під час якого здобувачі освіти об'єднуються у групи для спільного вирішення практичних навчальних завдань, результат вирішення яких може бути використаний для реальних потреб; міжпредметний характер навчання; охоплення дисциплін природничого циклу, математики, сучасних технологій, інженерних дисциплін чи мистецтва.

Здійснюючи аналіз науково-методичної літератури, практики впровадження STEM-навчання, встановили, що найдоцільнішими для підготовки фахівців з питання використання математики є наступні напрями:

- реалізація елементів STEM-освіти в умовах сучасного освітнього процесу; основні концепції, психолого-педагогічні аспекти використання математики у STEM (STEAM) навчанні;
- мейкерство як інноваційний підхід впровадження STEM;
- базові засади створення і упровадження STEM-проєктів, проведення STEM-уроків, використання цифрових технологій для підтримки навчального процесу;
- застосування методів математичного моделювання у STEM-навчанні;
- використання прикладних задач, міжпредметних зв'язків математики з фізикою, хімією, інформатикою, біологією, лінгвістикою тощо;
- фінансова математика і підприємництво у STEM-навчанні;
- використання систем динамічної математики, спеціалізованих математичних додатків для мобільних телефонів, додатків доповненої та віртуальної реальності як інструментів STEM-навчання;
- висвітлення алгоритмів використання математики в робототехніці;
- використання штучного інтелекту у навчанні математики;
- наукові засади опрацювання експериментальних даних (вибірковий метод, пошук кореляційних та регресійних залежностей) тощо.

Низку питань із зазначених певною мірою висвітлено в джерелах [7; 8; 9; 10]. У навчанні доцільно використовувати як посібники з проблем впровадження STEM, так і підручники для шкільного курсу математики, збірники практико-орієнтованих задач, зокрема [13]. Для візуалізації абстракцій варто послуговуватися наочностями системи динамічної математики GeoGebra.

Навчальна дисципліна «Математика в STEM-проєктах» є дисципліною вільного вибору студента, доступною для всіх здобувачів вищої освіти. Для її успішного опанування необхідна наявність базових знань з шкільного курсу математики, навичок використання ІКТ. Навчальну дисципліну можуть обирати студенти різних спеціальностей, тому необхідно забезпечувати інтеграцію навчання, створюючи умови для співпраці, застосування набутих знань з різних спеціальностей. З іншого боку, вираженою є потреба і в індивідуалізації навчання, підготовці до майбутньої роботи з різними групами здобувачів освіти. Тому значну увагу у навчанні доцільно приділити використанню прикладних задач, реалізації міжпредметних зв'язків математики з фізикою, хімією, інформатикою, географією тощо.

Зазначену навчальну дисципліну обирали майбутні логопеди (016.01 Спеціальна освіта (Логопедія)), окремі майбутні учителі математики та інформатики (014.04 Середня освіта (Математика), додаткова Інформатика) і студенти спеціальності 242 Туризм та рекреація. При об'єднанні для вивчення дисципліни студентів неспоріднених спеціальностей важливо зважено підходити як до добору змісту навчання, так і пропонованих методів, засобів та форм навчання. Враховуючи, що характерною рисою STEM є міждисциплінарний і трансдисциплінарний підхід, важлива інтеграція в навчанні. Особливо під час розробки міждисциплінарних проєктів. З іншого боку, майбутні фахівці намагаються розробити таке методичне забезпечення, яке з максимальною користю зможуть використати у майбутній професії. Тому властива і диференціація навчання.

У зв'язку з тим, що зазначену дисципліну обрало багато студентів спеціальності «Туризм», то значну увагу було приділено математичним алгоритмам вимірювання на місцевості. Зокрема, через застосування теореми синусів та косинусів, подібності фігур, у тому числі й трикутників тощо [7]. Чимало подібних завдань знайшли відображення у підручниках геометрії для закладів середньої освіти, збірниках практико-орієнтованих завдань.

Доцільними стали використання додатків для мобільних телефонів для вимірювання віддаленості об'єктів, їх висоти, ширини; вимірювання кутів за вертикаллю та по горизонталі. Наприклад, такі додатки як «Altimetr», «Ruler», «Protractor» та ін. У нагоді можуть стати наближені методи вимірювання на місцевості, зокрема за відрізками на місцевості, за видимістю предмета, вимірювання кроками, за швидкістю руху тощо.

Зважаючи на те, що однією з успішних умов реалізації STEM-освіти є проєктна діяльність, доцільно висвітлювати організаційно-методичні аспекти планування STEM-проєктів. З цією метою доречно розробляти технологічні карти проєктів. Для студентів зазначених спеціальностей одними із доцільних стала розробка проєктів виїзних математичних таборів, таборів відпочинку з передбаченням створення простору мейкерства, зокрема, для осіб з інклюзією. На сьогодні це реальна проблема, до вирішення якої доцільно долучатися молоді. Рекомендовано обрати доцільну локацію, скласти відповідний кошторис, розробити програму відпочинку та навчання, дібрати дослідницькі завдання з математики для учнів, запропонувавши для їх вирішення засоби цифрових технологій. Одним із об'єднуючих напрямів для усіх груп розглядається мейкерство як інноваційний підхід впровадження STEM.

Навіть при наявності спільної ідеї, яку можна розвивати студентам зазначених спеціальностей, виявили низку проблем для організації спільної роботи над проєктами. Насамперед, студенти потребували різного рівня складності математичного матеріалу. Наприклад, майбутні логопеди працюють здебільшого з дітьми дошкільного віку та початкової школи. Майбутні учителі математики були зорієнтовані на математику, яку вивчають в основній та у старшій школі. «Туристів» більше цікавили нескладні математичні обчислення, які зустрічаються людям у побутових ситуаціях під час подорожі.

Значну увагу під час навчання приділено питанням фінансової математики, зокрема математиці кредиту та підприємництву у STEM-навчанні. Оскільки саме такі завдання часто виникають на етапах розробки та впровадження проєктів. Тому студентам по можливості рекомендувалося передбачати виконання таких завдань під час розробки міжгрупового проєкту чи проєктів у парах. Зокрема, складання кошторису подорожі, питання придбання у кредит певного спорядження, інструментів тощо.

Для підготовки майбутніх STEM-учителів доцільно задіяти діяльнісні середовища професійного призначення, зокрема програмні засоби навчання математики. Їх доцільне використання в освітньому процесі сприяє реалізації педагогічних ідей. Для успішного подальшого упровадження STEM-навчання майбутнім учителям необхідно опанувати технологію розв'язування математичних задач з використанням засобів сучасних інформаційних технологій, зокрема системи динамічної математики. Система динамічної математики GeoGebra і спеціалізовані математичні додатки для мобільних телефонів, а також додатки доповненої реальності розглядалися нами як важливі engineering-інструменти STEM-навчання.

Виконуючи розробку інтегрованих STEM-уроків в парах, студенти однієї спеціальності могли більше пристосуватися до вікової категорії учнів чи дошкільнят, з якими вони працюватимуть. Зокрема, студенти спеціальності «Логопедія». Вони пропонували розробки проведення конкурсів малюнків, виконаних за допомогою Paint чи GeoGebra, створення аплікацій, орігамі тощо.

Студенти спеціальності «Математика» пропонували розробки STEAM-уроків, які можна запропонувати учням при вивченні геометричних перетворень на площині, побудові малюнків

графіками функцій. Висвітлювали можливості використання штучного інтелекту для генерування малюнків та розробки презентацій, генерування прикладних задач до теми.

Значну увагу приділили у навчанні використанню стохастичності у STEM, науковим засадам опрацювання експериментальних даних. Зокрема, побудові частотних таблиць за зібраними даними, гістограм, складанню рівняння регресії з використанням таблиць Google та GeoGebra.

Симуляції та віртуальні лабораторії надають здобувачам освіти можливість експериментувати, вивчати та візуалізувати природничо-математичні концепції. Особливо такі інструменти доцільно використовувати при впровадженні STEM-підходів у навчанні. Серед популярних платформ відзначаємо PhET Interactive Simulations та GoLab, що мають інтерактивний інтерфейс та надають велику кількість безкоштовних симуляцій з фізики, хімії, біології та математики, включаючи ігрові елементи. Зокрема, здобувачі освіти можуть ознайомитися із симуляціями для очистки води у домашніх умовах чи під час походу, визначати час за довжиною тині тощо.

Для формувального оцінювання у процесі навчання доцільно використовувати такі застосунки як WordWall, Kahoot, LearningApps, Mentimeter та інші. При цьому залучати здобувачів освіти створювати їх для майбутніх учнів відповідно до розроблюваних проєктів чи інтегрованих STEM-уроків. Використовуючи зазначені застосунки, можна створювати дидактичні ігри з питань та відповідей з акцентуацією на індивідуальному темпі навчання.

У результаті успішного вивчення навчальної дисципліни студенти повинні удосконалити вміння використовувати ІКТ для підготовки, супроводу, аналізу, коригування навчального процесу; поєднувати традиційні методичні системи навчання із інноваційними інформаційно-комунікаційними технологіями. Здобувачі освіти повинні використовувати веб-ресурси, розробляти і впроваджувати STEM-проєкти, зокрема, у навчанні математики. Важливо вчитися використовувати у навчанні міжпредметні зв'язки математики з іншими навчальними дисциплінами; добирати раціональні методи і засоби навчання, враховуючи індивідуальні особливості учнів, їх нахили і здібності. Актуально на основі розуміння сутності неформалізованих, творчих компонентів мислення учня здійснювати постановку проблеми і добір потрібних операцій з використанням ІКТ, що приводять до її розв'язування.

За результатами анонімного опитування понад 77% учасників курсу відповіли, їхні очікування від вибору навчальної дисципліни "Математика в STEM-проєктах" «справдилися в повній мірі» і «швидше справдилися». Понад 60% студентів оцінили зростання рівня власних компетентностей з проблем STEM-навчання наприкінці вивчення курсу у порівнянні з тим, який фіксували до початку вивчення навчальної дисципліни.

Відповіді на питання «Що саме з розглянутого зможете використати у майбутній професії?» значно різнилися. Від «складно для застосування» до практичних рекомендацій. Зокрема, відзначали вміння розробляти STEM-проєкт, технологічну карту проєкту, використовувати мобільні додатки для певних математичних обчислень, удосконалювати розробки маршрутів тощо.

Студенти спеціальності «Логопедія» відзначали, що логопед може використовувати математичні та STEM-завдання, щоб допомогти дітям з дислексією розвинути навички читання та письма, розвивати у них логічне мислення, яке є важливим для розвитку мовлення. Можна мотивувати дітей до навчання через впровадження STEM-проєктів, щоб зробити навчання більш цікавим та захоплюючим для них.

До переваг того, що в групу входили студенти різних спеціальностей, віднесли можливість спілкувались між собою та переймати досвід та знання з різних тем і навчальних дисциплін. Щоб тему можна було розглянути ґрунтовніше і з різних точок зору, є можливість доповнювати один одного, розвивати навички роботи в команді, налагоджувати зв'язок з іншими людьми та шукати компроміси при обговоренні варіантів виконання і прийнятті рішень.

До проблемних моментів можна віднести труднощі онлайн-комунікації зі студентами різних факультетів, різний рівень зацікавленості у вивченні математики для різних вікових категорій тощо.

Висновки. У процесі навчання важливо мотивування та стимулювання здобувачів освіти до навчально-пізнавальної та дослідницької діяльності у навчанні математики через залучення до співпраці. Щоб визначити, що мотивує студентів до вивчення математики, що вони знають про STEM-навчання, про використання ІКТ у навчанні математики, доцільно проводити анкетування.

Впровадження STEM-освіти може відбуватися шляхом залучення студентів до самостійної дослідницької діяльності, інтеграції тем з різних навчальних дисциплін, реалізації міжпредметних проєктів, наукових «пікніків», днів та тижнів науки, STEM-фестивалів тощо. Застосування ІКТ для забезпечення наочності та дослідницької спрямованості навчання математики сприятиме формуванню STEM-компетентностей студентів.

Важливою умовою успішного STEM-навчання є упровадження STEM-проєктів. У процесі навчання слід дотримуватися принципів науковості та доступності, розвитку, інтеграції, пізнавальної активності, індивідуальності, дослідницької та практичної спрямованості, взаємозв'язків теорії та практики, самостійності та активності, інтерактивності, усвідомленості.

Результати прикінцевого опитування студентів продемонстрували наявність позитивних змін у формуванні STEM-компетентностей студентів.

Проведене дослідження не вичерпує всіх аспектів аналізованої проблеми. До перспективних напрямів подальших наукових розвідок відносимо розробку методичних засад використання технологій штучного інтелекту у навчанні математики для підготовки викладачів STEM-дисциплін.

Література:

1. Міжгалузеві інтегровані курси: модельні навчальні програми «STEM» для закладів загальної середньої освіти. Київ : Інститут модернізації змісту освіти. 2024. URL: <https://imzo.gov.ua/model-ni-navchal-ni-prohamy/mizhhaluzevi-intehrovani-kursy/>.
2. Balyk N., Barna O., Shmyger G., Oleksuk V. Model of Professional Retraining of Teachers Based on the Development of STEM Competencies. *Proceedings from the ICTERI 2018 ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*. Vol. II, 2018. 318–331. URL: http://ceurws.org/Vol-2104/paper_157.
3. Засекіна Т., Василяшко І., Коршунова О. Освітня програма підвищення кваліфікації педагогічних працівників «STEM-школа: організація освітнього процесу в системі інтегрованого навчання». Київ : ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти». 2024. 18 с.
4. Morze N., Strutyńska O. STEAM competence for teachers: features of model development. *E-learning in the Time of COVID-19*. Katowice–Cieszyn. 2021. pp. 187–198. <https://doi.org/10.34916/el.2021.13.16>.
5. Felder R. M., Brent R. *Teaching and learning STEM (a practical guide)*. San Francisco : Jossey-Bass A Wiley Brand. 2016. 337 p.
6. Мелентьев О. Б. STEM-освіта в закладах загальної середньої освіти : навч. посіб. Умань : Уманський держ. пед. ун-т ім. Павла Тичини. 2023. 220 с.
7. Крамаренко Т. Г., Пилипенко О. С. Математика в STEMі: навч.-метод. посіб. Кривий Ріг : Криворізький держ. пед. ун-т, 2023. 274 с. URL: <http://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/7849>.
8. Ботузова Ю. В. Особливості використання STEM-технологій в навчанні математики. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. 2017. Випуск 12 (I). С. 3–8.
9. Упровадження STEM-освіти в умовах інтеграції формальної і неформальної освіти обдарованих учнів : методичні рекомендації / Н. І. Поліхун, К. Г. Постова, І. А. Сліпучіна, Г. В. Онопченко, О. В. Онопченко. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 80 с.
10. Пікалова В. В. Використання пакету GeoGebra як інструмента реалізації концепції STEM-освіти у процесі підготовки майбутніх учителів математики : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.10. Кривий Ріг, 2021. 266 с.

11. Abar C., Vieira de Almeida M., Zsolt L. Arts and mathematics: GeoGebra focused on isometric transformations. *Journal of Mathematics and the Arts*. 2024. <https://doi.org/10.1080/17513472.2024.2365361>.
12. Шақун Н., Зівенко О., Сальник І. Використання інтерактивних технологій у STEAM-освіті: переваги та виклики. *Вісник науки та освіти*. 2023. № 6. С. 646–656. [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2023-6\(12\)-646-656](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2023-6(12)-646-656).
13. Донець Н., Донець І., Трифонова О. Формування складових елементів STEM-компетентності учнів під час вивчення фізики засобами цифрових технологій. *Наукові записки*. 2023. № 2. С. 20–25.

References:

1. Mizhhaluzevi intehrovani kursy: modelni navchalni prohramy «STEM» dlia zakladiv zahalnoi serednoi osvity (2024). [Intersectoral integrated courses: model STEM curricula for general secondary education institutions]. Kyiv : Instytut modernizatsii zmistu osvity. Retrieved from: <https://imzo.gov.ua/model-ni-navchal-ni-prohramy/mizhhaluzevi-intehrovani-kursy/> [in Ukrainian].
2. Balyk, N., Barna, O., Shmyger, G., & Oleksuk, V. (2018). Model of Professional Retraining of Teachers Based on the Development of STEM Competencies. *Proceedings from the ICTERI 2018 ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*. Vol. II, 318–331. Retrieved from: http://ceurws.org/Vol-2104/paper_157 [in English].
3. Zasiakina, T., Vasylyashko, I., & Korshunova, O. (2024). Osvitnia prohrama pidvyshchennia kvalifikatsii pedahohichnykh pratsivnykiv «STEM-shkola: orhanizatsiia osvithnoho protsesu v systemi intehrovanoho navchannia» [Educational program of professional development of pedagogical workers «STEM-school: organization of educational process in the system of integrated learning»]. Kyiv : DNU «Instytut modernizatsii zmistu osvity». 18 p. [in Ukrainian].
4. Morze, N., & Strutynska, O. (2021). STEAM competence for teachers: features of model development. *E-learning in the Time of COVID-19*. Katowice–Cieszyn, pp. 187–198. <https://doi.org/10.34916/el.2021.13.16> [in English].
5. Felder, R.M., & Brent, R. (2016). *Teaching and learning STEM (a practical guide)*. San Francisco : Jossey-Bass A Wiley Brand. 337 p. [in English].
6. Melentiev, O.B. (2023). *STEM-osvita v zakladakh zahalnoi serednoi osvity : navch. posib [STEM education in institutions of general secondary education: a textbook]*. Uman : Umanskyi derzh. ped. un-t. 220 p. [in Ukrainian].
7. Kramarenko, T., & Pylypenko, O. (2023). *Matematyka v STEMi: navch.-metod. posib. [Math in STEM]*. Kryvyi Rih: Kryvorizkyi derzh. ped. un-t. 274 p. Retrieved from: <https://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/123456789/7849> [in Ukrainian].
8. Botuzova, Yu.V. (2017). Osoblyvosti vykorystannia STEM-tekhnologii v navchanni matematyky [Features of the use of STEM technologies in teaching math]. *Naukovi zapysky. Serii: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity*. 12 (I). pp. 3–8 [in Ukrainian].
9. Polikhun, N., Postova, K., Slipukhina, I., Onopchenko, H., & Onopchenko, O. (2019). *Uprovadzhennia STEM-osvity v umovakh intehratsii formalnoi i neformalnoi osvity obdarovanykh uchniv [Implementation of STEM education in the context of integration of formal and non-formal education of gifted students]*. Kyiv: Instytut obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy. 80 p. [in Ukrainian].
10. Pikalova, V. (2021). *Vykorystannia paketu GeoGebra yak instrumenta realizatsii kontseptsii STEM-osvity u protsesi pidhotovky maibutnykh uchyteliv matematyky : [Using the GeoGebra package as a tool for implementing the concept of STEM education in the process of training future mathematics teachers]*. *Candidate's thesis*. Kryvyi Rih State Pedagogical Un-ty. Kryvyi Rih. 266 p. [in Ukrainian].
11. Abar, C., Vieira de Almeida, M., & Zsolt, L. (2024). Arts and mathematics: GeoGebra focused on isometric transformations, *Journal of Mathematics and the Arts*. <https://doi.org/10.1080/17513472.2024.2365361> [in English].
12. Shakun, N.A., Zivenko, O.V., & Salnyk, I.V. (2023). *Vykorystannia interaktyvnykh tekhnologii u STEAM-osviti: perevahy ta vyklyky [Using interactive technologies in STEAM education: advantages and challenges]*. *Visnyk nauky ta osvity*, № 6 (12). P. 646–656 [in Ukrainian].
13. Donets, N., Donets, I., & Tryfonova, O. (2023). *Formuvannia skladovykh elementiv STEM-kompetentnosti uchniv pid chas vyvchennia fizyky zasobamy tsyfrovnykh tekhnologii [Formation of the constituent elements of STEM-competence of students in the study of physics by means of digital technologies]*. *Naukovi zapysky*. № 2. pp. 20–25. <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2023-2-3> [in English].