

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра фізики та математики

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри фізики та математики

Ірина МАНЬКУСЬ

«__»_____2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ
ІНТЕГРОВАНОГО КУРСУ «STEM» у ЗЗСО

Спеціальність 014.04 Середня освіта (Математика)
Освітня програма «Середня освіта (математика та інформатика)»

Здобувач

Єлизавета ПОНУРКО

«__»_____2025р.

Керівник роботи

кандидат фізико-
математичних наук,
доцент

Валентина
ДАРМОСЮК

«__»_____2025 р.

Миколаїв - 2025

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Фізики та математики
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Освітній ступінь	Магістр
Спеціальність	014.04 Середня освіта (Математика)
Освітня програма	Середня освіта (Математика та інформатика)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри фізики та
математики
Ірина МАНЬКУСЬ
«24» 04.2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну магістерську роботу здобувача
Понурко Єлизавета

1. Тема кваліфікаційної роботи «Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО» затверджена наказом ректора ЧНУ ім. Петра Могили № 127 від «05» 06.2024 р.
2. Строк представлення кваліфікаційної роботи «24» 04.2025 р.
3. Перелік питань, що підлягають розробці:
 1. теоретичний аналіз наукових підходів до інтеграції STEM-дисциплін та встановлення міжпредметних зв'язків у навчанні математики;
 2. узагальнення вітчизняного та зарубіжного досвіду впровадження інтегрованих STEM-курсів;
 3. теоретичне обґрунтування комплексу організаційно-педагогічних умов ефективного розвитку міжпредметних зв'язків математики засобами інтегрованого навчання;
 4. розробити та апробувати модель впровадження інтегрованого курсу "STEM" для учнів 7-9 класів;
 5. експериментальна перевірка ефективності запропонованих організаційно-педагогічних умов та розробити методичні рекомендації для педагогічної практики.

4. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Манькусь Ірина Володимирівна	Кафедра фізики та математики	Вступ, Розділ 1

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20 ____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної роботи

Тема: **Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО**

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1.	Розробка та затвердження завдання на виконання КМР	24.04.2025		
2.	Огляд літератури за темою роботи	25.04.2025	01.05.2025	
3.	Складання календарного плану КМР	01.05.2025	15.10.2025	
4.	Аналіз педагогічної та навчальної предметної області	15.05.2025	30.05.2025	
5.	Розробка методичних або педагогічних рішень	30.05.2025	01.09.2025	
6.	Створення та моделювання педагогічного експерименту	01.09.2024	30.05.2025	
7.	Апробація розробленої методики в освітньому процесі педагогічного експерименту.	16.06.2025	22.06.2025	
8.	Відгук керівника КМР	14.12.2025		
9.	Оформлення КМР та презентації	01.09.2025	19.11.2025	
10.	Попередній захист	20.11.2025		
11.	Рецензування	15.12.2025	16.12.2025	
12.	Завершення оформлення КМР та презентації	16.12.2025		
13.	Захист кваліфікаційної роботи	18.12.2025		

Здобувач

Єлизавета ПОНУРКО

«__»_____2025р.

Керівник роботи

кандидат фізико-
математичних наук,
доцент

Валентина ДАРМОСЮК

«__»_____2025 р.

АНОТАЦІЯ
до кваліфікаційної магістерської роботи
«Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у
ЗЗСО»

Здобувач 603м гр.: Понурко Єлизавета

Керівник: кандидат фізико-математичних наук, доцент Дармосюк Валентина

Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується прискореним технологічним прогресом, цифровізацією суспільства та зростаючою складністю викликів, що постають перед людством. У цих умовах освіта покликана готувати випускників, здатних до критичного мислення, творчого розв'язання проблем та ефективної роботи на перетині різних галузей знань. Саме тому інтегрований підхід до навчання, зокрема STEM-освіта, визнається провідними міжнародними організаціями, такими як ЮНЕСКО та ОЕСР, пріоритетним напрямом модернізації освітніх систем у всьому світі.

В Україні стратегічні документи, зокрема Концепція Нової української школи та Державний стандарт базової середньої освіти, наголошують на необхідності формування наскрізних умінь та ключових компетентностей, серед яких математична, природничо-наукова та технологічна компетентності посідають чільне місце. Проте реальна практика викладання у вітчизняних закладах освіти свідчить про недостатню інтеграцію предметних галузей, що утруднює формування у здобувачів освіти цілісного розуміння природничо-наукової картини світу.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу "STEM", що забезпечують розвиток міжпредметних зв'язків математики з іншими STEM-дисциплінами у здобувачів базової середньої освіти.

Об'єкт дослідження – процес впровадження інтегрованого курсу "STEM" у закладах загальної середньої освіти України.

Предмет дослідження – організаційно-педагогічні умови розвитку міжпредметних зв'язків математики з природничими науками, технологіями та інженерією в учнів 7-9 класів засобами інтегрованого навчання.

Завданням дослідження є здійснити теоретичний аналіз наукових підходів до інтеграції STEM-дисциплін та встановлення міжпредметних зв'язків у навчанні математики; узагальнити вітчизняний та зарубіжний досвід впровадження інтегрованих STEM-курсів; теоретично обґрунтувати комплекс організаційно-педагогічних умов ефективного розвитку міжпредметних зв'язків математики засобами інтегрованого навчання; розробити та апробувати модель впровадження інтегрованого курсу "STEM" для учнів 7-9 класів; експериментально перевірити ефективність запропонованих організаційно-педагогічних умов та розробити методичні рекомендації для педагогічної практики.

Результати дослідження підтвердили, що успішність впровадження інтегрованого курсу "STEM" значною мірою залежить від готовності педагогів до міжпредметної співпраці, їхньої здатності проєктувати інтегровані навчальні ситуації та супроводжувати проєктну діяльність учнів. Розроблені методичні рекомендації охоплюють питання планування інтегрованих занять, організації дослідницьких проєктів, оцінювання міжпредметних результатів навчання та створення STEM-орієнтованого освітнього середовища. Практична апробація цих рекомендацій підтвердила їхню дієвість та можливість використання у широкій педагогічній практиці.

Ключові слова: STEM-освіта, інтегроване навчання, організаційно-педагогічні умови, педагогічний експеримент, міждисциплінарна інтеграція, проєктна діяльність.

ABSTRACT

to the qualifying master's thesis

" Organizational and pedagogical conditions for implementing an integrated STEM course in secondary education institutions "

Student of group 603: Ponurko Yelyzaveta

Supervisor: PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor Valentyna Darmosyuk

The current stage of civilization is characterized by accelerated technological progress, the digitization of society, and the growing complexity of the challenges facing humanity. In these conditions, education is called upon to prepare graduates who are capable of critical thinking, creative problem solving, and effective work at the intersection of different fields of knowledge. That is why an integrated approach to learning, in particular STEM education, is recognized by leading international organizations such as UNESCO and the OECD as a priority area for the modernization of education systems around the world.

In Ukraine, strategic documents, in particular the Concept of the New Ukrainian School and the State Standard of Basic Secondary Education, emphasize the need to develop cross-cutting skills and key competencies, among which mathematical, scientific, and technological competencies occupy a prominent place. However, the actual teaching practice in domestic educational institutions indicates insufficient integration of subject areas, which hinders the formation of a holistic understanding of the natural science picture of the world among students.

The purpose of the study is to theoretically substantiate, develop, and experimentally test the organizational and pedagogical conditions for the implementation of an integrated STEM course that ensures the development of interdisciplinary connections between mathematics and other STEM disciplines in students of basic secondary education.

The object of the study is the process of implementing an integrated STEM course in general secondary education institutions in Ukraine.

The subject of the study is the organizational and pedagogical conditions for the development of interdisciplinary connections between mathematics and natural sciences, technology, and engineering in students in grades 7-9 through integrated learning.

The objectives of the study are to conduct a theoretical analysis of scientific approaches to the integration of STEM disciplines and the establishment of interdisciplinary connections in mathematics education; to summarize domestic and foreign experience in the implementation of integrated STEM courses; to theoretically substantiate a set of organizational and pedagogical conditions for the effective development of interdisciplinary connections in mathematics through integrated learning; to develop and test a model for implementing an integrated STEM course for students in grades 7-9; to experimentally verify the effectiveness of the proposed organizational and pedagogical conditions and develop methodological recommendations for pedagogical practice.

The results of the study confirmed that the success of the implementation of the integrated STEM course largely depends on the readiness of teachers for interdisciplinary cooperation, their ability to design integrated learning situations, and to accompany students' project activities. The methodological recommendations cover issues of planning integrated lessons, organizing research projects, assessing interdisciplinary learning outcomes, and creating a STEM-oriented educational environment. Practical testing of these recommendations confirmed their effectiveness and applicability in broad pedagogical practice.

Keywords: STEM-education, integrated learning, organizational and pedagogical conditions, pedagogical experiment, interdisciplinary integration, project activity.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ STEM-ОСВІТИ ТА МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ.....	6
1.1 Характеристика процес впровадження інтегрованого курсу STEM у закладах загальної середньої освіти.....	6
1.2 Характеристика організаційно-педагогічні умови розвитку міжпредметних зв'язків математики з іншими STEM-дисциплінами в учнів 7-9 класів засобами інтегрованого навчання	17
Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ STEM-ЗАНЯТЬ	32
2.1 Аналіз сучасного стану впровадження інтегрованих STEM курсів.....	32
2.2 Діагностика рівня розвитку компетентностей здобувачів освіти засобами STEM курсів.....	44
2.3 Організаційно-педагогічні умови впровадження додаткових STEM-занять у закладах загальної середньої освіти	57
2.4 Розробка інструментарію педагогічного експерименту	62
Висновки до Розділу 2	63
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО НАВЧАННЯ.....	65
3.1 Організація та проведення педагогічного експерименту з експериментальною та контрольною групами.....	65
3.2 Аналіз результатів контрольного зрізу: порівняння даних підсумкового тестування та якості проєктів в експериментальній та контрольній групах.	72
3.3 Узагальнення та інтерпретація результатів експериментального дослідження. Розробка методичних рекомендацій для впровадження STEM- проєктів у освітній процес.....	76
Висновки до Розділу 3	82
ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	86

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується прискореним технологічним прогресом, цифровізацією суспільства та зростаючою складністю викликів, що постають перед людством. У цих умовах освіта покликана готувати випускників, здатних до критичного мислення, творчого розв'язання проблем та ефективної роботи на перетині різних галузей знань. Саме тому інтегрований підхід до навчання, зокрема STEM-освіта, визнається провідними міжнародними організаціями, такими як ЮНЕСКО та ОЕСР, пріоритетним напрямом модернізації освітніх систем у всьому світі.

В Україні стратегічні документи, зокрема Концепція Нової української школи та Державний стандарт базової середньої освіти, наголошують на необхідності формування наскрізних умінь та ключових компетентностей, серед яких математична, природничо-наукова та технологічна компетентності посідають чільне місце. Проте реальна практика викладання у вітчизняних закладах освіти свідчить про недостатню інтеграцію предметних галузей, що утруднює формування у здобувачів освіти цілісного розуміння природничо-наукової картини світу.

Аналіз стану проблеми. Теоретичні основи міжпредметної інтеграції в освітньому процесі досліджували українські науковці О. Савченко, Н. Бібік, О. Ляшенко, котрі обґрунтували дидактичні принципи встановлення змістових зв'язків між навчальними дисциплінами. Питання математичної освіти та її ролі у формуванні наукового мислення розглядали М. Бурда, О. Біляніна, З. Слєпкань. Проблематику STEM-освіти в українському контексті досліджують Н. Гончарова, Н. Морзе, О. Стрижак, С. Величко, аналізуючи зарубіжний досвід та можливості його адаптації до вітчизняних реалій. Серед зарубіжних дослідників вагомий внесок у розвиток концепції STEM-освіти зробили Дж. Берджес (J. Bybee), Л. Дарлінг-Гаммонд (L. Darling-Hammond), Дж. Мур (T. Moore), М. Сандерс (M. Sanders).

Водночас аналіз педагогічної літератури та практики роботи закладів загальної середньої освіти виявляє суперечність між визнанням важливості

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО інтегрованого підходу у STEM-навчанні та недостатньою розробленістю організаційно-педагогічних умов його ефективного впровадження, особливо щодо розвитку міжпредметних зв'язків математики з природничими науками, технологіями та інженерією у підлітковому віці.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу "STEM", що забезпечують розвиток міжпредметних зв'язків математики з іншими STEM-дисциплінами у здобувачів базової середньої освіти.

Об'єкт дослідження – процес впровадження інтегрованого курсу "STEM" у закладах загальної середньої освіти України.

Предмет дослідження – організаційно-педагогічні умови розвитку міжпредметних зв'язків математики з природничими науками, технологіями та інженерією в учнів 7-9 класів засобами інтегрованого навчання.

Завдання дослідження:

1. здійснити теоретичний аналіз наукових підходів до інтеграції STEM-дисциплін та встановлення міжпредметних зв'язків у навчанні математики;
2. узагальнити вітчизняний та зарубіжний досвід впровадження інтегрованих STEM-курсів;
3. теоретично обґрунтувати комплекс організаційно-педагогічних умов ефективного розвитку міжпредметних зв'язків математики засобами інтегрованого навчання;
4. розробити та апробувати модель впровадження інтегрованого курсу "STEM" для учнів 7-9 класів;
5. експериментально перевірити ефективність запропонованих організаційно-педагогічних умов та розробити методичні рекомендації для педагогічної практики.

Методи дослідження: теоретичні – аналіз, синтез, порівняння та узагальнення наукової літератури, нормативних документів; емпіричні – педагогічне спостереження, анкетування, тестування, педагогічний експеримент; статистичні – кількісний та якісний аналіз емпіричних даних.

Практична значущість дослідження визначається можливістю використання розроблених матеріалів для вдосконалення освітнього процесу, підготовки педагогів до реалізації STEM-підходу та підвищення якості природничо-математичної освіти.

Структура роботи включає вступ, три розділи, висновки та список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ STEM-ОСВІТИ ТА МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ

1.1 Характеристика процес впровадження інтегрованого курсу STEM у закладах загальної середньої освіти.

Сучасний етап розвитку освітніх систем у всьому світі характеризується пошуком нових підходів до організації навчального процесу, які б відповідали викликам технологічної революції та забезпечували формування у здобувачів освіти компетентностей, необхідних для успішної життєдіяльності у цифровому суспільстві. Одним із найбільш перспективних напрямів модернізації освіти визнається STEM-підхід, що передбачає інтеграцію природничих наук, технологій, інженерії та математики у єдиний освітній простір. Розуміння сутності процесу впровадження інтегрованого курсу STEM, його етапів, моделей та особливостей реалізації у вітчизняних закладах загальної середньої освіти є необхідною передумовою для ефективної педагогічної діяльності у цьому напрямі.

Концептуальні засади STEM-освіти базуються на ідеї міждисциплінарності та інтеграції знань. На відміну від традиційного предметного підходу, де кожна дисципліна викладається ізольовано, STEM-підхід передбачає розгляд явищ і процесів з позицій різних наук одночасно, що дозволяє учням формувати цілісне розуміння природничо-наукової картини світу. Математика у структурі STEM виконує роль універсальної мови опису закономірностей, фізика пояснює фундаментальні принципи функціонування систем, технології демонструють практичні способи застосування наукових знань, а інженерія поєднує всі ці компоненти у процесі проектування та створення нових рішень. Така інтеграція не є механічним поєднанням предметів, а передбачає створення якісно нового освітнього продукту, де знання з різних дисциплін взаємодоповнюють та збагачують одне одного [29].

Процес впровадження інтегрованого курсу STEM у закладах загальної середньої освіти України розпочався у другій половині 2010-х років і набув

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО системного характеру після прийняття низки нормативних документів. Методичні рекомендації щодо впровадження STEM-освіти, розроблені Інститутом модернізації змісту освіти, визначили основні напрями та механізми реалізації цього підходу у навчальних закладах [19]. Документ окреслив стратегічні орієнтири, серед яких забезпечення міжпредметних зв'язків, використання проєктних та дослідницьких методів навчання, створення відповідного матеріально-технічного забезпечення та підготовка педагогічних кадрів до роботи в умовах інтегрованого навчання.

Впровадження STEM-освіти передбачає поетапний процес трансформації освітнього середовища закладу. Дослідники виокремлюють кілька послідовних етапів цього процесу, кожен з яких має специфічні завдання та очікувані результати [1]. На підготовчому етапі відбувається формування розуміння сутності STEM-підходу серед адміністрації та педагогічного колективу, проводиться аналіз наявних ресурсів та можливостей закладу, визначаються пріоритетні напрями впровадження. Цей етап є критично важливим, оскільки без усвідомлення необхідності змін та готовності до них подальше впровадження може зіткнутися зі значним опором. На організаційному етапі здійснюється розробка концепції STEM-освіти для конкретного закладу, формуються робочі групи педагогів, плануються необхідні зміни в освітньому процесі, визначаються джерела фінансування для матеріально-технічного забезпечення. Етап практичної реалізації передбачає безпосереднє впровадження інтегрованих курсів, проведення STEM-занять, організацію проєктної діяльності учнів, використання спеціалізованого обладнання. Завершальний аналітико-рефлексивний етап спрямований на оцінювання ефективності впроваджених заходів, виявлення проблемних аспектів та коригування подальших дій.

Організаційні моделі впровадження STEM-освіти у закладах загальної середньої освіти можуть суттєво відрізнятися залежно від контексту конкретного навчального закладу, його ресурсних можливостей, особливостей контингенту учнів та педагогічного потенціалу. У вітчизняній практиці найбільш поширеними є кілька моделей інтеграції STEM-підходу. Модель окремого інтегрованого курсу

передбачає введення в освітню програму спеціального навчального предмета, присвяченого STEM-тематичі, який може реалізовуватися як за рахунок варіативної складової навчального плану, так і в рамках позаурочної діяльності. Така модель дозволяє цілеспрямовано формувати міжпредметні зв'язки у спеціально організованому освітньому просторі, проте може призводити до певної ізоляції STEM-навчання від базових предметів. Модель інтеграції у традиційні предмети передбачає насичення змісту природничо-математичних дисциплін міждисциплінарними завданнями, проєктами та діяльностями, що демонструють зв'язки між різними галузями знань. Ця модель є менш ресурсомісткою, проте вимагає високої професійної компетентності педагогів та їхньої готовності до міжпредметної співпраці [12].

Модель STEM-центру або лабораторії передбачає створення у закладі освіти спеціалізованого простору, обладнаного сучасними технічними засобами, де проводяться інтегровані заняття, реалізуються дослідницькі проєкти та здійснюється експериментальна діяльність. Досвід багатьох українських шкіл свідчить про ефективність такого підходу у формуванні STEM-компетентностей учнів [3, 21, 22, 32]. STEM-лабораторії зазвичай оснащені робототехнічними конструкторами, цифровими лабораторіями для проведення експериментів, обладнанням для моделювання засобами віртуальної та доповненої реальності [14]. Створення таких спеціалізованих просторів не лише забезпечує технічні можливості для реалізації міждисциплінарних проєктів, а й формує у учнів відчуття причетності до сучасного науково-технічного прогресу, стимулює їхню допитливість та дослідницьку активність.

Змістове наповнення інтегрованого курсу STEM має спиратися на принцип автентичності, що передбачає розгляд реальних життєвих ситуацій та проблем, які вимагають комплексного підходу до розв'язання. На відміну від абстрактних навчальних завдань, характерних для традиційного предметного навчання, STEM-завдання мають практичну спрямованість та демонструють учням значущість набутих знань для розв'язання актуальних проблем сучасності. Такий підхід не

лише забезпечує глибше розуміння предметного змісту, а й формує у учнів здатність до системного аналізу складних явищ.

Методичні особливості реалізації інтегрованого курсу STEM суттєво відрізняються від традиційних підходів до організації навчання. Провідне місце у STEM-навчанні посідає проєктна діяльність, що дозволяє учням застосувати набуті знання. Проєктний підхід у STEM-освіті має кілька характерних особливостей: міждисциплінарність, що передбачає інтеграцію знань з кількох предметів; практична орієнтованість; дослідницька спрямованість, що передбачає самостійний пошук інформації та генерування нових ідей; командна робота, яка розвиває навички співпраці та комунікації [33].

Дослідницький метод у STEM-навчанні реалізується через організацію експериментальної діяльності учнів, спостереження за явищами, збір та аналіз даних, формулювання гіпотез та їх перевірку. Сучасні цифрові технології значно розширюють можливості дослідницької діяльності, дозволяючи проводити вимірювання з високою точністю, обробляти великі масиви даних, створювати комп'ютерні моделі досліджуваних процесів [13, 27]. Використання цифрових лабораторій та датчиків перетворює традиційні фізичні експерименти на сучасні дослідження, результати яких можуть бути представлені у вигляді графіків, діаграм, математичних моделей [34].

Проблемний підхід у STEM-освіті передбачає організацію навчання навколо реальних проблемних ситуацій, які не мають однозначного рішення та вимагають творчого підходу. На відміну від традиційних задач з визначеними умовами та єдиним правильним розв'язком, STEM-проблеми характеризуються відкритістю, багатоваріантністю можливих рішень та необхідністю врахування множинних факторів [10]. Такий підхід розвиває у учнів критичне мислення, здатність до аналізу та синтезу інформації, вміння приймати обґрунтовані рішення в умовах невизначеності.

Роль педагога у процесі реалізації інтегрованого курсу STEM суттєво трансформується порівняно з традиційним викладанням. Замість транслятора готових знань учитель стає фасилітатором навчального процесу, який створює

умови для самостійної пізнавальної діяльності учнів, супроводжує їх у процесі дослідження та проєктування, надає необхідну підтримку та орієнтує у напрямках пошуку інформації. Така зміна ролі вимагає від педагога не лише глибоких предметних знань, а й розвинених фасилітаторських навичок, здатності організувати продуктивну групову роботу, вміння ставити проблемні запитання та стимулювати творче мислення учнів [9].

Професійна підготовка педагогів до впровадження STEM-освіти є одним із ключових чинників успішності цього процесу. Дослідження свідчать про недостатню готовність значної частини вчителів до реалізації інтегрованого підходу, що пов'язано як з обмеженістю їхнього досвіду міждисциплінарного викладання, так і з традиційною предметною спеціалізацією педагогічної освіти [25]. Система підвищення кваліфікації педагогічних працівників поступово адаптується до нових вимог, пропонуючи спеціалізовані програми розвитку STEM-компетентностей [2, 9]. Ефективні програми підготовки педагогів до STEM-навчання мають включати як теоретичні основи інтегрованого підходу, так і практичні компоненти, що передбачають розробку міждисциплінарних уроків, проєктів, створення навчальних матеріалів та апробацію різних методів інтегрованого навчання.

Матеріально-технічне забезпечення інтегрованого курсу STEM є важливою організаційною умовою його ефективної реалізації. Сучасна STEM-освіта потребує спеціалізованого обладнання, яке дозволяє учням працювати з реальними технологіями, проводити експерименти, створювати прототипи та реалізовувати інженерні проєкти. До базового STEM-обладнання належать робототехнічні конструктори різних рівнів складності, цифрові лабораторії з датчиками для вимірювання фізичних, хімічних та біологічних параметрів, засоби для моделювання та 3D-друку, платформи для програмування та електроніки [26, 27]. Держава здійснює цілеспрямовану політику щодо оснащення навчальних закладів STEM-обладнанням, що реалізується через різні програми та конкурси [20, 36].

Робототехніка посідає особливе місце у STEM-освіті, оскільки об'єднує всі чотири складові: науку про принципи функціонування систем, технологію

створення роботів, інженерію конструювання та програмування, математику для розрахунків та алгоритмізації [26]. Використання освітніх робототехнічних платформ дозволяє учням не лише вивчати теоретичні основи механіки, електроніки та програмування, а й безпосередньо застосовувати ці знання у процесі створення функціональних пристроїв. Робототехнічні проєкти мають високий мотиваційний потенціал, оскільки результат роботи є відчутним [38].

Цифрове освітнє середовище є важливою частиною процесу реалізації. Хмарні технології забезпечують можливість доступу до навчальних ресурсів, інструментів моделювання та симуляції, платформ для спільної роботи над проєктами учасників освітнього процесу [17]. Віртуальні STEM-центри, такі як платформа Малої академії наук України, надають широкий спектр освітніх можливостей, включаючи онлайн-курси, віртуальні лабораторії, бази даних для дослідницької роботи [6]. Інтеграція цифрових технологій у STEM-навчання не замінює реальну експериментальну діяльність, а доповнює та розширює її можливості, дозволяючи моделювати процеси, недоступні для безпосереднього спостереження, проводити віртуальні експерименти, візуалізувати абстрактні поняття та закономірності.

Система позакласної та позашкільної роботи суттєво доповнює формальну STEM-освіту, надаючи учням додаткові можливості для розвитку інтересів та здібностей у галузі природничих наук та технологій. Конкурси, фестивалі, олімпіади STEM-спрямування створюють мотиваційне середовище, стимулюють змагальність та демонструють учням можливості застосування набутих компетентностей [4, 8, 39, 45]. Участь у таких заходах дозволяє учням випробувати власні сили, отримати зворотний зв'язок від експертів, познайомитися з однодумцями та потенційними наставниками.

Важливим прикладом розвитку STEM-освіти в Україні є щорічний STEM-фестиваль, що проводиться на базі Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Фестиваль організовується кафедрою фізики та математики і вже протягом двох років залучає учнів різних навчальних закладів до участі у науково-творчих проєктах та конкурсах. Такі заходи дозволяють учням

демонструвати свої досягнення у STEM-проєктах, обмінюватися досвідом з однолітками, отримувати зворотний зв'язок від науковців та практиків, що суттєво підвищує мотивацію до подальшого розвитку у STEM-напрямі.

Інтеграція формальної та неформальної освіти у STEM-напрямі забезпечує синергетичний ефект, коли знання, набуті на уроках, поглиблюються та розширюються у позаурочній діяльності, а досвід, отриманий у гуртках, конкурсах та проєктах, збагачує розуміння навчального матеріалу [33]. Така інтеграція вимагає координації зусиль педагогів закладів загальної та позашкільної освіти, узгодження змісту та методів роботи, створення наскрізних освітніх траєкторій для учнів з різним рівнем зацікавленості та обдарованості у STEM-галузях.

Оцінювання результатів STEM-навчання є складним методичним завданням, оскільки традиційні форми контролю, орієнтовані на перевірку засвоєння предметних знань, не повною мірою відображають специфіку інтегрованого підходу. STEM-компетентності мають комплексний характер і включають не лише когнітивний компонент, а й практичні вміння, дослідницькі навички, творчі здібності, комунікативні та колаборативні компетенції. Оцінювання у STEM-освіті має бути автентичним, тобто здійснюватися у контексті реальної діяльності, та критеріальним, із чітко визначеними показниками досягнення очікуваних результатів. Портфоліо проєктів, презентації результатів досліджень, захисти інженерних рішень є більш адекватними формами оцінювання STEM-компетентностей порівняно з традиційними контрольними роботами.

Аналіз практики впровадження інтегрованого курсу STEM у вітчизняних закладах освіти виявляє як успішні приклади, так і типові труднощі. До позитивних тенденцій належить зростаюча кількість шкіл, які створюють STEM-лабораторії та впроваджують інтегровані курси, активізація участі українських учнів у міжнародних STEM-конкурсах та олімпіадах, розширення мережі закладів позашкільної освіти STEM-спрямування [44]. Водночас існують суттєві бар'єри на шляху масового впровадження STEM-освіти: нерівномірність забезпечення закладів освіти необхідним обладнанням та ресурсами, недостатня підготовка педагогічних кадрів до інтегрованого викладання, інертність традиційної системи

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО оцінювання, яка не стимулює впровадження інноваційних підходів, обмеженість часових ресурсів у жорсткій структурі навчального плану.

Українська модель STEM-освіти має знайти власний шлях, спираючись на сильні сторони вітчизняної освітньої традиції, зокрема фундаментальність математичної та природничо-наукової підготовки, водночас долаючи слабкі сторони, такі як надмірна теоретизованість навчання та недостатній зв'язок з практикою [7, 29, 42].

Цифрова трансформація освіти відіграє ключову роль у процесі впровадження інтегрованих STEM-курсів. Інформаційно-комунікаційні технології не просто доповнюють традиційні методи навчання, а якісно змінюють можливості організації освітнього процесу. Завдяки хмарним платформам учні можуть працювати над проєктами незалежно від географічного розташування, мати доступ до величезних баз даних, використовувати професійне програмне забезпечення [17]. Віртуальні STEM-центри надають можливості для дистанційного навчання, що особливо актуально для учнів, які не мають доступу до якісно обладнаних лабораторій [6].

Системи віртуальної та доповненої реальності відкривають принципово нові можливості для візуалізації абстрактних математичних понять, моделювання процесів, недоступних для безпосереднього спостереження, проведення віртуальних експериментів у умовах, що неможливо створити у шкільній лабораторії. Наприклад, учні можуть досліджувати будову атомів та молекул, спостерігати за процесами на клітинному рівні, моделювати астрономічні явища у безпечному віртуальному середовищі. Водночас важливо розуміти, що цифрові технології є інструментом, а не самоціллю, і їхнє використання має бути педагогічно обґрунтованим та спрямованим на досягнення конкретних освітніх результатів [13, 17, 28].

Особливості впровадження інтегрованих STEM-курсів для різних вікових груп потребують окремого розгляду. Якщо у початковій школі інтегроване навчання реалізується природно через курси природознавчого циклу, де міжпредметність закладена у саму структуру змісту, то у базовій середній школі

інтеграція стикається з викликами предметної спеціалізації навчання [11, 30]. Учні сьомих-дев'ятих класів перебувають на етапі формування абстрактно-логічного мислення, що створює сприятливі умови для засвоєння складних математичних понять та їхнього застосування у різних контекстах. Водночас підлітковий вік характеризується пошуком власної ідентичності, формуванням професійних інтересів, що робить особливо важливим демонстрацію практичної значущості STEM-знань та їхнього зв'язку з реальними професійними діяльностями [31].

У старшій школі інтеграція STEM-дисциплін набуває нових форм через профілізацію навчання. Учні природничо-математичного профілю можуть поглиблено вивчати окремі STEM-дисципліни, водночас реалізуючи складні міждисциплінарні проєкти та дослідження. Для учнів інших профілів доцільно пропонувати інтегровані курси, що формують науковий світогляд та базову STEM-грамотність, необхідну для життя у технологічно насиченому світі. Наступність між різними освітніми рівнями у розвитку міжпредметних зв'язків забезпечує поступове ускладнення змісту, методів, форм інтегрованого навчання відповідно до когнітивного розвитку учнів [11, 30].

Соціально-економічні аспекти впровадження STEM-освіти пов'язані з питаннями справедливості та рівного доступу до якісної освіти. Існує ризик поглиблення освітньої нерівності, коли STEM-освіта високої якості стає привілеєм учнів столичних шкіл та великих міст, тоді як діти з сільської місцевості та малих населених пунктів позбавлені таких можливостей. Подолання цього розриву вимагає цілеспрямованої політики щодо вирівнювання ресурсного забезпечення закладів освіти, створення мережі ресурсних центрів колективного користування, розвитку дистанційних форм навчання [20, 36, 44].

Гендерний аспект STEM-освіти також заслуговує на увагу. Статистика свідчить про недостатню представленість жінок у технічних професіях, що частково пояснюється гендерними стереотипами щодо природничо-математичних здібностей та відповідності STEM-професій чоловікам чи жінкам. Інтегрований підхід до STEM-освіти, що наголошує на різноманітності способів діяльності, важливості комунікації та співпраці поряд з технічними навичками, може сприяти

залученню більшої кількості дівчат до вивчення природничо-математичних дисциплін [29, 41].

Інклюзивність у STEM-освіті означає створення умов для успішного навчання всіх дітей незалежно від їхніх особливих освітніх потреб. Учні з особливостями психофізичного розвитку можуть успішно брати участь у STEM-діяльності за умови адаптації навчальних матеріалів, використання допоміжних технологій, організації диференційованого підходу. Цифрові технології надають потужні інструменти адаптації навчального середовища до індивідуальних потреб учнів, зокрема через використання програм зчитування екрану для дітей з вадами зору, систем розпізнавання мови для дітей з порушеннями моторики, адаптивних інтерфейсів для дітей з когнітивними особливостями [28].

Оцінювання ефективності STEM-програм є методологічно складним завданням через багато вимірність та довго тривалість результатів. Традиційні показники успішності, не відображають повною мірою компетентності, що розвиваються у процесі STEM-навчання. Комплексна оцінка ефективності має включати когнітивні показники розуміння міжпредметних зв'язків та здатності застосовувати знання у нових контекстах, діяльнісні показники успішності у проєктній та дослідницькій діяльності, мотиваційні показники інтересу до природничо-математичних дисциплін та професійних намірів, соціальні показники здатності до співпраці та комунікації [23, 40].

Довготривалі ефекти STEM-освіти проявляються у виборі випускниками технічних спеціальностей для подальшого навчання, успішності у професійній діяльності, готовності до безперервного навчання та адаптації до технологічних змін. Лонгітюдні дослідження, що відстежують освітню та професійну траєкторію випускників STEM-програм, дозволяють оцінити реальний вплив інтегрованого навчання на життєвий успіх людини. Водночас такі дослідження вимагають значних ресурсів та тривалого часу, що обмежує їхню поширеність у педагогічній практиці.

Перспективні напрями розвитку процесу впровадження інтегрованих STEM-курсів пов'язані з кількома векторами. По-перше, це подальша інтеграція мистецтва

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО у STEM-освіту з формуванням концепції STEAM, де творчість, дизайн-мислення, естетика стають невід'ємними компонентами технічної освіти. Такий підхід долає штучне протиставлення гуманітарної та природничо-математичної культури, формує цілісну особистість з розвиненими як аналітичними, так і творчими здібностями [3, 28, 41].

По-друге, розвиток підприємницької компоненти у STEM-освіті сприяє формуванню у учнів не лише технічних компетенцій, а й здатності генерувати інноваційні ідеї, оцінювати їхній ринковий потенціал, створювати стартапи та соціальні підприємства. Інтеграція елементів бізнес-освіти у STEM-курси готує випускників до роботи у інноваційній економіці [7, 29].

По-третє, екологічна та соціальна відповідальність стають важливими цінностями STEM-освіти. Учні мають усвідомлювати не лише технічні можливості науки та технологій, а й їхній потенційний вплив на довкілля та суспільство. Проєкти, спрямовані на розв'язання екологічних проблем, формують соціально відповідальне ставлення до застосування STEM-компетенцій [29, 31, 33].

По-четверте, міжнародна співпраця у галузі STEM-освіти відкриває можливості для обміну досвідом, реалізації спільних проєктів учнів з різних країн, участі у міжнародних конкурсах та олімпіадах. Глобальні виклики, такі як зміна клімату, пандемії, енергетична криза, вимагають спільних зусиль науковців та інженерів з усього світу, і STEM-освіта може закладати основи для такої міжнародної кооперації вже на шкільному рівні [7, 15, 44].

По-п'яте, штучний інтелект та машинне навчання стають новими інструментами та водночас об'єктами вивчення у STEM-освіті. Учні мають розуміти основні принципи роботи інтелектуальних систем, усвідомлювати етичні виклики, володіти базовими навичками роботи з технологіями штучного інтелекту. Математика, зокрема теорія ймовірностей, статистика, лінійна алгебра, стає фундаментом для розуміння алгоритмів машинного навчання [17, 18, 27].

Отже, процес впровадження інтегрованого курсу STEM у закладах загальної середньої освіти є багатоаспектним явищем. Успішність цього процесу залежить від узгодженості дій різних рівнів освітньої системи, від державної політики до

конкретних методичних рішень педагога-практика. Подальший розвиток STEM-освіти в Україні має спиратися на критичне осмислення міжнародного досвіду, збереження сильних сторін вітчизняної освітньої традиції, творчий пошук оптимальних моделей інтеграції для конкретних контекстів навчання.

1.2 Характеристика організаційно-педагогічні умови розвитку міжпредметних зв'язків математики з іншими STEM-дисциплінами в учнів 7-9 класів засобами інтегрованого навчання

Математика у системі STEM-освіти виконує фундаментальну роль як універсальний інструмент моделювання та аналізу явищ і процесів, що вивчаються природничими науками, реалізуються технологіями та проєктуються інженерією. Розвиток міжпредметних зв'язків математики з іншими STEM-дисциплінами у підлітковому віці має особливе значення, оскільки саме у період навчання у 7-9 класах формується здатність до абстрактного мислення, розвивається інтерес до пізнання закономірностей навколишнього світу та виникає потреба у розумінні практичної значущості знань. Ефективність розвитку таких міжпредметних зв'язків значною мірою визначається організаційно-педагогічними умовами освітнього процесу, які створюють сприятливе середовище для інтегрованого навчання.

Під організаційно-педагогічними умовами розуміємо сукупність взаємопов'язаних обставин, факторів та заходів, що цілеспрямовано створюються у освітньому середовищі закладу і забезпечують ефективність певного педагогічного процесу. У контексті розвитку міжпредметних зв'язків математики засобами інтегрованого навчання такі умови охоплюють як змістово-методичні аспекти організації навчального процесу, так і організаційно-управлінські, матеріально-технічні та кадрові компоненти освітньої системи. Комплексний характер цих умов означає, що їхня ефективність проявляється не ізольовано, а у взаємодії та взаємопідсиленні різних факторів.

Першою важливою організаційно-педагогічною умовою є змістова інтеграція навчального матеріалу на основі системоутворюючих міжпредметних

понять та явищ. Традиційне викладання математики часто зосереджується на формальних маніпуляціях з символами, доведенні теорем та розв'язуванні стандартних задач, що створює у учнів уявлення про математику як абстрактну дисципліну, відірвану від реального життя. Натомість інтегрований підхід передбачає розгляд математичних понять та методів у контексті їхнього застосування для опису та аналізу явищ природи, технологічних процесів та інженерних систем. Наприклад, вивчення лінійної функції може бути інтегровано з аналізом економічних залежностей витрат від обсягу виробництва [5].

Системоутворюючі міжпредметні поняття з'єднують різні предметні області. До таких понять належать функція та функціональна залежність, що є центральними як для математики, так і для фізики, хімії, біології; поняття моделі, що використовується у всіх природничих науках та інженерії; пропорційні відношення, які описують безліч явищ від хімічних реакцій до механічних переваг простих механізмів; статистичні закономірності, що застосовуються для аналізу даних у будь-якій галузі дослідження. Побудова навчального змісту навколо таких інтегруючих понять дозволяє учням формувати узагальнені способи діяльності, що можуть бути застосовані у різних контекстах.

Інтеграція математичного змісту з іншими STEM-дисциплінами у 7-9 класах має враховувати когнітивні особливості підліткового віку. У цей період відбувається перехід від конкретно-образного до абстрактно-логічного мислення, що створює сприятливі умови для засвоєння абстрактних математичних понять через їхнє відображення у конкретних фізичних, хімічних чи біологічних явищах. Підліткам притаманна потреба у розумінні практичної значущості знань, що робить контекстуалізацію математичних понять у реальних життєвих та професійних ситуаціях педагогічно доцільною.

Другою організаційно-педагогічною умовою є систематичне використання активних та інтерактивних методів навчання з пріоритетом проєктної діяльності та проблемного підходу. Розвиток міжпредметних зв'язків вимагає активного інтелектуального процесу інтеграції знань, а не просто їх трансляції. У STEM-освіті, зокрема через проєктну діяльність, ці зв'язки реалізуються при розв'язанні

комплексних задач, які потребують застосування методів і знань із кількох предметних областей. [31].

STEM-проекти для учнів 7-9 класів мають бути достатньо складними, щоб викликати інтелектуальний виклик, але водночас і реалістичними. Приклади таких проектів можуть включати проектування та створення автономного робота, здатного виконувати певні функції, що вимагає математичних розрахунків траєкторій руху, розуміння фізичних принципів роботи датчиків та двигунів, програмування алгоритмів управління; розробку системи автоматизованого поливу рослин на основі даних про вологість ґрунту, що інтегрує біологічні знання про потреби рослин, фізичні принципи роботи датчиків, математичні алгоритми прийняття рішень.

Проблемний підхід у розвитку міжпредметних зв'язків математики передбачає постановку перед учнями відкритих проблемних ситуацій, що не мають однозначного розв'язку та вимагають творчого застосування знань з різних предметів [10]. На відміну від традиційних міжпредметних задач, де зв'язки між предметами є очевидними та заданими у формулюванні, проблемні ситуації вимагають від учнів самостійного виявлення знань та методів необхідних для розв'язання. Така діяльність розвиває здатність до рефлексії власних знань та умінь.

Групові форми роботи мають особливе значення для розвитку міжпредметних зв'язків, оскільки у групі можуть об'єднуватися учні з різними предметними інтересами та сильними сторонами, що природно веде до міжпредметного синтезу. Один учень може бути сильним у математичних розрахунках, інший краще розуміється на фізичних принципах, третій має досвід програмування. У процесі спільної роботи над STEM-проектом відбувається взаємне навчання, коли кожен учасник групи розширює своє розуміння за рахунок перспектив інших членів команди. Педагогічна організація такої групової роботи вимагає ретельного планування, розподілу ролей, встановлення правил комунікації та механізмів вирішення конфліктів.

Третьою організаційно-педагогічною умовою є створення та використання сучасного цифрового освітнього середовища та спеціалізованих STEM-

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО лабораторій. Цифрові технології радикально змінюють можливості математичного моделювання та його застосування для аналізу явищ з інших предметних областей. Програмне забезпечення для динамічної геометрії дозволяє візуалізувати математичні залежності та досліджувати їх властивості у інтерактивному режимі. Системи комп'ютерної алгебри надають потужні інструменти для символічних та чисельних обчислень, що робить доступними складні математичні методи для аналізу реальних даних. Середовища програмування, зокрема платформа Arduino, дозволяють учням створювати функціональні пристрої, що реагують на зміни навколишнього середовища, і використовувати математичні алгоритми для обробки даних з датчиків [27].

Хмарні технології забезпечують доступність цифрових ресурсів та інструментів незалежно від місця перебування учнів, що особливо важливо в умовах дистанційного або змішаного навчання [17]. Хмарне освітнє середовище дозволяє організувати спільну роботу над проєктами, обмін даними та результатами досліджень, доступ до спільних баз знань та навчальних матеріалів. Віртуальні STEM-лабораторії розширюють можливості експериментальної діяльності, дозволяючи моделювати процеси та явища, недоступні для безпосереднього спостереження через їхню швидкість, масштаб, небезпечність або вартість реального експерименту.

Фізичні STEM-лабораторії, обладнані сучасними засобами вимірювання, робототехнічними платформами, інструментами для прототипування, створюють матеріальне середовище для реалізації інтегрованих проєктів [14]. Важливість такого матеріального середовища полягає не лише у технічних можливостях, а й у психологічному ефекті занурення у світ науки та технологій, формуванні ідентичності дослідника та інноватора. Робота з реальним обладнанням розвиває практичні навички, просторове мислення, розуміння фізичних обмежень та можливостей технічних систем, що не може бути повною мірою замінено віртуальним моделюванням.

Організація STEM-лабораторії у закладі освіти передбачає не лише придбання обладнання, а й створення системи його використання, що включає

розклад роботи лабораторії, правила доступу та техніки безпеки, систему обліку та підтримки працездатності обладнання, навчання педагогів та учнів роботі з технічними засобами. Ефективна модель використання STEM-лабораторії передбачає поєднання урочної діяльності, коли проводяться інтегровані заняття з групами учнів, та позаурочної роботи, коли лабораторія доступна для реалізації індивідуальних та групових проєктів.

Четвертою організаційно-педагогічною умовою є систематичний професійний розвиток педагогів у галузі інтегрованого викладання та міжпредметної співпраці. Вчитель математики, який працює у парадигмі STEM-освіти, має не лише глибоко знати свій предмет, а й розуміти основні ідеї суміжних дисциплін, бачити можливості для встановлення змістових зв'язків, володіти методами проєктного навчання та фасилітації групової роботи [2, 9]. Така комплексна компетентність не може бути сформована лише у процесі початкової педагогічної освіти і вимагає безперервного професійного розвитку.

Ефективні програми підвищення кваліфікації педагогів для роботи у контексті STEM-освіти мають включати кілька компонентів [37]. Теоретичний компонент забезпечує розуміння концептуальних основ інтегрованого навчання, психологічних механізмів формування міжпредметних зв'язків, дидактичних принципів організації проєктної діяльності. Практичний компонент передбачає набуття досвіду розробки інтегрованих уроків та проєктів, апробації різних методів STEM-навчання, роботи з цифровими інструментами та обладнанням STEM-лабораторій. Рефлексивний компонент спрямований на аналіз власної педагогічної практики, виявлення труднощів та пошук шляхів їх подолання, обмін досвідом з колегами.

Модель професійного перенавчання педагогів на основі розвитку STEM-компетентностей передбачає поєднання формальних програм підвищення кваліфікації з неформальними формами професійного розвитку [37]. Важливою складовою професійного розвитку є можливість спостереження за роботою досвідчених колег, які успішно реалізують інтегрований підхід, та отримання зворотного зв'язку щодо власної практики від експертів та колег.

Міжпредметна співпраця педагогів є необхідною умовою для ефективного розвитку міжпредметних зв'язків математики. Така співпраця може реалізовуватися у різних формах: спільне планування інтегрованих уроків та проєктів, координація навчальних програм для синхронізації вивчення взаємопов'язаних тем, взаємне відвідування уроків для кращого розуміння специфіки суміжних предметів, спільне керівництво учнівськими дослідницькими проєктами [16]. Організаційне забезпечення такої співпраці вимагає створення у закладі освіти спеціальних структур, таких як методичні об'єднання міждисциплінарного характеру, робочі групи з розробки інтегрованих курсів, координаційні ради для узгодження календарно-тематичного планування.

П'ятою організаційно-педагогічною умовою є адаптація системи оцінювання до специфіки інтегрованого навчання та міжпредметних результатів. Традиційні форми контролю, орієнтовані на перевірку засвоєння предметних знань окремо з кожної дисципліни, не відображають рівня розвитку міжпредметних зв'язків та здатності застосовувати інтегровані знання для розв'язання комплексних задач. Оцінювання у контексті STEM-освіти має здійснюватися у ситуаціях, максимально наближених до реальної професійної або життєвої діяльності, та багатовимірним, що враховує різні аспекти STEM-компетентності.

Для оцінювання міжпредметних результатів доцільно використовувати комплексні контекстні задачі, що вимагають інтеграції знань з кількох предметів для їх розв'язання. Такі задачі можуть бути сформульовані як проблемні ситуації з реального життя, технічні завдання, дослідницькі запитання. Критерії оцінювання мають охоплювати не лише правильність математичних розрахунків, а й адекватність обраної математичної моделі для опису явища, повноту врахування факторів з інших предметних областей, обґрунтованість висновків, якість презентації результатів.

Портфоліо проєктів є ефективним інструментом документування та оцінювання розвитку STEM-компетентностей учня протягом тривалого періоду. Портфоліо може включати опис реалізованих проєктів з поясненням використаних міждисциплінарних підходів, звіти про дослідження з аналізом зібраних даних та

інтерпретацією результатів, рефлексивні есе про набутий досвід та виклики у процесі інтегрованого навчання, відгуки від керівників проєктів та членів команди. Така форма оцінювання дозволяє простежити динаміку розвитку учня, виявити індивідуальну траєкторію формування міжпредметних зв'язків, зафіксувати досягнення, які не виявляються у традиційних формах контролю.

Шостою організаційно-педагогічною умовою є забезпечення варіативності освітніх траєкторій та індивідуалізації навчання у контексті розвитку міжпредметних зв'язків математики. Учні мають різний рівень математичної підготовки, різні пізнавальні інтереси та професійні орієнтації, що зумовлює необхідність диференційованого підходу до організації інтегрованого навчання. Варіативність може забезпечуватися через систему елективних курсів STEM-спрямування, де учні можуть обрати напрями поглибленого вивчення відповідно до своїх інтересів, через різнорівневі проєктні завдання, що дозволяють кожному учневі працювати у зоні найближчого розвитку, через індивідуальні дослідницькі проєкти, що реалізуються під керівництвом педагога-наставника.

Організація роботи з обдарованими учнями у контексті STEM-освіти передбачає створення умов для реалізації їхнього потенціалу через участь у олімпіадах, конкурсах, науково-дослідницькій роботі [33]. Інтеграція формальної освіти, що надається у школі, з можливостями позашкільних закладів, наукових установ, університетів дозволяє створити збагачене освітнє середовище для розвитку STEM-талантів. Водночас важливо забезпечити підтримку учнів, які відчують труднощі у вивченні математики або природничих наук, через додаткові консультації, тьюторський супровід, адаптовані навчальні матеріали.

Сьомою організаційно-педагогічною умовою є створення мотиваційного освітнього середовища, що стимулює інтерес учнів до встановлення міжпредметних зв'язків та STEM-діяльності. Підлітковий вік характеризується формуванням професійних інтересів та життєвих планів, що робить важливим демонстрацію зв'язку шкільного навчання з реальними професійними діяльностями та кар'єрними можливостями у STEM-галузях. Організація зустрічей з представниками STEM-професій, екскурсії на підприємства та до наукових

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО установ, участь у профорієнтаційних заходах STEM-спрямування допомагають учням побачити перспективи застосування математичних та природничо-наукових знань у професійній діяльності.

Конкурси та фестивалі STEM-спрямування створюють ситуації публічної демонстрації досягнень, що має потужний мотиваційний ефект [4, 8, 39]. Можливість представити результати власного проєкту перед аудиторією, отримати визнання та нагороди стимулює учнів до більш глибокого опрацювання матеріалу, ретельної підготовки презентації, осмислення міждисциплінарних аспектів своєї роботи. Участь у командних змаганнях розвиває навички співпраці, розподілу обов'язків, узгодження різних підходів до розв'язання проблеми.

Восьмою організаційно-педагогічною умовою є інтеграція STEM-освіти з реальними соціально значущими проблемами та проєктами місцевої громади. Коли учні працюють над проєктами, що мають практичне значення для їхньої школи, мікрорайону, міста, це надає особливого сенсу їхній діяльності та підвищує відповідальність за результат. Приклади таких проєктів можуть включати дослідження екологічного стану місцевих водойм з використанням математичної статистики для аналізу даних, створення системи моніторингу якості повітря у школі з використанням датчиків та програмування.

Соціальний контекст STEM-проєктів сприяє формуванню у учнів розуміння відповідальності науки та технологій перед суспільством, усвідомлення етичних аспектів технологічного розвитку, бачення можливостей використання STEM-компетентностей для вирішення суспільно важливих завдань. Така соціальна орієнтація STEM-освіти особливо важлива у підлітковому віці, коли формуються ціннісні орієнтації та громадянська позиція.

Дев'ятою організаційно-педагогічною умовою є забезпечення наступності та системності у розвитку міжпредметних зв'язків математики на різних етапах навчання. Період навчання у 7-9 класах є проміжним етапом між початковою школою, де інтегроване навчання реалізується через курси природознавчого циклу [11, 30], та старшою школою, де відбувається профілізація та поглиблене вивчення окремих предметів. Забезпечення наступності передбачає узгодження змісту,

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО методів та форм інтегрованого навчання на різних освітніх рівнях, поступове ускладнення міжпредметних зв'язків відповідно до когнітивного розвитку учнів, створення наскрізних тематичних ліній, що проходять через різні роки навчання.

Системність у розвитку міжпредметних зв'язків означає, що інтегроване навчання не обмежується окремими епізодичними заходами, а пронизує весь освітній процес, реалізується як на уроках, так і у позаурочній діяльності, підтримується всіма елементами освітнього середовища. Для досягнення такої системності необхідна координація дій адміністрації закладу освіти, методичних об'єднань, окремих педагогів, формування спільного бачення цілей та шляхів розвитку STEM-освіти у конкретному закладі [28].

Результати Національного мультипредметного тесту та міжнародного дослідження PISA свідчать про недостатній рівень сформованості у українських учнів здатності застосовувати математичні знання у контексті реальних життєвих ситуацій [23, 40]. Це актуалізує необхідність посилення міжпредметних зв'язків та контекстуалізації математичного навчання, що є центральною ідеєю STEM-підходу. Реалізація описаних організаційно-педагогічних умов має на меті подолання розриву між формальними математичними знаннями та здатністю використовувати їх для розв'язання практичних задач.

Комплексний характер організаційно-педагогічних умов означає, що їхня ефективність проявляється у взаємодії та взаємопідсиленні. Наявність сучасного обладнання STEM-лабораторії сама по собі не забезпечить розвитку міжпредметних зв'язків без відповідної підготовки педагогів та змістової інтеграції навчального матеріалу. Використання проєктних методів буде малоефективним без мотиваційного середовища та адекватної системи оцінювання. Тому впровадження інтегрованого курсу STEM має передбачати системний підхід, що охоплює всі виділені організаційно-педагогічні умови у їхній сукупності та взаємозв'язку.

Реалізація організаційно-педагогічних умов розвитку міжпредметних зв'язків математики потребує глибокого розуміння специфіки математики як навчального предмета та її ролі у системі STEM-дисциплін. Математика виконує подвійну функцію: з одного боку, вона є самостійною галуззю знань з власною логікою,

методами, предметом дослідження, з іншого боку, вона слугує універсальною мовою для опису закономірностей у інших науках. Ця подвійність створює як можливості, так і виклики для розвитку міжпредметних зв'язків. Можливості полягають у природній інтегративності математики, її застосовності до широкого спектра явищ та процесів. Виклики пов'язані зі зведенням математики лише до інструменту розрахунків, без усвідомлення її внутрішньої краси, логічної стрункости, ролі у розвитку абстрактного мислення [5, 18, 42].

Соціокультурний контекст навчання суттєво впливає на ефективність організаційно-педагогічних умов. Учні приходять до школи з різним соціальним та культурним капіталом, що відображає освітній рівень та професійні сфери діяльності батьків, доступ до культурних ресурсів, цінності та очікування сім'ї щодо освіти. Ці відмінності можуть посилюватися або пом'якшуватися залежно від організації освітнього процесу. Інтегрований підхід до STEM-навчання має потенціал для зменшення освітньої нерівності через різноманітність форм діяльності, множинність способів демонстрації компетентності, орієнтацію на реальні контексти, близькі досвіду всіх учнів [29, 33].

Розвиток цифрової компетентності педагогів є критично важливою умовою для ефективної реалізації інтегрованого навчання у сучасних умовах. Цифрова компетентність включає не лише технічні навички роботи з обладнанням та програмним забезпеченням, а й педагогічну здатність інтегрувати цифрові технології у навчальний процес для досягнення освітніх цілей, критичне розуміння можливостей та обмежень технологій, етичну відповідальність за їх використання. Підвищення кваліфікації педагогів має включати практичні тренінги з використання цифрових лабораторій, робототехнічних платформ, систем моделювання, але не обмежуватися технічним навчанням, а фокусуватися на способах інтеграції технологій у навчальний процес [2, 9, 17, 28].

Методична компетентність педагога у галузі інтегрованого викладання передбачає володіння широким репертуаром методів та прийомів організації міждисциплінарного навчання. Це включає уміння конструювати інтегровані навчальні ситуації, що природно вимагають залучення знань з різних предметів,

здатність організувати продуктивну проєктну діяльність на всіх її етапах від ініціації до рефлексії, навички фасилітації групової роботи та розв'язання конфліктів, компетентність у застосуванні різноманітних форм оцінювання міжпредметних результатів [10, 16, 25, 37].

Предметна компетентність педагога інтегрованого курсу STEM має виходити за межі однієї дисципліни. Вчитель математики, який реалізує інтегрований підхід, потребує принаймні базового розуміння основних ідей фізики, хімії, біології, технологій, щоб коректно встановлювати міжпредметні зв'язки та керувати міждисциплінарними проєктами учнів. Водночас нереалістично очікувати від одного педагога глибокої експертизи у всіх STEM-дисциплінах. Ефективнішою стратегією є організація командного викладання, коли кілька педагогів з різних предметних областей спільно планують та реалізують інтегровані заняття, взаємно доповнюючи компетентності одне одного [1, 9, 16, 37].

Рефлексивна компетентність педагога передбачає здатність критично аналізувати власну практику, виявляти успішні та проблемні аспекти, усвідомлювати причини педагогічних невдач та шукати шляхи їх подолання. Впровадження інтегрованого підходу неминуче супроводжується труднощами, оскільки педагоги виходять за межі звичних практик, експериментують з новими методами, стикаються з непередбачуваними ситуаціями. Рефлексивна позиція дозволяє сприймати труднощі не як ознаку некомпетентності, а як природну складову інноваційного процесу, джерело професійного зростання. Організація регулярних методичних нарад для обміну досвідом, аналізу проблемних ситуацій, спільного пошуку рішень підтримує розвиток рефлексивної компетентності педагогів [2, 9, 25].

Організаційна культура закладу освіти створює загальний контекст, що або сприяє, або перешкоджає реалізації організаційно-педагогічних умов інтегрованого навчання. У закладах з ієрархічною авторитарною культурою, де домінує контроль та регламентація, педагоги можуть відчувати страх перед експериментами, побоюватися відхилитися від затверджених програм, уникати ризиків, пов'язаних з інноваціями. Натомість у закладах з колаборативною

культурою, що цінує професійну автономію педагогів, заохочує творчість та експеримент, підтримує горизонтальне навчання, створюються сприятливі умови для впровадження інтегрованого підходу. Адміністрація відіграє ключову роль у формуванні організаційної культури через власний приклад, стиль керівництва, систему стимулів та підтримки [1, 28, 44].

Ресурсне забезпечення є важливою, хоча не визначальною умовою ефективної реалізації інтегрованого курсу STEM. Безумовно, наявність сучасного обладнання розширює можливості для експериментальної та проєктної діяльності, дозволяє учням працювати з реальними технологіями, створює атмосферу причетності до світу науки та інновацій. Водночас досвід показує, що навіть за обмежених матеріальних ресурсів творчий педагог може організувати ефективне інтегроване навчання, використовуючи безкоштовні онлайн-ресурси, прості та доступні матеріали, власну компетентність як головний ресурс [6, 14, 17, 44].

Часовий ресурс є одним з найбільш дефіцитних у контексті впровадження інтегрованого курсу STEM. Насичений навчальний план залишає обмежений простір для додаткових годин, а реалізація інтегрованого підходу в рамках традиційних предметів вимагає координації зусиль педагогів, що також потребує часу. Оптимальною стратегією є поєднання урочної та позаурочної форм реалізації інтегрованого навчання, коли частина змісту інтегрується у базові предмети природничо-математичного циклу, а проєктна діяльність здійснюється у форматі гуртків, факультативів, індивідуальних консультацій. Важливо забезпечити визнання позаурочної роботи педагогів у навчальному навантаженні, що стимулюватиме їхню активність у цьому напрямі [1, 19, 33, 44].

Партнерські відносини з зовнішніми організаціями розширюють можливості для реалізації організаційно-педагогічних умов. Співпраця з університетами може забезпечити доступ до наукових лабораторій, бібліотечних ресурсів, експертизи професорсько-викладацького складу, профорієнтаційні можливості для учнів. Партнерство з ІТ-компаніями та технологічними стартапами надає можливості для стажувань, участі у хакатонах, менторства з боку практикуючих фахівців, розуміння реальних вимог індустрії до компетенцій працівників. Взаємодія з

науково-дослідними інститутами дозволяє учням долучатися до справжніх наукових досліджень, працювати з унікальним обладнанням, публікувати результати у наукових виданнях [24, 33, 39].

Громадські організації, особливо ті, що спеціалізуються на популяризації науки та технологій, можуть бути цінними партнерами у організації позашкільної STEM-діяльності. Вони часто мають досвід проведення масових науково-популярних заходів, фестивалів, конкурсів, володіють методиками неформальної освіти, що доповнюють формальне навчання у школі. Батьківська спільнота також може бути залучена до підтримки STEM-ініціатив, особливо коли батьки працюють у технічних сферах і можуть поділитися досвідом, надати консультації, організувати екскурсії на підприємства [4, 8, 15, 33, 45].

Система моніторингу та оцінювання ефективності реалізації організаційно-педагогічних умов має бути вбудована у процес впровадження інтегрованого курсу з самого початку. Регулярний збір даних про різні аспекти освітнього процесу дозволяє своєчасно виявляти проблеми та коригувати діяльність. Моніторинг може включати відвідування занять адміністрацією та методистами з подальшим аналізом за чітко визначеними критеріями, анкетування учнів для виявлення їхнього сприйняття інтегрованого навчання та задоволеності різними його аспектами, інтерв'ювання педагогів для з'ясування труднощів та виявлення потреб у підтримці, аналіз портфоліо учнівських проєктів для оцінки якості міждисциплінарної інтеграції [8, 23, 24, 40].

Критичне ставлення до результатів моніторингу передбачає розуміння, що не всі позитивні чи негативні зміни пов'язані безпосередньо з впровадженням інтегрованого курсу. На освітні результати впливає безліч факторів, і виокремити ефект конкретного педагогічного втручання методологічно складно. Водночас систематичний моніторинг дозволяє виявляти тенденції, порівнювати різні періоди, різні групи учнів, різні підходи до організації навчання, що створює емпіричну основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо вдосконалення освітнього процесу [23, 40].

Культурна релевантність змісту інтегрованого навчання означає його відповідність культурному контексту життя учнів, використання локальних прикладів, врахування регіональних особливостей, звернення до національної історії науки та технологій. Коли учні вивчають математичне моделювання на прикладах, пов'язаних з їхнім містом чи регіоном, досліджують екологічні проблеми власної місцевості, проєктують рішення для покращення свого безпосереднього оточення, це підвищує особистісну значущість навчання і сприяє формуванню локальної ідентичності та громадянської відповідальності [29, 31, 33].

Водночас культурна релевантність не означає обмеження кругозору учнів локальним контекстом. Важливо забезпечувати баланс між локальним та глобальним, демонструвати, як місцеві проблеми вписуються у контекст національних та планетарних викликів, як досвід інших країн може бути адаптований до українських реалій, як українські інновації можуть мати глобальне значення. Участь у міжнародних STEM-проєктах, спілкування з ровесниками з інших країн через цифрові платформи, вивчення міжнародних кейсів розширює перспективу учнів та формує глобальну компетентність [7, 15, 29, 44].

Етичні аспекти STEM-освіти набувають дедалі більшої актуальності у контексті стрімкого розвитку технологій. Учні мають не лише опановувати технічні компетенції, а й розвивати здатність до етичної рефлексії щодо наслідків застосування науки та технологій. Обговорення етичних дилем, пов'язаних з генною інженерією, штучним інтелектом, збором великих даних, автоматизацією виробництва, має бути інтегрованим у зміст STEM-курсів. Проєкти учнів мають оцінюватися не лише за технічною досконалістю, а й за врахуванням соціальних та екологічних наслідків запропонованих рішень [29, 33].

Висновки до розділу 1

Отже, теоретичний аналіз у Розділі 1 підтвердив, що STEM – освіта є пріоритетною освітньою стратегією, яка передбачає методологічне переосмислення процесу навчання. Обґрунтовано, що міжпредметні зв'язки виступають ключовим механізмом реалізації інтегрального потенціалу, дозволяючи учням 7 – 9 класів бачити математику не як ізольовану дисципліну, а

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО як інструмент для розв’язання реальних проблем у сферах технологій, інженерії та природничих наук.

Комплекс організаційно-педагогічних умов розвитку міжпредметних зв’язків математики з іншими STEM-дисциплінами в учнів базової середньої освіти є складною багаторівневою системою, що охоплює змістові, методичні, технологічні, кадрові, організаційні, культурні аспекти. Зокрема, було визначено, що ефективне впровадження інтегрованого курсу та розвиток зв’язків забезпечується такими ключовими умовами: кадрове забезпечення, змістовне наповнення та технологічне забезпечення.

Ефективність цих умов проявляється не ізольовано, а у їхній взаємодії та взаємопідсиленні, що вимагає системного підходу до проєктування та реалізації інтегрованого навчання. Таким чином теоретичні засади, визначені у Розділі 1, формують концептуальну основу для розробки практичної методики інтеграції математики з іншими STEM – дисциплінами в освітньому процесі закладів базової середньої освіти.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВПРОВАДЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ STEM-ЗАНЯТЬ

2.1 Аналіз сучасного стану впровадження інтегрованих STEM курсів

Впровадження інтегрованих STEM-курсів у вітчизняній освітній системі відбувається нерівномірно та характеризується значною варіативністю підходів, моделей організації та рівня реалізації у різних закладах освіти. Аналіз сучасного стану цього процесу є необхідним для розуміння реальних можливостей, обмежень та перспектив розвитку STEM-освіти в Україні, а також для обґрунтування оптимальних шляхів подальшого впровадження інтегрованого підходу у навчанні природничо-математичних дисциплін.

Нормативно-правову основу впровадження STEM-освіти в Україні складає комплекс державних документів, які визначають стратегічні орієнтири та механізми реалізації цього напрямку. Методичні рекомендації Інституту модернізації змісту освіти щодо впровадження STEM-освіти у загальноосвітніх та позашкільних навчальних закладах визначають основні підходи до організації навчального процесу, вимоги до матеріально-технічного забезпечення, напрями підготовки педагогічних кадрів [19, 44]. Документи наголошують на необхідності інтеграції змісту навчальних предметів природничо-математичного циклу, використання проєктних та дослідницьких методів навчання, створення відповідного освітнього середовища, що стимулює розвиток творчого та критичного мислення учнів.

Аналіз практики впровадження інтегрованих STEM-курсів у закладах загальної середньої освіти свідчить про поступове зростання їхньої кількості протягом останніх років. Особливо активно цей процес відбувається у великих містах та обласних центрах, де створюються спеціалізовані STEM-лабораторії, оснащені сучасним обладнанням для проведення експериментів, робототехнічними конструкторами, цифровими засобами навчання. У столичних навчальних закладах функціонують наукові STEAM-лабораторії, які забезпечують

проведення інтегрованих занять з використанням інноваційних технологій та методів навчання [3]. Подібні приклади успішного впровадження STEM-освіти демонструють заклади освіти у різних регіонах України, що свідчить про загальнодержавний характер цього процесу [21, 22, 32].

Матеріально-технічне забезпечення закладів освіти для реалізації STEM-підходу здійснюється через різні канали фінансування. Державні програми підтримки STEM-освіти передбачають виділення коштів на оснащення навчальних кабінетів та створення спеціалізованих лабораторій [20, 36]. Водночас значна частина закладів освіти, особливо у сільській місцевості та малих містах, не має достатнього технічного оснащення для повноцінної реалізації інтегрованих STEM-курсів. Це створює ситуацію нерівності освітніх можливостей, коли доступ до якісної STEM-освіти залежить від місця проживання та типу навчального закладу.

Типовий склад обладнання STEM-лабораторій включає робототехнічні платформи різного рівня складності, що дозволяють учням освоювати основи механіки, електроніки та програмування. LEGO-конструктори широко використовуються для розвитку у дітей навичок конструювання, алгоритмічного мислення та командної роботи [38]. Більш просунутим рівнем є використання платформи Arduino, яка надає можливості для створення складних автоматизованих систем, інтеграції датчиків, розробки власних проєктів [27]. Цифрові лабораторії з датчиками для вимірювання фізичних, хімічних та біологічних параметрів забезпечують проведення експериментів з високою точністю та можливістю комп'ютерної обробки результатів [34]. Такі технічні засоби перетворюють традиційні навчальні експерименти на сучасні дослідження, що відповідають рівню професійної наукової діяльності.

Організаційні моделі реалізації STEM-освіти у вітчизняних закладах демонструють значну варіативність. Частина шкіл впроваджує окремі додаткові заняття, які можуть бути включенні до навчального плану як вибіркового предмету або реалізовуватися у форматі позаурочної діяльності. Така модель дозволяє цілеспрямовано формувати міжпредметні компетентності у спеціально організованому освітньому просторі, проте може призводити до певної ізоляції

STEM-змісту від базових предметів природничо-математичного циклу. Інші заклади обирають шлях інтеграції STEM-підходу у традиційні навчальні предмети, збагачуючи їх зміст міждисциплінарними завданнями, проєктами та дослідницькими діяльностями [5]. Така модель є менш ресурсномісткою з точки зору необхідності окремих годин у навчальному плані, проте вимагає високої професійної компетентності педагогів та їхньої готовності до міжпредметної співпраці.

Значна кількість закладів освіти розвивають STEM-напрямок через створення спеціалізованих класів або профільних груп, де поглиблено вивчаються природничо-математичні дисципліни з використанням інтегрованих підходів [35, 43]. Такі класи зазвичай мають пріоритетний доступ до STEM-лабораторій, більшу годинну сітку для проєктної діяльності, можливість участі у профільних олімпіадах та конкурсах. Водночас це створює ризик елітизації STEM-освіти, коли якісні освітні можливості концентруються у окремих класах, тоді як більшість учнів залишається поза інтегрованим навчанням.

Змістове наповнення додаткових STEM-занять у різних закладах освіти демонструє як спільні тенденції, так і значну варіативність. Спільною є орієнтація на розв'язання практичних задач, використання проєктних методів навчання, інтеграція знань з різних предметних областей. Тематика проєктів та досліджень охоплює широкий спектр напрямів від робототехніки та програмування до екологічних досліджень, енергетики, біотехнологій. Водночас відсутність єдиної типової програми інтегрованого курсу STEM призводить до того, що кожен заклад освіти або навіть окремий педагог самостійно визначає зміст, структуру та методику викладання, що утруднює обмін досвідом та оцінювання результативності різних підходів.

Система позашкільної освіти відіграє важливу роль у розвитку STEM-напряму, надаючи додаткові можливості для поглибленого вивчення природничих наук та технологій, реалізації складних довготривалих проєктів, участі у наукових дослідженнях. Віртуальний STEM-центр Малої академії наук України забезпечує доступ до онлайн-курсів, віртуальних лабораторій, методичних матеріалів для

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО педагогів та учнів [6]. Така платформа частково компенсує нерівність матеріально-технічного забезпечення закладів освіти, надаючи можливість віртуального проведення експериментів та досліджень для тих, хто не має доступу до реального обладнання.

Конкурсний рух у галузі STEM-освіти активно розвивається і включає різноманітні форми змагань та демонстрації досягнень учнів. Всеукраїнський конкурс-захист науково-дослідницьких робіт учнів Малої академії наук є авторитетним майданчиком для презентації результатів дослідницької діяльності школярів у галузі природничих та технічних наук [24]. Окремо варто відзначити STEM-фестиваль на базі Чорноморського національного університету імені Петра Могили, який організовується кафедрою фізики та математики та створює платформу для демонстрації учнівських проєктів і обміну досвідом між закладами освіти. Участь у такому конкурсі стимулює учнів до глибокого опрацювання обраної теми, використання наукових методів дослідження, інтеграції знань з різних предметних областей. Всеукраїнський конкурс SuperUrok демонструє кращі практики викладання з використанням інноваційних методів та технологій [8]. STEM-фестивалі та змагання з робототехніки створюють атмосферу творчої конкуренції, демонструють практичні результати STEM-навчання, популяризують природничо-технічну освіту серед широкої аудиторії [39, 45].

Підготовка педагогічних кадрів до впровадження STEM-освіти залишається однією з найбільш проблемних ділянок. Дослідження свідчать про недостатню готовність значної частини вчителів природничо-математичних дисциплін до реалізації інтегрованого підходу [25]. Це пов'язано з кількома чинниками: традиційна предметна спеціалізація педагогічної освіти не забезпечує формування компетентностей міждисциплінарного викладання; обмежений досвід роботи з проєктними методами навчання та фасилітації групової діяльності; недостатнє володіння сучасними цифровими технологіями та спеціалізованим обладнанням STEM-лабораторій; психологічні бар'єри, пов'язані з необхідністю виходу за межі звичної предметної області та співпраці з колегами з інших дисциплін.

Система підвищення кваліфікації поступово адаптується до нових потреб, пропонуючи спеціалізовані програми розвитку STEM-компетентностей педагогів [2, 9]. Ефективні програми професійного розвитку поєднують теоретичну підготовку з практичними компонентами, що включають розробку міждисциплінарних уроків, апробацію різних методів інтегрованого навчання, роботу з обладнанням STEM-лабораторій. Модель професійного перенавчання на основі розвитку STEM-компетентностей передбачає поетапне формування необхідних знань та умінь з можливістю практичного застосування у власній педагогічній діяльності [37].

Аналіз результатів міжнародних та національних оцінювань якості освіти виявляє проблемні аспекти математичної та природничо-наукової підготовки українських учнів. Результати PISA свідчать про недостатній рівень математичної грамотності, що розуміється як здатність формулювати, застосовувати та інтерпретувати математику у різноманітних контекстах [40]. Особливо низькі показники демонструють українські школярі у завданнях, що вимагають застосування математичних знань до реальних життєвих ситуацій, інтерпретації результатів у контексті початкової проблеми, використання математичного моделювання для розв'язання практичних задач. Дані Національного мультипредметного тесту також вказують на труднощі учнів у виконанні завдань міждисциплінарного характеру, що потребують інтеграції знань з різних предметних областей [23]. Така ситуація актуалізує необхідність посилення міжпредметних зв'язків та контекстуалізації математичного навчання, що є ключовими ідеями STEM-підходу.

Регіональні відмінності у впровадженні STEM-освіти є суттєвими і відображають загальну нерівність освітнього розвитку територій. Столичні заклади освіти та школи обласних центрів мають кращі можливості для створення STEM-лабораторій, залучення висококваліфікованих педагогів, участі у міжнародних проєктах та обміні досвідом. Сільські школи та заклади освіти малих міст часто обмежені у ресурсах і змушені шукати альтернативні шляхи впровадження STEM-

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО підходу, зокрема через використання безкоштовних онлайн-ресурсів, віртуальних лабораторій, простих та доступних матеріалів для проєктної діяльності.

Досвід окремих закладів освіти демонструє можливість успішного впровадження інтегрованих STEM-курсів навіть за обмежених ресурсів, що досягається через творчий підхід педагогів, налагодження партнерських зв'язків з місцевими підприємствами та науковими установами, активне залучення батьків до підтримки STEM-ініціатив. Такі приклади свідчать про те, що ключовим чинником успішності впровадження STEM-освіти є не стільки наявність дорогого обладнання, скільки педагогічна компетентність, мотивація та готовність до інновацій з боку освітнього колективу.

Аналіз змісту інтегрованих STEM-курсів, що реалізуються у вітчизняних закладах освіти, виявляє значну варіативність як у тематиці, так і в глибині міжпредметної інтеграції. Частина курсів фокусується на робототехніці та програмуванні, що є зрозумілим з огляду на популярність цих напрямів серед учнів та відносну доступність відповідного обладнання. Робототехнічні проєкти природно інтегрують математичні розрахунки параметрів конструкцій, фізичні принципи механіки та електроніки, алгоритмічне мислення та програмування. Водночас існує ризик звуження STEM-освіти до технологічної складової з недостатньою увагою до природничих наук, що може призвести до неповного розуміння учнями сутності інтегрованого підходу [26, 38].

Інші інтегровані курси будуються навколо екологічної проблематики, що також має значний педагогічний потенціал. Екологічні дослідження вимагають використання математичних методів для обробки даних спостережень, застосування знань з біології для розуміння функціонування екосистем, хімічного аналізу для визначення якості води, повітря, ґрунту, розробки технологічних рішень для зменшення антропогенного впливу на довкілля. Така тематика має додаткову перевагу соціальної релевантності, оскільки екологічні проблеми є актуальними для більшості регіонів України та викликають справжню занепокоєність підлітків [13, 18, 29].

Курси, орієнтовані на математичне моделювання фізичних, хімічних та біологічних процесів, забезпечують глибшу інтеграцію математики з природничими науками. Учні освоюють методологію наукового пізнання через послідовність етапів: спостереження явища, виявлення закономірностей, побудова математичної моделі, перевірка моделі експериментальними даними, уточнення моделі. Такий підхід формує розуміння математики як інструменту пізнання природи, а не лише абстрактної системи символів та правил. Водночас реалізація таких курсів вимагає від педагогів високої предметної компетентності як у математиці, так і в природничих науках, що обмежує їхнє поширення [5, 13, 18].

Роль інформаційних технологій у впровадженні інтегрованих STEM-курсів виходить за межі простого використання комп'ютерів як допоміжного засобу. Цифрові технології якісно змінюють можливості навчання через забезпечення доступу до величезних масивів даних для аналізу, надання потужних інструментів візуалізації та моделювання, створення можливостей для віртуальних експериментів та симуляцій. Використання спеціалізованих програмних середовищ для математичних обчислень, обробки даних, тривимірного моделювання перетворює абстрактні математичні операції на наочні процеси, результати яких можна побачити та проаналізувати [17, 27, 28].

Платформи для програмування відіграють особливу роль у розвитку алгоритмічного та обчислювального мислення учнів. Коли учні програмують моделі фізичних систем, створюють алгоритми обробки експериментальних даних, розробляють системи автоматичного управління, вони одночасно опановують як програмування, так і предметний зміст з природничих наук та математики. Використання платформи Arduino для створення автоматизованих систем з датчиками та виконавчими пристроями дозволяє реалізувати повний цикл від математичної моделі до функціонуючого технічного об'єкта [27].

Система оцінювання у практиці впровадження інтегрованих STEM-курсів залишається проблемною зоною. Більшість закладів освіти продовжують використовувати традиційні форми контролю, що не відповідають специфіці інтегрованого навчання. Оцінювання за окремими предметами не відображає

здатності учнів інтегрувати знання з різних областей, застосовувати їх у нових контекстах, працювати над комплексними проєктами. Водночас розробка та впровадження автентичних форм оцінювання вимагає значних зусиль від педагогів, узгодження підходів між різними вчителями, подолання інерції традиційної системи [23, 28, 40].

Деякі заклади освіти експериментують з використанням критеріального оцінювання проєктів, портфоліо досягнень, захистів результатів досліджень. Такі форми краще відповідають цілям STEM-освіти, проте їхнє впровадження стикається з опором як з боку частини педагогів, так і батьків, які звикли до традиційних балів та середніх показників успішності. Необхідна систематична роз'яснювальна робота щодо переваг нових підходів до оцінювання, їхнього зв'язку з реальними вимогами до компетентностей у професійній діяльності [28, 33].

Роль батьків у підтримці STEM-освіти дітей є суттєвою, проте часто недооціненою. Батьки, які самі працюють у технічних сферах, можуть надавати цінну підтримку через консультації, допомогу у пошуку ресурсів, організацію екскурсій на підприємства, ділення власним досвідом професійної діяльності. Водночас батьки з гуманітарною освітою можуть відчувати невпевненість у власній здатності підтримати дитину у вивченні STEM-дисциплін, що вимагає формування розуміння, що підтримка може проявлятися не лише у допомозі з навчальними завданнями, а й у заохоченні допитливості, забезпеченні доступу до освітніх ресурсів, створенні простору та часу для самостійних експериментів [4, 33, 41].

Батьківські очікування щодо освіти впливають на мотивацію учнів до вивчення STEM-дисциплін. У суспільствах, де технічні професії високо цінуються та добре оплачуються, батьки активно заохочують дітей до поглибленого вивчення математики та природничих наук. Водночас в Україні спостерігається певна амбівалентність: з одного боку, визнання важливості технічної освіти, з іншого боку, міграція висококваліфікованих технічних фахівців за кордон через кращі можливості для кар'єри та оплати праці створює сумніви у вигідності вибору технічних професій [7, 41].

Вплив воєнного стану на впровадження STEM-освіти є складним та суперечливим. З одного боку, руйнування інфраструктури, вимушена міграція населення, психологічні травми створюють надзвичайно складні умови для будь-яких освітніх інновацій. Багато закладів освіти втратили обладнання STEM-лабораторій, педагогічні колективи зазнали змін, фокус зміщується на забезпечення базових освітніх потреб у умовах надзвичайної ситуації. З іншого боку, війна актуалізувала важливість технологічного розвитку для національної безпеки, продемонструвала критичну роль інженерів, програмістів, дослідників у створенні інноваційних рішень для оборони країни [15, 44].

Досвід дистанційного та змішаного навчання, набутий під час пандемії та продовжений в умовах воєнного стану, вплинув на практику впровадження STEM-освіти. Педагоги освоїли цифрові інструменти для онлайн-викладання, навчилися організовувати віртуальні лабораторні роботи, керувати проєктною діяльністю у дистанційному форматі. Віртуальні STEM-центри набули особливої актуальності як засіб забезпечення доступу до освітніх ресурсів незалежно від місця перебування учнів. Водночас очевидними стали обмеження дистанційного формату для практичної діяльності, що є серцевиною STEM-освіти, необхідність безпосередньої роботи з реальним обладнанням, живої взаємодії у командній проєктній роботі [6, 17, 44].

Регіональна специфіка впровадження STEM-освіти відображає загальну картину економічного та освітнього розвитку територій. У промислово розвинених регіонах, де функціонують підприємства машинобудування, хімічної промисловості, ІТ-компанії, легше налагоджувати партнерські відносини між школами та підприємствами, організовувати екскурсії, стажування, залучати фахівців як менторів для учнівських проєктів. У аграрних регіонах STEM-освіта може інтегруватися з сільськогосподарською тематикою через вивчення біотехнологій, точного землеробства, автоматизації процесів, що робить її релевантною до місцевого контексту [21, 22, 34, 36].

Особливості сільських шкіл створюють як виклики, так і можливості для STEM-освіти. Виклики пов'язані з обмеженістю матеріально-технічної бази,

труднощами залучення висококваліфікованих педагогів, ізоляваністю від наукових та культурних центрів. Водночас сільське середовище надає унікальні можливості для практико-орієнтованих STEM-проектів, пов'язаних з сільським господарством, екологією, відновлюваною енергетикою. Малокомплектні класи дозволяють реалізувати більш індивідуалізований підхід, тісніший зв'язок з місцевою громадою створює умови для соціально значущих проектів [20, 21, 22, 44].

Опірність змінам є природною реакцією освітніх систем на інновації, що спостерігається і у процесі впровадження інтегрованих STEM-курсів. Частина педагогів, особливо з довгим стажем роботи, сформованими професійними звичками, може сприймати вимоги інтегрованого викладання як загрозу власній компетентності, додаткове навантаження без відповідної компенсації, відхід від перевірених методів роботи. Подолання опору вимагає не адміністративного тиску, а створення умов для усвідомлення педагогами переваг нового підходу через безпосередній досвід, спостереження за успішними практиками колег, відчуття підтримки адміністрації та методичних служб [2, 9, 16, 25].

Генерація інновацій знизу, від ініціативних педагогів-ентузіастів, є потужним механізмом розвитку STEM-освіти. У багатьох закладах впровадження інтегрованих курсів розпочиналося з ініціативи окремих вчителів, які експериментували з новими підходами, напрацьовували власний досвід, поступово залучали колег до співпраці. Така низхідна модель інновацій має перевагу органічності, відповідності контексту конкретного закладу, високої мотивації учасників. Водночас вона може призводити до нерівномірності впровадження, залежності від окремих осіб, труднощів масштабування успішних практик [1, 9, 37].

Централізовані ініціативи на рівні державної освітньої політики мають інші переваги та обмеження. Вони забезпечують системність впровадження, виділення ресурсів, розробку нормативної бази, створення інфраструктури підтримки. Водночас централізовані підходи можуть бути недостатньо гнучкими, не враховувати місцеву специфіку, призводити до формального виконання вимог без

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО справжнього осмислення та присвоєння педагогами ідей інтегрованого навчання. Оптимальною є комбінація низхідних та висхідних ініціатив, коли державна політика створює рамкові умови та ресурси, а конкретні форми реалізації визначаються на місцевому рівні відповідно до контексту [19, 20, 44].

Міжнародне співробітництво у галузі STEM-освіти відкриває можливості для обміну досвідом, участі у спільних проєктах, доступу до світових освітніх ресурсів. Українські заклади освіти беруть участь у міжнародних програмах, конкурсах, олімпіадах, що дозволяє учням та педагогам порівнювати свій рівень з міжнародними стандартами, вчитися у кращих світових практик, формувати глобальну перспективу. Водночас важливо зберігати баланс між запозиченням зарубіжного досвіду та розвитком власної моделі STEM-освіти, що враховує українську специфіку [7, 15, 39, 44].

Питання мови викладання STEM-дисциплін набуває особливої актуальності в умовах глобалізації науки та домінування англійської мови у міжнародній науковій комунікації. З одного боку, володіння англійською є необхідною компетенцією для доступу до світових наукових ресурсів, участі у міжнародних проєктах, майбутньої професійної діяльності у глобальному контексті. З іншого боку, викладання складних STEM-концепцій рідною мовою забезпечує глибше розуміння, зменшує когнітивне навантаження, підтримує розвиток української наукової термінології. Збалансованим підходом може бути викладання основного змісту українською з поступовим введенням англійської термінології, використання автентичних англійських ресурсів для самостійної роботи учнів [41, 44].

Фінансування STEM-освіти є критичною проблемою, що обмежує масштаби впровадження інтегрованих курсів. Обладнання для STEM-лабораторій є дорогим, потребує регулярного оновлення відповідно до технологічного прогресу, вимагає витрат на технічне обслуговування та ремонт. Підвищення кваліфікації педагогів, розробка навчально-методичних матеріалів, організація конкурсів та фестивалів також потребують фінансових ресурсів. Державне фінансування не завжди є

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО достатнім та стабільним, що створює невизначеність для планування розвитку STEM-освіти [19, 20, 36, 44].

Диверсифікація джерел фінансування через залучення грантів міжнародних організацій, спонсорської підтримки ІТ-компаній та підприємств, благодійних внесків батьків може частково компенсувати обмеженість бюджетного фінансування. Водночас така модель створює ризик нерівності, коли заможні заклади освіти накопичують ресурси та розвиваються, тоді як бідніші школи відстають усе більше. Необхідна виважена політика, що поєднує базове державне фінансування всіх закладів з можливістю залучення додаткових ресурсів при збереженні механізмів вирівнювання [20, 36, 44].

Якість навчально-методичного забезпечення інтегрованих STEM-курсів є нерівномірною. Існують окремі приклади якісних розробок, що ґрунтуються на сучасних педагогічних підходах, враховують вікові особливості учнів, забезпечують справжню міждисциплінарну інтеграцію [5, 11, 30, 33]. Водночас значна частина матеріалів має недоліки: поверхнева інтеграція без глибоких змістових зв'язків, перевантаженість теоретичним матеріалом на шкоду практичній діяльності, недостатня адаптованість до вітчизняного контексту при запозиченні зарубіжних розробок [5, 18].

Створення якісного навчально-методичного забезпечення вимагає колективних зусиль команд, що включають педагогів-практиків з досвідом реалізації інтегрованого навчання, методистів з глибоким розумінням дидактики міжпредметної інтеграції, фахівців предметників для забезпечення наукової коректності змісту, дизайнерів для створення привабливих та функціональних навчальних матеріалів. Такі команди можуть формуватися на базі університетів, інститутів післядипломної освіти, ресурсних центрів STEM-освіти [2, 11, 16, 25, 33].

Перспективи подальшого розвитку процесу впровадження інтегрованих STEM-курсів пов'язані з кількома напрямками. Масштабування успішних практик через їхнє документування, поширення, адаптацію до різних контекстів дозволить більшій кількості закладів освіти скористатися напрацьованим досвідом.

Систематизація та узагальнення практичного досвіду через дослідження ефективності різних моделей інтеграції створить емпіричну основу для обґрунтованих рекомендацій. Розвиток системи підготовки та підвищення кваліфікації педагогічних кадрів забезпечить наявність компетентних фахівців, здатних реалізувати інтегрований підхід [2, 9, 16, 25, 37, 44].

Проведений аналіз сучасного стану впровадження інтегрованих STEM-курсів дозволяє виокремити основні тенденції, проблеми та перспективи розвитку цього напрямку. Позитивною тенденцією є зростання кількості закладів освіти, що реалізують STEM-підхід, розширення мережі спеціалізованих лабораторій, активізація конкурсного руху та наукової діяльності учнів у галузі природничих та технічних наук. Водночас існують суттєві проблеми: нерівномірність впровадження STEM-освіти у різних регіонах та типах закладів, недостатня підготовка педагогічних кадрів, відсутність єдиних стандартів та критеріїв оцінювання результатів інтегрованого навчання, обмеженість фінансування для технічного оснащення всіх закладів освіти. Перспективи розвитку пов'язані з удосконаленням системи підготовки та підвищення кваліфікації педагогів, створенням мережі ресурсних центрів для спільного використання дорогого обладнання, розробкою типових програм інтегрованих курсів із збереженням можливості їх адаптації до умов конкретного закладу освіти.

2.2 Діагностика рівня розвитку компетентностей здобувачів освіти засобами STEM курсів

Ефективність впровадження інтегрованих STEM-курсів потребує надійної системи діагностики результатів навчання, що дозволяє оцінити рівень сформованості у здобувачів освіти необхідних компетентностей, виявити динаміку їхнього розвитку та своєчасно коригувати навчальний процес. Діагностика у контексті STEM-освіти має специфічні особливості, оскільки інтегровані компетентності є складними утвореннями, що включають когнітивні, діяльнісні,

особистісні та соціальні компоненти, які не можуть бути повною мірою виміряні традиційними методами контролю предметних знань.

Концептуальною основою діагностики STEM-компетентностей є компетентнісний підхід, який розглядає компетентність як інтегральну характеристику особистості, що проявляється у здатності ефективно діяти у певних ситуаціях, використовуючи наявні знання, уміння, цінності та особистісні якості. STEM-компетентність визначається як здатність учня інтегрувати знання з природничих наук, технологій, інженерії та математики для розв'язання практичних задач, проведення досліджень, створення інноваційних продуктів. Така компетентність не зводиться до суми предметних знань, а передбачає вміння встановлювати міжпредметні зв'язки, застосовувати знання у нових контекстах, працювати в команді, презентувати та обґрунтовувати результати своєї діяльності.

Структура STEM-компетентності включає кілька взаємопов'язаних компонентів. Когнітивний компонент охоплює систему знань з математики, фізики, хімії, біології, інформатики, розуміння їхніх концептуальних зв'язків та взаємозалежностей. Діяльнісний компонент включає уміння застосовувати математичні методи для розв'язання задач з інших предметних областей, проводити експерименти та дослідження, використовувати сучасні технічні засоби та цифрові технології, здійснювати проєктування та конструювання. Мотиваційно-ціннісний компонент відображає інтерес до природничих наук та технологій, усвідомлення їхньої ролі у житті суспільства, готовність до саморозвитку у STEM-галузях. Рефлексивний компонент передбачає здатність до самооцінки власної діяльності, усвідомлення сильних сторін та напрямів розвитку, вміння навчатися на помилках.

Для комплексної діагностики сформованості STEM-компетентності необхідно використовувати різноманітні методи, що дозволяють оцінити різні її аспекти. Тестування залишається найбільш поширеним методом діагностики когнітивного компонента компетентності, проте тести для оцінювання STEM-компетентності мають специфічні характеристики. На відміну від традиційних предметних тестів, що перевіряють знання ізольованих фактів та алгоритмів, тести на STEM-компетентність включають контекстні завдання, що вимагають інтеграції

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО
знань з кількох предметів, застосування математичних методів до аналізу реальних ситуацій, інтерпретації результатів у термінах початкової проблеми.

Розробка діагностичного інструментарію для оцінювання рівня розвитку міжпредметних зв'язків математики потребує чіткого визначення критеріїв та показників. Першим критерієм є розуміння концептуальних зв'язків між математичними поняттями та явищами з інших предметних областей. Показниками цього критерію виступають здатність пояснити фізичний або хімічний зміст математичних операцій та перетворень, уміння виявляти та формулювати математичні закономірності у природничих явищах, розуміння обмежень застосовності математичних моделей для опису реальних процесів. Другим критерієм є вміння застосовувати математичні методи для розв'язання міждисциплінарних задач. Показниками є здатність обрати адекватний математичний апарат для аналізу конкретної ситуації, точність виконання математичних розрахунків у контексті міжпредметних задач, коректність інтерпретації результатів математичного моделювання.

Третім критерієм виступає сформованість дослідницьких умінь у контексті STEM-діяльності. Показники включають здатність формулювати дослідницькі питання на перетині різних предметних областей, планувати експерименти з використанням математичних методів обробки даних, аналізувати результати досліджень із застосуванням статистичних методів, формулювати обґрунтовані висновки на основі інтеграції знань з різних дисциплін. Четвертим критерієм є розвиненість проєктних компетенцій. Показники охоплюють здатність проєктувати технічні об'єкти або технологічні процеси з використанням математичних розрахунків, створювати функціональні прототипи на основі інтеграції природничо-наукових та інженерних знань, документувати процес та результати проєктної діяльності, презентувати власні розробки.

Рівні сформованості STEM-компетентності можуть бути визначені на основі якісних та кількісних показників. Початковий рівень характеризується фрагментарними знаннями з окремих предметів без усвідомлення їхніх зв'язків, здатністю розв'язувати лише типові задачі з чітко визначеними умовами, потребою

у постійній зовнішній допомозі при виконанні міждисциплінарних завдань. Базовий рівень відображає розуміння основних зв'язків між математикою та іншими природничими науками, здатність застосовувати знайомі математичні методи до аналізу простих ситуацій з інших предметних областей, уміння виконувати елементарні дослідження за зразком. Достатній рівень характеризується системним розумінням міжпредметних зв'язків, здатністю самостійно обирати адекватні математичні методи для розв'язання міждисциплінарних задач, умінням планувати та реалізовувати дослідницькі проекти з використанням інтеграції знань. Високий рівень проявляється у глибокому розумінні єдності природничо-наукової картини світу, творчому застосуванні математичних методів у нестандартних ситуаціях, здатності до самостійної постановки та розв'язання складних міждисциплінарних проблем.

Таблиця 2.1

Характеристика рівнів сформованості STEM-компетентності

Рівень	Когнітивний компонент	Діяльнісний компонент	Мотиваційний компонент	Рефлексивний компонент
Початковий	Фрагментарні знання без усвідомлення міжпредметних зв'язків	Виконання типових завдань за зразком	Ситуативний інтерес до окремих тем	Відсутність самооцінки власної діяльності
Базовий	Розуміння простих зв'язків між предметами	Застосування знайомих методів у схожих ситуаціях	Стійкий інтерес до певних напрямів STEM	Елементарна оцінка результатів своєї роботи
Достатній	Системне бачення міжпредметних зв'язків	Самостійний вибір методів розв'язання задач	Усвідомлена мотивація до STEM-діяльності	Аналіз власних дій та їх коригування
Високий	Глибоке розуміння єдності наукової картини світу	Творче застосування знань у нових контекстах	Внутрішня потреба у дослідженні та створенні нового	Рефлексія процесу та результатів діяльності

Методика діагностики когнітивного компонента базується на використанні спеціально розроблених тестових завдань, що включають кілька типів питань. Завдання на розпізнавання міжпредметних зв'язків передбачають ідентифікацію

математичних закономірностей у описі фізичних, хімічних або біологічних явищ, встановлення відповідностей між математичними поняттями та їхніми інтерпретаціями в інших предметних областях. Завдання на застосування математичних методів вимагають розв'язання контекстних задач, де необхідно обрати адекватний математичний апарат, виконати розрахунки та проінтерпретувати результати у термінах початкової ситуації. Завдання на аналіз та синтез передбачають порівняння різних підходів до розв'язання міждисциплінарних проблем, побудову математичних моделей реальних процесів, критичне оцінювання адекватності моделей.

Оцінювання діяльнісного компонента STEM-компетентності потребує спостереження за практичною діяльністю учнів у процесі виконання проєктів та досліджень. Метод експертного оцінювання передбачає використання спеціально розроблених оціночних листів, де фіксуються показники сформованості різних умінь. Критерії оцінювання проєктної діяльності включають якість планування проєкту з визначенням етапів, ресурсів, очікуваних результатів; ефективність використання міждисциплінарних знань у процесі реалізації проєкту; технічну якість створеного продукту; здатність працювати в команді, розподіляти обов'язки та координувати дії; якість презентації результатів із використанням адекватних форм візуалізації даних.

Діагностика дослідницьких умінь здійснюється через аналіз звітів про виконані дослідження, які мають включати чітко сформульоване дослідницьке питання, опис методології дослідження з обґрунтуванням вибору методів, представлення зібраних даних у табличній та графічній формі, математичну обробку результатів із застосуванням адекватних статистичних методів, формулювання висновків та їх обґрунтування на основі отриманих даних. Оцінювання кожного компонента дослідження дозволяє виявити сильні сторони та прогалини у дослідницьких компетенціях учнів.

Мотиваційно-ціннісний компонент діагностується через анкетування, що включає питання про інтерес до різних напрямів STEM-діяльності, оцінку значущості природничо-математичних знань для майбутньої професії та життя,

готовність витрачати вільний час на STEM-проєкти, наміри щодо вибору професії у STEM-галузях. Порівняння результатів анкетування на початку та наприкінці навчального періоду дозволяє оцінити вплив інтегрованого курсу на мотиваційну сферу учнів. Додатковими індикаторами мотивації є активність участі у позаурочних STEM-заходах, ініціативність у пропонуванні тем для проєктів та досліджень, наполегливість у подоланні труднощів при виконанні складних завдань.

Рефлексивний компонент оцінюється через аналіз рефлексивних есе, де учні описують власний досвід участі у STEM-проєктах, аналізують свої успіхи та труднощі, формують плани подальшого розвитку. Розвинені рефлексивні здібності проявляються у здатності критично оцінювати власну діяльність, виявляти причини помилок, усвідомлювати стратегії ефективного навчання та співпраці. Портфоліо досягнень учня є комплексним інструментом, що дозволяє простежити динаміку розвитку STEM-компетентності, зафіксувати найбільш значущі проєкти та дослідження, продемонструвати різноманітність набутого досвіду.

Практична реалізація діагностики передбачає поєднання різних методів на різних етапах навчального процесу. Вхідна діагностика на початку навчального року дозволяє визначити актуальний рівень сформованості STEM-компетентності, виявити індивідуальні особливості учнів, сформувати групи для проєктної діяльності. Поточна діагностика здійснюється систематично у процесі виконання навчальних завдань, проєктів та досліджень, забезпечує зворотний зв'язок для учнів і педагогів, дозволяє своєчасно коригувати навчальний процес. Підсумкова діагностика наприкінці навчального періоду оцінює досягнення у розвитку STEM-компетентності, порівнює результати з початковим рівнем, виявляє ефективність застосованих педагогічних підходів.

Інтерпретація результатів діагностики має враховувати комплексний характер STEM-компетентності та індивідуальні особливості розвитку учнів. Високі показники за одним компонентом компетентності можуть поєднуватися з нижчими показниками за іншими компонентами, що вимагає диференційованого

підходу до подальшого навчання. Динаміка розвитку є не менш важливою, ніж абсолютні показники, оскільки свідчить про ефективність навчального процесу для конкретного учня. Порівняння результатів різних учнів має здійснюватися обережно, з урахуванням їхніх стартових можливостей та індивідуальних траєкторій розвитку.

Результати діагностики використовуються для різних цілей. На індивідуальному рівні вони допомагають учневі усвідомити власні досягнення та напрями подальшого розвитку, мотивують до подолання труднощів, сприяють формуванню реалістичної самооцінки. На рівні навчальної групи результати діагностики дозволяють педагогу коригувати зміст та методи навчання, формувати оптимальні групи для проєктної діяльності, надавати індивідуальну підтримку учням, які потребують додаткової допомоги. На рівні закладу освіти узагальнені результати діагностики використовуються для оцінювання ефективності впровадження інтегрованого курсу STEM, прийняття управлінських рішень щодо розвитку матеріально-технічної бази, організації підвищення кваліфікації педагогів, коригування освітньої програми.

Специфіка діагностики міжпредметних зв'язків математики полягає у необхідності оцінювання не ізольованих предметних знань, а інтегрованих компетенцій, що проявляються у здатності переносити математичні методи у контекст інших дисциплін, встановлювати аналогії між математичними структурами та структурами у природничих науках, використовувати математичну мову для опису явищ з різних предметних областей. Традиційні тести предметних знань не спроможні виявити такі інтегровані компетенції, оскільки фокусуються на перевірці засвоєння фактів та алгоритмів у межах однієї дисципліни. Необхідні спеціально сконструйовані діагностичні ситуації, що вимагають від учнів актуалізації та інтеграції знань з кількох предметів одночасно [5, 18, 29].

Конструювання таких діагностичних ситуацій передбачає відбір контекстів, що природно вимагають міждисциплінарного підходу. Ефективними є задачі з реального життя, де проблема не має очевидної предметної належності і потребує аналізу з різних перспектив. Наприклад, задача оптимізації маршруту руху може

розглядатися з позицій математики через обчислення відстаней та часу, фізики через аналіз динаміки руху, інформатики через алгоритми пошуку оптимального шляху, економіки через розрахунок вартості. Здатність учня побачити багатоаспектність такої задачі та використати відповідні методи з різних дисциплін є індикатором розвитку міжпредметних зв'язків [10, 18, 31].

Проблема валідності діагностичних інструментів у STEM-освіті є особливо актуальною через складність та багатовимірність вимірюваних конструктів. Валідність означає, що інструмент дійсно вимірює те, що призначений вимірювати, а не щось інше. Для діагностики STEM-компетентності це означає, що завдання мають виявляти саме інтегровані компетенції, а не просто суму окремих предметних знань. Перевірка валідності передбачає експертну оцінку змісту завдань фахівцями у галузі STEM-освіти, емпіричну перевірку на репрезентативних вибірках учнів, аналіз кореляцій між різними показниками компетентності [23, 40].

Надійність діагностичних інструментів відображає стабільність результатів вимірювання при повторному застосуванні за незмінних умов. Для забезпечення надійності необхідна чітка стандартизація процедур проведення діагностики, детальні інструкції для педагогів, які проводять тестування, однозначні критерії оцінювання відповідей. Особливо складним є забезпечення надійності експертного оцінювання проєктів, де завжди присутній елемент суб'єктивності. Використання детальних рубрик з чітко визначеними дескрипторами кожного рівня якості, залучення кількох незалежних експертів для оцінювання одного проєкту, спеціальне навчання експертів підвищують надійність оцінювання [28, 33].

Міжнародний досвід оцінювання математичної та природничо-наукової грамотності, зокрема у дослідженнях PISA та TIMSS, демонструє ефективність використання комплексних контекстних завдань для діагностики здатності застосовувати знання у реальних життєвих ситуаціях. Завдання PISA характеризуються автентичністю контекстів, відкритістю формату відповідей, необхідністю не лише виконати розрахунки, а й проінтерпретувати результати, обґрунтувати вибір методу розв'язання, критично оцінити адекватність отриманого

результату. Результати українських учнів у цих дослідженнях вказують на необхідність посилення практичної орієнтації навчання, розвитку здатності застосовувати знання у нових контекстах, що є саме тими цілями, на які орієнтована STEM-освіта [23, 40].

Адаптація міжнародного досвіду оцінювання до вітчизняного контексту вимагає врахування специфіки української освітньої системи, культурних особливостей, рівня розвитку інфраструктури. Пряме перенесення завдань з міжнародних досліджень може бути неадекватним через культурну специфіку контекстів, мовні нюанси, відмінності у навчальних програмах. Необхідна розробка власних діагностичних інструментів, що спираються на кращі світові практики, але враховують українську специфіку [23, 40].

Формувальне оцінювання відіграє особливу роль у процесі розвитку STEM-компетентностей, оскільки надає учням регулярний зворотний зв'язок про їхній прогрес, виявляє труднощі на ранніх етапах, коли їх ще можна ефективно подолати, стимулює рефлексію власної діяльності. На відміну від підсумкового оцінювання, що фіксує досягнутий рівень у певний момент часу, формувальне оцінювання є інтегрованим у навчальний процес і спрямоване на підтримку навчання. Ефективні практики формувального оцінювання включають надання конструктивного зворотного зв'язку, що не обмежується вказівкою на помилки, а пропонує шляхи їх виправлення, використання питань для стимулювання мислення замість готових відповідей, створення ситуацій для самооцінювання та взаємооцінювання [28, 33].

Самооцінювання розвиває у учнів здатність до рефлексії власної діяльності, усвідомлення сильних сторін та напрямів розвитку, формування реалістичної самооцінки. Для ефективного самооцінювання учні потребують чітких критеріїв, зразків робіт різного рівня для порівняння, систематичної практики рефлексії. Початково самооцінки учнів можуть бути нереалістичними, проте з набуттям досвіду та зворотного зв'язку від педагога та однолітків вони стають більш адекватними. Порівняння самооцінки учня з оцінкою педагога є цінним діагностичним показником розвитку рефлексивних здібностей [28, 33].

Взаємооцінювання створює можливості для навчання через аналіз робіт однокласників, формулювання конструктивних коментарів, дискусії про критерії якості. Коли учні оцінюють проекти своїх однолітків за чітко визначеними критеріями, вони глибше усвідомлюють ці критерії і можуть краще застосовувати їх до власної роботи. Процес надання зворотного зв'язку одне одному розвиває комунікативні навички, емпатію, здатність до конструктивної критики. Педагогічна організація взаємооцінювання передбачає навчання учнів правилам конструктивного зворотного зв'язку, створення безпечної атмосфери, де критика сприймається як допомога у розвитку, а не як особиста образа [10, 31, 33].

Діагностика групової роботи представляє особливі методологічні виклики, оскільки необхідно розрізняти індивідуальний внесок кожного учасника групи у спільний результат. Спостереження за процесом групової роботи дозволяє фіксувати патерни взаємодії, розподіл ролей, динаміку конфліктів та їх розв'язання, взаємодопомогу між учасниками. Використання відеозапису групової роботи з подальшим аналізом надає можливість для детального вивчення складних процесів колаборації, проте є ресурсномістким та вимагає спеціальної підготовки для інтерпретації [10, 33].

Індивідуальні внески у груповий проєкт можуть оцінюватися через комбінацію методів: самозвіти учнів про виконану роботу, взаємооцінювання членами групи внеску кожного учасника, експертна оцінка індивідуальних компонентів проєкту, індивідуальні презентації або захисти окремих аспектів проєкту. Важливо уникати ситуацій, коли оцінка групи автоматично стає оцінкою кожного її члена незалежно від реального внеску, що демотивує активних учасників та створює можливості для паразитування [10, 31, 33].

Цифрові технології розширюють можливості діагностики через автоматизацію збору та обробки даних, створення адаптивних тестів, що підлаштовуються під рівень учня, візуалізацію результатів у зручних для інтерпретації формах. Системи управління навчанням дозволяють систематично збирати дані про активність учнів, час виконання завдань, типові помилки, динаміку прогресу. Аналітика великих даних виявляє патерни, що не є очевидними

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО при традиційних методах аналізу, дозволяє прогнозувати ризики неуспішності та своєчасно втручатися [17, 27, 28].

Водночас використання цифрових технологій у діагностиці має обмеження та ризики. Автоматизоване оцінювання ефективне для завдань з однозначними відповідями, проте має труднощі з оцінюванням відкритих відповідей, творчих рішень, процесуальних аспектів діяльності. Існують етичні питання щодо приватності даних учнів, можливості їх використання для маркування або дискримінації, необхідності прозорості алгоритмів прийняття рішень на основі даних [17, 28].

Лонгітюдні дослідження розвитку STEM-компетентностей протягом тривалого періоду надають цінну інформацію про динаміку, фактори впливу, довготривалі ефекти освітніх втручань. На відміну від одномоментних зрізів, що фіксують стан у певний момент, лонгітюдний дизайн дозволяє відстежувати індивідуальні траєкторії розвитку, виявляти критичні періоди, коли відбуваються найбільш інтенсивні зміни, досліджувати кумулятивні ефекти тривалого впливу інтегрованого навчання. Водночас лонгітюдні дослідження є ресурсномісткими, вимагають збереження постійного контакту з учасниками протягом років, стикаються з проблемою вибування учасників [23, 40].

Діагностика креативності у контексті STEM-діяльності є методологічно складним завданням через відсутність єдиного загальновизнаного визначення та операціоналізації креативності. Традиційні тести креативності часто фокусуються на дивергентному мисленні, здатності генерувати множину відповідей на відкрите питання. У контексті STEM важливі також інші аспекти креативності: здатність бачити проблеми там, де інші їх не помічають, знаходити несподівані зв'язки між віддаленими поняттями, переносити ідеї з однієї області у іншу, наполегливість у пошуку нестандартних рішень. Оцінювання креативності проєктів може здійснюватися за критеріями оригінальності ідеї, елегантності рішення, множинності підходів, спробованих у процесі роботи [10, 12, 29].

Культурна справедливість діагностичних інструментів означає, що вони не дискримінують учнів з різних соціокультурних груп, не надають несправедливих

переваг одним учням над іншими через використання контекстів, знайомих лише певній культурній групі. Досягнення культурної справедливості вимагає ретельної роботи над формулюванням завдань, пілотного тестування на різноманітних групах учнів, аналізу диференційного функціонування завдань для різних груп. Використання універсальних контекстів, зрозумілих учням з різним досвідом, або навпаки, надання вибору між різними контекстами для одного завдання може підвищити справедливість діагностики [29, 40].

Гендерна справедливість діагностичних інструментів передбачає відсутність систематичного ухилу на користь хлопців або дівчат. Дослідження показують, що контексти завдань можуть впливати на результати різних гендерних груп: завдання з технічними контекстами можуть бути легшими для хлопців через їхній більший досвід роботи з технікою, тоді як завдання з біологічними контекстами можуть бути легшими для дівчат. Збалансоване представлення різноманітних контекстів, уникнення гендерних стереотипів у формулюваннях, використання нейтральних персонажів сприяють гендерній справедливості діагностики [29].

Діагностика учнів з особливими освітніми потребами вимагає адаптації інструментів та процедур відповідно до специфіки порушень. Для учнів з вадами зору необхідні завдання у доступних форматах, використання тактильних моделей, аудіоопис візуальної інформації. Для учнів з порушеннями слуху важливо забезпечити зрозумілість письмових інструкцій, можливість комунікації жестовою мовою. Учні з дислексією потребують додаткового часу для читання завдань, можливості використання допоміжних технологій. Адаптація має зберігати те, що вимірюється, змінюючи лише спосіб представлення інформації або відповіді [28].

Інтерпретація результатів діагностики вимагає обережності та глибокого розуміння обмежень використаних інструментів. Кількісні показники не відображають повної картини компетентності учня і потребують доповнення якісними даними про особливості його діяльності, траєкторію розвитку, контекст навчання. Порівняння результатів різних учнів має враховувати їхні стартові можливості, освітній досвід, доступ до ресурсів. Динаміка розвитку є більш інформативною, ніж абсолютні показники у певний момент часу [23, 40].

Зворотний зв'язок на основі результатів діагностики має бути конструктивним, орієнтованим на розвиток, зрозумілим для учнів. Замість простої констатації рівня або бала корисно надавати конкретні рекомендації щодо напрямів удосконалення, ресурсів для додаткового вивчення, стратегій подолання труднощів. Зворотний зв'язок для педагогів має містити інформацію не лише про індивідуальні результати учнів, а й про загальні тенденції у класі, типові помилки, аспекти, що потребують додаткової уваги у навчанні [28, 33].

Професійна етика діагностики передбачає дотримання принципів конфіденційності результатів, використання даних виключно для поліпшення навчання, а не для дискримінації або покарання, повагу до гідності кожного учня незалежно від результатів. Учні та батьки мають право знати, як і для чого здійснюється діагностика, мати доступ до результатів, оскаржувати оцінки, які вважають несправедливими. Створення довірливої атмосфери, де діагностика сприймається як інструмент підтримки навчання, а не загроза, є необхідною умовою для отримання валідних результатів [28, 33].

Отже, діагностика рівня розвитку компетентностей здобувачів освіти засобами STEM-курсів є складним багатоаспектним процесом, що вимагає використання різноманітних методів та інструментів, врахування множинних факторів, обережної інтерпретації результатів. Ефективна система діагностики поєднує формувальне та підсумкове оцінювання, кількісні та якісні методи, стандартизовані тести та автентичне оцінювання, зовнішню оцінку та самооцінювання. Подальший розвиток діагностичного інструментарію має спрямовуватися на підвищення валідності та надійності вимірювань, забезпечення культурної та гендерної справедливості, використання можливостей цифрових технологій при збереженні етичних принципів та поваги до особистості учня.

2.3 Організаційно-педагогічні умови впровадження додаткових STEM-занять у закладах загальної середньої освіти

Успішне впровадження додаткових STEM-занять у закладах загальної середньої освіти детермінується комплексом організаційно-педагогічних умов, які у своїй сукупності створюють сприятливе середовище для розвитку міжпредметних зв'язків математики та формування STEM-компетентностей учнів. Теоретичне обґрунтування та практична реалізація таких умов є ключовим завданням для забезпечення ефективності інтегрованого навчання.

Першою організаційно-педагогічною умовою визначено науково обґрунтоване конструювання змісту інтегрованого курсу STEM на основі системотвірних міжпредметних понять та реальних життєвих контекстів. Зміст курсу має бути структурований не за традиційним предметним принципом, а навколо ключових ідей та концепцій, що є спільними для різних STEM-дисциплін. Такими системотвірними поняттями виступають функція та функціональна залежність, що використовується для опису процесів у фізиці, хімії, біології, економіці; модель як спосіб представлення та дослідження реальних об'єктів та явищ; пропорційність та масштабування, що мають універсальне застосування від молекулярного до космічного рівня; системність та взаємозв'язок компонентів, що характеризують як природні, так і технічні системи.

Конструювання змісту передбачає відбір таких навчальних ситуацій та задач, які природно вимагають інтеграції знань з різних предметних областей. Наприклад, тема оптимізації може бути представлена через задачі енергоефективності будівель, що потребують математичного моделювання теплообміну, розуміння фізичних процесів передачі тепла, аналізу властивостей будівельних матеріалів, економічних розрахунків вигідності різних рішень. Тема статистичного аналізу інтегрується з екологічними дослідженнями, де учні збирають реальні дані про стан навколишнього середовища, обробляють їх математичними методами, інтерпретують результати з точки зору біологічних закономірностей та екологічних наслідків [5, 18].

Структурування змісту за модульним принципом дозволяє забезпечити гнучкість та адаптивність курсу до умов конкретного закладу освіти. Кожен модуль об'єднує навчальний матеріал навколо певної теми або проблеми, включає теоретичний компонент для актуалізації необхідних знань, практичний компонент для розвитку умінь застосовувати знання, проєктний компонент для реалізації творчої діяльності. Модульна структура дозволяє варіювати послідовність вивчення тем, обирати модулі відповідно до інтересів учнів та можливостей закладу освіти, комбінувати різні модулі для створення індивідуальних освітніх траєкторій.

Другою організаційно-педагогічною умовою є використання активних методів навчання з пріоритетом проєктної та дослідницької діяльності. Проєктний метод у STEM-освіті передбачає організацію навчання навколо розв'язання практичних задач, що призводять до створення конкретного продукту або функціонального рішення [10, 31, 33]. Типологія STEM-проєктів для учнів базової середньої освіти охоплює кілька напрямів: інженерні проєкти, спрямовані на конструювання технічних пристроїв або систем; технологічні проєкти, що передбачають розробку нових або вдосконалення існуючих технологічних процесів; дослідницькі проєкти, орієнтовані на вивчення природних явищ або соціальних процесів; інформаційні проєкти, пов'язані зі створенням баз даних, аналітичних систем, програмного забезпечення.

Методика організації проєктної діяльності включає кілька етапів, кожен з яких вимагає специфічного педагогічного супроводу. На етапі ініціації проєкту учні формують проблему або завдання, що потребує розв'язання, визначають мету та очікувані результати, формують команду для реалізації проєкту. Роль педагога полягає у стимулюванні генерування ідей, допомозі у формулюванні реалістичних та досяжних цілей, організації ефективної командної роботи. На етапі планування розробляється план реалізації проєкту з визначенням етапів, розподілом обов'язків, визначенням необхідних ресурсів та термінів виконання. Педагог допомагає структурувати діяльність, передбачити можливі труднощі, організувати систему моніторингу прогресу.

Етап реалізації проєкту є найбільш тривалим та насиченим різноманітними діяльностями: пошук та аналіз інформації, проведення експериментів, виконання розрахунків, конструювання та тестування прототипів, документування процесу та результатів. Роль педагога трансформується у фасилітацію процесу, консультування з технічних та методичних питань, стимулювання рефлексії та критичного аналізу проміжних результатів. Завершальний етап презентації включає підготовку звіту про проєкт, створення презентаційних матеріалів, публічний захист результатів перед аудиторією. Педагог організовує умови для якісної презентації, забезпечує конструктивний зворотний зв'язок, стимулює рефлексію набутого досвіду.

Дослідницька діяльність у STEM-освіті передбачає самостійне вивчення учнями певних явищ або процесів із використанням наукових методів пізнання [12, 13]. На відміну від традиційних лабораторних робіт з чітко визначеною послідовністю дій та очікуваними результатами, дослідницькі проєкти характеризуються відкритістю результату, необхідністю самостійної розробки методології, можливістю отримання несподіваних результатів, що вимагають додаткового аналізу та інтерпретації. Цикл дослідження включає формулювання дослідницького питання, висунення гіпотез, планування експерименту або спостереження, збір та первинну обробку даних, статистичний аналіз результатів, формулювання висновків та їх обговорення.

Третьою організаційно-педагогічною умовою є створення сучасного цифрового освітнього середовища та забезпечення доступу до спеціалізованого STEM-обладнання. Цифрове середовище включає хмарні платформи для спільної роботи над проєктами, системи комп'ютерного моделювання та симуляції, віртуальні лабораторії, бази даних для дослідницької діяльності [6, 17, 44]. Використання хмарних технологій забезпечує доступність навчальних ресурсів та інструментів незалежно від місця перебування учнів, можливість асинхронної співпраці над проєктами, збереження та систематизацію результатів діяльності у електронних портфоліо.

Спеціалізоване STEM-обладнання включає робототехнічні платформи для реалізації інженерних проєктів, цифрові лабораторії з датчиками для проведення експериментів з високою точністю вимірювань, засоби для прототипування та моделювання, програмовані мікроконтролери для створення автоматизованих систем [14, 26, 27, 38]. Організація використання обладнання передбачає розробку графіку доступу для різних груп учнів, систему обліку та технічного обслуговування, навчання педагогів та учнів безпечній та ефективній роботі з технічними засобами. Важливим аспектом є забезпечення балансу між урочним використанням обладнання для планових занять та позаурочним доступом для реалізації індивідуальних проєктів.

Четвертою організаційно-педагогічною умовою є систематичний професійний розвиток педагогів у галузі інтегрованого викладання та міжпредметної співпраці [2, 9, 25, 37]. Модель професійного розвитку включає формальні програми підвищення кваліфікації, участь у семінарах та конференціях, самоосвітню діяльність, обмін досвідом у професійних спільнотах. Зміст підготовки охоплює теоретичні основи STEM-освіти та міжпредметної інтеграції, методику організації проєктної та дослідницької діяльності, технології використання цифрових інструментів та спеціалізованого обладнання, способи оцінювання міжпредметних результатів навчання.

Особливу увагу у професійному розвитку педагогів приділено формуванню здатності до міжпредметної співпраці, що передбачає готовність виходити за межі власної предметної області, усвідомлення змісту та методів суміжних дисциплін, уміння узгоджувати календарно-тематичне планування, спільно розробляти інтегровані уроки та проєкти [16]. Форми міжпредметної співпраці включають методичні об'єднання міждисциплінарного характеру, робочі групи з розробки інтегрованих курсів, взаємне відвідування уроків, спільне керівництво учнівськими проєктами. Адміністрація закладу освіти відіграє ключову роль у створенні організаційних умов для такої співпраці, зокрема через виділення спільного планувального часу, стимулювання колективних форм роботи, визнання та заохочення міжпредметних ініціатив.

П'ятою організаційно-педагогічною умовою є адаптація системи оцінювання до специфіки інтегрованого навчання. Традиційні форми контролю, орієнтовані на перевірку предметних знань, доповнюються автентичним оцінюванням, що здійснюється у контексті реальної діяльності [28, 33]. Інструменти оцінювання включають рубрики для оцінки проєктів та досліджень, оціночні листи для спостереження за груповою роботою, портфоліо для документування динаміки розвитку компетентностей, самооцінювання та взаємооцінювання для розвитку рефлексивних здібностей. Критерії оцінювання формулюються зрозумілою для учнів мовою та оприлюднюються на початку виконання завдання, що забезпечує прозорість та об'єктивність оцінювання.

Шостою організаційно-педагогічною умовою є забезпечення варіативності освітніх траєкторій та індивідуалізації навчання. Диференціація реалізується через систему елективних курсів різного рівня складності, різнорівневі проєктні завдання, індивідуальні дослідницькі проєкти під керівництвом педагога-наставника [29, 31]. Робота з обдарованими учнями передбачає створення умов для участі у олімпіадах, конкурсах, науково-дослідницькій діяльності, залучення до роботи у профільних таборах та школах [4, 8, 24, 39]. Підтримка учнів, які відчують труднощі, здійснюється через додаткові консультації, тьюторський супровід, адаптовані навчальні матеріали, формування груп змішаного складу для взаємного навчання.

Сьомою організаційно-педагогічною умовою є створення мотиваційного освітнього середовища через організацію конкурсів, фестивалів, зустрічей з представниками STEM-професій [4, 8, 39, 41, 45]. Участь у змаганнях стимулює учнів до високоякісного виконання проєктів, розвиває навички публічної презентації результатів, створює ситуації визнання досягнень. Профорієнтаційна робота допомагає учням побачити перспективи застосування STEM-компетентностей у професійній діяльності, сприяє усвідомленому вибору подальшої освітньої траєкторії. Інтеграція з позашкільною освітою розширює можливості для поглибленого вивчення обраних напрямів, реалізації довготривалих дослідницьких проєктів, спілкування з однодумцями та експертами.

Восьмою організаційно-педагогічною умовою визначено інтеграцію STEM-освіти з реальними соціально значущими проблемами місцевої громади. Коли проєкти учнів спрямовані на вирішення актуальних проблем школи, мікрорайону, міста, це надає особливого сенсу їхній діяльності та підвищує мотивацію. Партнерство з місцевими підприємствами, науковими установами, громадськими організаціями забезпечує доступ до додаткових ресурсів, експертної підтримки, можливості реального впровадження результатів проєктів. Соціальна орієнтація STEM-освіти сприяє формуванню у учнів громадянської відповідальності, розуміння ролі науки та технологій у розв'язанні суспільних проблем.

Дев'ятою організаційно-педагогічною умовою є забезпечення наступності у розвитку міжпредметних зв'язків на різних освітніх рівнях [11, 30]. Узгодження змісту, методів та форм інтегрованого навчання між початковою, базовою та профільною школою створює логічну систему поступового ускладнення міжпредметних зв'язків відповідно до вікових можливостей учнів. Координація зусиль педагогів різних ланок освіти забезпечує безперервність розвитку STEM-компетентностей протягом усього періоду шкільного навчання.

2.4 Розробка інструментарію педагогічного експерименту

Експериментальна перевірка ефективності виділених організаційно-педагогічних умов впровадження інтегрованого курсу STEM потребує ретельної розробки інструментарію дослідження, який має забезпечити об'єктивне вимірювання результатів навчання та надійну оцінку впливу експериментальних факторів. Методологічною основою експерименту є принципи системності, об'єктивності, валідності та надійності вимірювань, етичності дослідження.

Мета педагогічного експерименту полягає у експериментальній перевірці ефективності запропонованого комплексу організаційно-педагогічних умов для розвитку міжпредметних зв'язків математики з іншими STEM-дисциплінами в учнів базової середньої освіти. Завдання експерименту включають діагностику вихідного рівня сформованості STEM-компетентностей учнів експериментальної

та контрольної груп, реалізацію інтегрованого курсу STEM з урахуванням виділених організаційно-педагогічних умов в експериментальній групі, повторну діагностику рівня сформованості компетентностей після завершення експериментального навчання, статистичний аналіз отриманих даних для виявлення значущості відмінностей між групами, якісний аналіз змін у мотивації, ставленні до навчання, рівні розвитку рефлексивних здібностей учнів.

Організація експерименту передбачає використання квазіекспериментального дизайну з контрольною та експериментальною групами. Експериментальна група навчається за розробленою програмою інтегрованого курсу STEM з реалізацією всього комплексу організаційно-педагогічних умов. Контрольна група навчається за традиційною програмою з роздільним викладанням предметів природничо-математичного циклу без спеціального акценту на міжпредметній інтеграції. Для забезпечення порівнянності груп здійснюється їх попарний підбір за критеріями середнього балу успішності з математики та природничих наук, віковим складом.

Тривалість формувального етапу експерименту становить один навчальний рік, що забезпечує достатній період для прояву ефекту експериментального втручання. Протягом цього періоду в експериментальній групі реалізується додаткові заняття обсягом година на тиждень, що складає тридцять чотири години на рік. Додатково організовується позаурочна діяльність для роботи над довготривалими проєктами, участі у конкурсах та фестивалях, проведення додаткових досліджень.

Інструментарій діагностики когнітивного компонента STEM-компетентності включає спеціально розроблений тест міждисциплінарних знань та умінь, що містить питання щодо концептуальних зв'язків між математичними поняттями та явищами з фізики, хімії, біології.

Висновки до Розділу 2

Проведений аналіз сучасного стану впровадження інтегрованих STEM – курсів вияви, що, незважаючи на загальну позитивну тенденцію, існують суттєві організаційні та методичні бар'єри, а також недостатній рівень міждисциплінарної

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО інтеграції в урочній діяльності. З огляду на це, додаткові STEM – заняття визначено як оптимальний варіант для поглиблення інтеграції та практичної орієнтації навчання.

На основі теоретичних засад та результатів аналізу була розроблена та обґрунтована модель процесу впровадження додаткових STEM – занять. Ця модель відображає структурні компоненти та етапи її впровадження. Крім того, визначено та обґрунтовано комплекс організаційно-педагогічних умов, які є критичними для ефективності цієї моделі.

Для забезпечення достовірності та валідності емпіричного дослідження було розроблено інструментарій педагогічного експерименту, що включає критерії, показники та рівні розвитку STEM – компетентностей, а також методики діагностики. Цей інструментарій слугує основою для експериментальної перевірки ефективності запропонованої моделі та визначених організаційно-педагогічних умов.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО НАВЧАННЯ

3.1 Організація та проведення педагогічного експерименту з експериментальною та контрольною групами

Експериментальна перевірка ефективності розробленого комплексу організаційно-педагогічних умов впровадження інтегрованого курсу STEM здійснювалася на базі Миколаївської гімназії №25 протягом 2024/2025 навчального року. До експерименту було залучено паралель 7-х класів, які наразі у 2025/2026 навчальному році є учнями 8-го класу. Вибір експериментальних майданчиків здійснювався за критеріями наявності мінімального матеріально-технічного забезпечення для реалізації STEM-підходу, готовності адміністрації та педагогічного колективу до участі у дослідженні, типовості закладу для вітчизняної системи освіти. До експерименту було залучено два класи, з яких один склав експериментальну групу, а інший став контрольною групою. Загальна чисельність учасників експерименту становила сорок вісім учнів, з них двадцять чотири особи в експериментальній групі та двадцять чотири у контрольній групі.

Формування експериментальної та контрольної груп здійснювалося з урахуванням принципу еквівалентності, що передбачав забезпечення порівняльності груп за основними характеристиками. Критеріями підбору пар класів для включення до експериментальної або контрольної групи виступали середній бал успішності учнів з математики та природничих наук за результатами попереднього навчального року. Статистичний аналіз вихідних даних підтвердив відсутність значущих відмінностей між експериментальною та контрольною групами за зазначеними параметрами, що створило коректні умови для проведення порівняльного експерименту.

Експериментальне дослідження реалізовувалося у три етапи відповідно до класичної логіки педагогічного експерименту. Констатувальний етап тривав

протягом вересня-жовтня і був спрямований на діагностику вихідного рівня сформованості STEM-компетентностей учнів експериментальної та контрольної груп. На цьому етапі учням було запропоновано пройти тестування “Твоє ставлення до STEM та науки” (Додаток А). За результатом цього тестування було виявлено приблизно однаковий стартовий рівень розвитку міжпредметних зв'язків математики в обох групах, що підтвердило коректність їх формування.

Формувальний етап експерименту тривав з листопада по квітень і становив основну частину дослідження. В експериментальній групі реалізовувався розробленні додаткові заняття один раз на тиждень, за весь час експерименту мною було проведено 26 додаткових заняття для експериментальної групи та всіх бажаючих долучитись до експерименту. Зміст занять мав дві мети, перша це експериментально продемонструвати основні закони природи та де в них є місце математиці, друга - відповісти на питання учнів. Приклад розробки інтегрованого STEM-заняття винесено у Додаток Б.

Таблиця 3.1

Характеристика учасників педагогічного експерименту

Параметр	Експериментальна група	Контрольна група
Кількість учнів	24	24
Кількість класів	7-Б	7-А
Середній вік учнів	14,2 років	14,3 років
Гендерний склад (хлопці/дівчата)	12/12	14/10
Середній бал з математики	7,8	7,7
Середній бал з природничих наук	8,1	8,2
Тривалість формувального етапу	14 тижнів	14 тижнів
Обсяг інтегрованого курсу STEM	26 годин	відсутній

Контрольна група навчалася за стандартною освітньою програмою з традиційним роздільним викладанням предметів природничо-математичного циклу без спеціального акценту на міжпредметній інтеграції. Вчителі контрольних класів працювали у звичному режимі, використовуючи переважно пояснювально-ілюстративні та репродуктивні методи навчання. Проєктна діяльність у контрольних класах була обмеженою та мала епізодичний характер, зазвичай реалізовувалася у форматі індивідуальних домашніх завдань без системного

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО педагогічного супроводу. Оцінювання результатів навчання здійснювалося традиційними методами через контрольні роботи, самостійні роботи, усне опитування за матеріалом окремих предметів.

Методика проведення додаткових STEM-занять передбачала різноманітні форми організації навчальної діяльності. Заняття поєднували міні-лекції для введення нових понять та актуалізації необхідних знань, практикуми для відпрацювання умінь застосовувати математичні методи до аналізу ситуацій з інших предметних областей, лабораторні роботи з використанням наявного обладнання та обробки даних, проєктні роботи над груповими та індивідуальними проєктами, презентації для публічного представлення результатів досліджень та проєктів, зокрема на фестивалі цікавої науки.

У констатувальному етапі експерименту було використано спеціально розроблену анкету для вчителів, що включала наступні ключові питання:

Анкета для вчителів щодо готовності впровадження STEM-освіти

1. Як Ви оцінюєте власний рівень обізнаності з поняттям STEM-освіти? (високий / достатній / середній / низький)
2. Чи маєте Ви досвід проведення інтегрованих уроків, що поєднують кілька предметів? (так, регулярно / інколи / ні, але маю бажання спробувати / ні, не вважаю це доцільним)
3. Які основні перешкоди заважають Вам впроваджувати STEM-підходи у навчальний процес? (оберіть усі варіанти, що підходять): недостатня матеріально-технічна база; відсутність готових методичних розробок; брак часу через перевантаженість навчальних програм; недостатня власна підготовка; небажання адміністрації школи; інше.
4. Чи вважаєте Ви, що STEM-навчання сприяє підвищенню мотивації учнів до вивчення природничо-математичних дисциплін? (так, безумовно / швидше так / важко відповісти / швидше ні / ні)
5. Які форми підвищення кваліфікації у сфері STEM-освіти були б для Вас найбільш прийнятними? (тренінги та семінари / онлайн-курси / майстер-класи від колег-практиків / методичні публікації / інше)

6. Чи готові Ви брати участь у розробці та апробації інтегрованих STEM-курсів? (так / скоріше так / не визначився / скоріше ні / ні)

В анкетуванні взяли участь вчителі фізики, математики, інформатики, хімії, біології та трудового навчання Миколаївської гімназії №25. Результати опитування показали, що лише двадцять три відсотки респондентів оцінили свій рівень обізнаності зі STEM-освітою як високий, тоді як сорок один відсоток зазначили середній рівень. Серед основних перешкод найчастіше називались недостатня матеріально-технічна база (шістдесят вісім відсотків) та відсутність готових методичних розробок (п'ятдесят шість відсотків). Водночас вісімдесят чотири відсотки вчителів висловили готовність брати участь у розробці інтегрованих курсів за умови відповідного методичного супроводу.

Результати тестування на констатувальному етапі показали, що у контрольній та експериментальній групах початковий рівень сформованості STEM-компетентностей був приблизно однаковим.

Організація проєктної діяльності у експериментальних класах здійснювалася за чітким алгоритмом. Етап ініціації проєкту включав мозковий штурм для генерування ідей, обговорення можливих напрямів дослідження, формування проєктних груп по три-чотири особи з урахуванням інтересів учнів та необхідності різноманітності компетенцій у команді. Етап планування передбачав розробку проєктної пропозиції з описом проблеми, мети, очікуваних результатів, плану діяльності з розподілом обов'язків та термінів виконання. Педагог на цьому етапі виконував роль консультанта, допомагаючи сформулювати реалістичні цілі, передбачити можливі труднощі, спланувати ресурси.

Етап реалізації проєкту був найбільш тривалим та включав різноманітні діяльності залежно від типу проєкту. Для дослідницьких проєктів це було формулювання гіпотез, планування експериментів, збір даних, математична обробка результатів, формулювання висновків. Для інженерних проєктів відбувалося вивчення аналогів, розробка концептуального дизайну, математичні розрахунки параметрів, створення прототипу, тестування та доопрацювання. Протягом реалізації проєкту проводилися регулярні консультації та мотивація при

виникненні труднощів. Етап презентації включав підготовку до участі у фестивалі молодіжної хвилі “Цікава наука online” та захисту навчальних проєктів під час уроків.

Протягом формувального етапу експерименту здійснювався систематичний моніторинг процесу та проміжних результатів навчання. Вчителі експериментальних класів вели щоденники спостережень, де фіксували особливості роботи учнів над проєктами, типові труднощі та способи їх подолання, динаміку розвитку окремих учнів. Проводилися регулярні методичні наради для обміну досвідом між педагогами, аналізу проблемних ситуацій, коригування подальшої роботи.

Таблиця 3.2

Структура та зміст додаткових STEM-занять в експериментальній групі

Модуль	Тривалість	Основний зміст	Форма підсумкового контролю
Оцінка водних ресурсів	5 годин	Проектне заняття з визначення об'єму та маси води у нестандартних ємностях враховуючи відсоток заповнення	Короткостроковий проєкт
Моделювання розчинів для живих систем	5 годин	Лабораторна робота з приготування розчинів із заданою масовою часткою розчину NaCl. Розрахунок необхідної кількості солі та розчинника	Лабораторний практикум з аналізом
Енергія та теплові процеси	5 годин	Лабораторний практикум з вимірювання температури рідини та розрахунку нагрівання. Введення поняття питомої теплоємності	Лабораторний практикум з аналізом
Світло, їжа та життя	6 годин	Дослідження процесу фотосинтезу. Моделювання хімічної формули глюкози за допомогою конструктора молекул або 3D-моделювання	Короткостроковий проєкт
Співвідношення мас елементів	5 годин	Практична робота з визначення масового співвідношення елементів у простих молекулах, використовуючи відносні атомні маси	Практикум

Контрольний етап експерименту проводився наприкінці навчального року після завершення апробації інтегрованого STEM-курсу. Для оцінювання

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО ефективності впровадження визначених організаційно-педагогічних умов використовувався той самий діагностичний інструментарій, що й на констатувальному етапі.

Для діагностики рівня сформованості STEM-компетентностей учнів наприкінці навчального року було проведено підсумкову роботу та повторне тестування “Твоє ставлення до STEM та науки” (Додаток А). Підсумкова робота була розроблена із використанням питань з курсів математики, фізики, біології, хімії та інформатики, завдання були наступні:

Завдання 1. Знайдіть масу води в акваріумі (Математика + Фізика)

Необхідно розрахувати масу води, яка потрібна для заповнення прямокутного акваріума. Акваріум має розміри дна 50 см х 30 см, а його висота становить 40 см. Його планують заповнити водою (густина води = 1000 кг/м^3) лише на 90% висоти. Знайдіть масу води в акваріумі.

А. 60 кг **Б. 54 кг** В. 5,4 кг Г. 48,6 кг

Завдання 2. Приготування фізичного розчину (Хімія + Біологія + Математика)

Для біологічного дослідження клітин необхідно приготувати фізіологічний розчин (масова частка NaCl - 0,9%) об'ємом 200 г. Скільки грамів кухонної солі (NaCl) та води знадобиться для його приготування?

А. 0,9 г солі та 199,1 г води **Б. 1,8 г солі та 198,2 г води**
В. 18 г солі та 182 г води Г. 1,98 г солі та 19802 г води

Завдання 3. Швидкість нагрівання (Хімія + Фізика + Математика)

У процесі нагрівання речовини вимірювали її температуру. За 0 хв температура становила 20°C , а за 10 хв - 35°C . Якою була середня швидкість нагрівання рідини?

А. 15 Б. 3,5 **В. 1,5** Г. 2

Завдання 4. Продукт фотосинтезу (Біологія + Хімія)

Клітини рослин під час фотосинтезу перетворюють вуглекислий газ та воду на глюкозу та кисень за присутності світла. Яка хімічна формула глюкози - основного продукту цього процесу?

А. CO_2 Б. O_2 В. H_2O Г. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ **Завдання 5. Алгоритм дослідження (Інформатика + Загальний STEM)**

Для підготовки зразка води до хімічного аналізу необхідно виконати низку дій. Розставте етапи в логічній послідовності (алгоритм).

1. Відбір проби в чисту ємність.
2. Фільтрування для видалення механічних домішок.
3. Маркування ємності з даними про місце та час.
4. Охолодження для збереження хімічного складу.

Завдання 6. Типи даних (Біологія + Інформатика)

У процесі вивчення біологічних об'єктів ми збираємо різні типи даних. Класифікуйте ознаки рослини: А - висота стебля; Б - колір квітки. Який тип даних відповідає кожній ознаці?

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| А. А-якісні, Б-кількісні | Б. А-кількісні, Б-якісні |
| В. Обидва якісні | Г. Обидва кількісні |

Завдання 7. Моделювання екосистеми (Хімія + Біологія + Інформатика + Математика)

Проблема: Кислотні дощі ($\text{pH} < 5,6$) спричиняють загибель риби в озері. Для відновлення озера необхідно спрогнозувати зміну pH води після додавання вапняку. Який інструмент або розділ інформатики є найбільш доцільним для побудови такого прогнозу на основі вхідних даних (об'єм озера, хімічний склад, кількість вапняку)?

- А. Текстовий редактор
- Б. Графічний редактор
- В. Електронні таблиці або математичне моделювання**
- Г. Програма - презентація

Результати тестування показали суттєві позитивні зміни в експериментальній групі порівняно з контрольною. Завдання базового рівня успішно виконали дев'яносто два відсотки учнів експериментальної групи проти сімдесяти п'яти відсотків контрольної групи. Окрім підсумкової роботи, тестування також показало суттєві зміни. Найбільше відрізняло відповіді учнів експериментальної групи від

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО учнів контрольної групи - глибше розуміння міжпредметних зв'язків та більша обізнаність щодо корисності знань з математики.

Повторне анкетування вчителів, які брали участь в експерименті, показало зміну їхнього ставлення до STEM-освіти. Усі педагоги експериментальної групи відзначили зростання мотивації учнів до навчання, підвищення активності на уроках, розвиток комунікативних навичок та вміння працювати в команді. Вчителі високо оцінили розроблені методичні матеріали та висловили бажання продовжувати впровадження STEM-підходів у навчальний процес.

3.2 Аналіз результатів контрольного зрізу: порівняння даних підсумкового тестування та якості проєктів в експериментальній та контрольній групах.

Результати підсумкового тестування когнітивного компонента STEM-компетентності виявили статистично значущі відмінності між експериментальною та контрольною групами. Середній бал учнів експериментальної групи за тестом міждисциплінарних знань та умінь становив шість з половиною балів зі сьоми можливих, тоді як у контрольній групі цей показник дорівнював чотири бали. Аналіз розподілу учнів за рівнями сформованості когнітивного компонента показав, що в експериментальній групі суттєво зросла частка учнів з високим та достатнім рівнями порівняно з контрольною групою.

Детальний аналіз результатів тестування за окремими типами завдань дозволив виявити специфіку впливу інтегрованого навчання на різні аспекти STEM-компетентності. Найбільш виражені відмінності між групами спостерігалися у виконанні комплексних контекстних задач, що вимагали інтеграції знань з кількох предметних областей. Учні експериментальної групи успішно справлялися з такими завданнями у вісімдесяти відсотках випадків, демонструючи здатність самостійно виявляти необхідність застосування математичних методів, обирати адекватні підходи, коректно інтерпретувати результати у контексті початкової проблеми. Натомість учні контрольної групи

виконували такі завдання лише у сорока п'яти відсотках випадків, часто відчуючи труднощі саме у встановленні міжпредметних зв'язків та інтеграції знань.

Завдання на математичне моделювання простих процесів також виявили суттєві відмінності між групами. Учні експериментальної групи демонстрували розуміння логіки побудови математичних моделей, здатність перекладати вербальний опис реальної ситуації мовою математичних відношень, усвідомлення обмежень застосовності моделей. Їхні відповіді характеризувалися обґрунтованістю вибору типу моделі, точністю математичних перетворень, критичною оцінкою адекватності отриманих результатів. Учні контрольної групи часто обмежувалися формальними маніпуляціями з числами без розуміння їхнього фізичного або іншого предметного змісту, відчували труднощі у інтерпретації математичних результатів у термінах початкової проблеми.

Завдання на застосування математичних методів для аналізу даних виконувалися учнями обох груп відносно успішно, проте якість виконання відрізнялася. Учні експериментальної групи не лише правильно виконували розрахунки, а й демонстрували розуміння доцільності використання конкретних методів аналізу, здатність інтерпретувати результати з точки зору предметного контексту задачі, критичне ставлення до точності та надійності отриманих даних. Учні контрольної групи частіше обмежувалися механічним виконанням обчислень без глибокого осмислення їхнього значення для розв'язання початкової проблеми.

Експертне оцінювання проєктів за критерієм міждисциплінарності показало, що абсолютна більшість робіт демонструвала справжню інтеграцію знань та методів з різних предметних областей. Математичні розрахунки органічно поєднувалися з фізичними експериментами, хімічними аналізами, біологічними спостереженнями. Учні не просто механічно об'єднували матеріал різних предметів, а демонстрували розуміння внутрішніх зв'язків між дисциплінами, використовували математику як інструмент пізнання явищ з інших предметних областей. Наприклад, у проєкті прогнозування та нейтранізація кислотного середовища учні досліджували вплив кислотності на водні екосистеми, визначили

необхідну кількість нейтралізатора та змоделювали процес відновлення рН для порятунку імітованого водного об'єкта у електронних таблицях.

Технічна якість створених продуктів також була високою. Інженерні проєкти призводили до створення функціональних прототипів, що демонстрували працездатність закладених принципів. Математичні моделі адекватно описували досліджувані процеси, що підтверджувалося збігом модельних передбачень з експериментальними даними. Програмні продукти мали зрозумілий інтерфейс, коректно виконували обчислення, надавали результати у зручній для інтерпретації формі.

Якість командної роботи у проєктах експериментальної групи характеризувалася високим рівнем організації та ефективності взаємодії. Учні демонстрували здатність розподіляти обов'язки відповідно до компетенцій та інтересів членів команди, координувати зусилля різних учасників, підтримувати конструктивну комунікацію. У процесі роботи над проєктами формувалися навички міжособистісної взаємодії, розв'язання конфліктів, прийняття колективних рішень. Спостереження показали, що групи з часом виробляли власні стратегії організації роботи, розподілу ролей, моніторингу прогресу.

Презентації результатів проєктів учнями експериментальної групи відзначалися структурованістю викладу, логічним переходом від постановки проблеми до опису методів та результатів дослідження. Учні вміло використовували засоби візуалізації даних, створювали інформативні графіки, діаграми, схеми, що полегшували розуміння складного матеріалу аудиторією. Відповіді на запитання свідчили про глибоке розуміння предмета проєкту, здатність захищати власні рішення, критично оцінювати альтернативні підходи. Особливо цінним було вміння учнів рефлексувати процес роботи, виявляти труднощі та способи їх подолання, формулювати висновки про набутий досвід.

У контрольній групі проєктна діяльність мала епізодичний характер і реалізовувалася переважно як індивідуальні домашні завдання з окремих предметів. Якість таких робіт була помітно нижчою порівняно з проєктами експериментальної групи. Міждисциплінарність була скоріше формальною, коли

учні механічно поєднували інформацію з різних джерел без встановлення справжніх змістових зв'язків. Презентації результатів часто зводилися до переказу знайденої інформації без власного аналізу та осмислення. Технічна реалізація проєктів була обмеженою через відсутність доступу до спеціалізованого обладнання та систематичного педагогічного супроводу.

Таблиця 3.3

Порівняння якості підсумкових проєктів між експериментальною та контрольною групами

Критерій оцінювання	Середній бал ЕГ	Середній бал КГ	Різниця
Міждисциплінарність проєкту	3,6 з 4	2,1 з 4	+1,5
Якість планування	3,4 з 4	2,3 з 4	+1,1
Технічна якість продукту	3,5 з 4	2,4 з 4	+1,1
Командна робота	3,7 з 4	2,6 з 4	+1,1
Презентація результатів	3,6 з 4	2,5 з 4	+1,1
Загальна оцінка проєкту	3,56 з 4 (89%)	2,38 з 4 (59,5%)	+1,18

Інтерес учнів до природничо-математичних дисциплін після участі в інтегрованому курсі STEM суттєво зріс, що проявлялося у підвищенні оцінок привабливості різних видів STEM-діяльності, зростанні готовності витратити вільний час на проєкти та дослідження, формуванні професійних намірів у галузі науки та технологій. Зокрема, частка учнів експериментальної групи, які висловили намір обрати у старшій школі природничо-математичний профіль, зросла з тридцяти п'яти відсотків на початку року до п'ятдесяти восьми відсотків наприкінці. У контрольній групі аналогічний показник залишився практично незмінним.

Сприйняття значущості STEM-знань для майбутнього життя та професійної діяльності також суттєво покращилося в експериментальній групі. Учні стали краще розуміти практичну цінність математичних та природничо-наукових знань, бачити можливості їх застосування для розв'язання реальних проблем, усвідомлювати роль науки та технологій у розвитку суспільства. Це підтверджувалося як кількісними даними анкетування, так і якісним аналізом

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО
відповідей на відкриті питання, де учні наводили конкретні приклади з власного досвіду участі у проєктах.

Якісний аналіз змін у навчальній діяльності учнів експериментальної групи виявив кілька характерних тенденцій. По-перше, суттєво підвищилася пізнавальна активність учнів, що проявлялося у частішому постановленні запитань на заняттях, пошуку додаткової інформації для поглиблення розуміння теми, ініціюванні власних міні-досліджень. По-друге, покращилася здатність до самоорганізації навчальної діяльності, планування часу, розподілу зусиль між різними завданнями. По-третє, розвинулися навички співпраці, що виходили за межі проєктної діяльності і проявлялися у повсякденній взаємодопомозі, консультуванні однокласників, організації спільних позакласних заходів.

Спостереження педагогів експериментальних класів фіксували позитивні зміни у ставленні учнів до математики та природничих наук. Математика переставала сприйматися як абстрактна дисципліна, відірвана від реального життя, і ставала інструментом пізнання та перетворення дійсності. Учні почали частіше пов'язувати навчальний матеріал з математики з його застосуваннями у фізиці, хімії, технологіях, самостійно виявляли міжпредметні зв'язки навіть за межами інтегрованого курсу. Це свідчило про формування цілісного наукового світогляду, що є однією з ключових цілей STEM-освіти.

3.3 Узагальнення та інтерпретація результатів експериментального дослідження. Розробка методичних рекомендацій для впровадження STEM-проєктів у освітній процес

Узагальнення результатів експериментального дослідження дозволяє стверджувати про підтвердження висунутої гіпотези щодо ефективності запропонованого комплексу організаційно-педагогічних умов впровадження інтегрованого курсу STEM для розвитку міжпредметних зв'язків математики у учнів базової середньої освіти. Статистично значущі відмінності між експериментальною та контрольною групами за всіма досліджуваними

показниками свідчать про те, що саме систематична реалізація виділених організаційно-педагогічних умов призводить до якісних змін у рівні сформованості STEM-компетентності. Ефект експериментального втручання проявився не лише у підвищенні когнітивних показників, а й у розвитку діяльнісних умінь, мотиваційної сфери, рефлексивних здібностей учнів.

Аналіз співвідношення ефективності різних організаційно-педагогічних умов виявив, що найбільший вплив на результати навчання мали три умови: змістова інтеграція навчального матеріалу навколо системотвірних міжпредметних понять, систематичне використання проєктної діяльності як основної форми організації навчання, професійний розвиток педагогів у галузі інтегрованого викладання. Саме ці умови створювали фундамент для ефективної реалізації інших умов і забезпечували системний характер впливу на розвиток міжпредметних зв'язків.

Змістова інтеграція виявилася критично важливою для формування у учнів розуміння єдності наукової картини світу та універсальності математичних методів. Коли навчальний матеріал будувався не за предметним принципом, а навколо наскрізних понять та реальних життєвих контекстів, учні природно встановлювали міжпредметні зв'язки і бачили практичну значущість математичних знань. Спроби механічно поєднати фрагменти різних предметів без змістової інтеграції виявлялися малоефективними і не призводили до формування справжньої інтегрованої компетентності.

Проєктна діяльність як провідна форма організації навчання забезпечувала активну позицію учнів у процесі здобуття знань, створювала ситуації необхідності інтеграції різних предметних областей для розв'язання практичних задач, розвивала дослідницькі та творчі здібності. Водночас ефективність проєктної діяльності критично залежала від якості педагогічного супроводу. Без систематичної підтримки педагога на етапах планування, реалізації та рефлексії проєкту учні часто відчували розгубленість, не могли подолати труднощі, обмежувалися поверхневим виконанням завдання.

Професійна компетентність педагогів виявилася ключовим чинником успішності впровадження інтегрованого підходу. Вчителі, які пройшли спеціальну підготовку і продовжували професійний розвиток протягом експерименту, демонстрували значно вищу ефективність у реалізації всіх організаційно-педагогічних умов. Вони краще розуміли логіку інтегрованого навчання, володіли ширшим репертуаром методичних прийомів, були здатні до гнучкого реагування на виклики та труднощі. Натомість педагоги без спеціальної підготовки відчували значні труднощі навіть за наявності якісних навчальних матеріалів та технічного забезпечення.

Інтерпретація результатів експерименту має враховувати контекст проведення дослідження. Досвід експерименту показав, що навіть за обмежених технічних можливостей систематична реалізація організаційно-педагогічних умов призводить до позитивних результатів. Ключовими є професіоналізм педагога, продумана організація навчального процесу, а технічне оснащення відіграє допоміжну, хоча й важливу роль.

Таблиця 3.4

Експертна оцінка організаційно-педагогічних умов педагогами-учасниками експерименту

Організаційно-педагогічна умова	Оцінка важливості педагогами	Оцінка складності реалізації	Фактичний вплив на результат
Змістова інтеграція навчального матеріалу	4,8 з 5	3,9 з 5	Високий
Використання проєктних методів	4,7 з 5	4,2 з 5	Високий
Цифрове освітнє середовище та обладнання	4,3 з 5	3,5 з 5	Середній
Професійний розвиток педагогів	4,9 з 5	4,5 з 5	Високий
Адаптована система оцінювання	4,1 з 5	3,8 з 5	Середній
Варіативність освітніх траєкторій	3,9 з 5	3,6 з 5	Середній
Мотиваційне середовище	4,4 з 5	3,4 з 5	Середній
Соціальна орієнтація проєктів	4,0 з 5	3,7 з 5	Середній

Наступність у розвитку зв'язків	4,2 з 5	4,0 з 5	Середній
---------------------------------	---------	---------	----------

На основі результатів експериментального дослідження та узагальнення практичного досвіду розроблено методичні рекомендації щодо впровадження інтегрованих STEM-курсів у освітній процес закладів загальної середньої освіти. Рекомендації адресовані різним категоріям учасників освітнього процесу і структуровані за напрямками діяльності.

Для адміністрації закладів освіти рекомендується розпочинати впровадження інтегрованого курсу STEM з формування розуміння його цінності та необхідності серед педагогічного колективу. Це може здійснюватися через організацію педагогічних рад, семінарів, відвідування закладів з успішним досвідом впровадження STEM-освіти. Важливим є створення організаційних умов для міжпредметної співпраці педагогів через виділення спільного планувального часу, формування міждисциплінарних методичних об'єднань, стимулювання колективних форм роботи.

Розподіл навчального навантаження має передбачати можливість для педагогів інтегрованого курсу працювати у тісній координації з вчителями базових предметів природничо-математичного циклу. Бажано, щоб додаткові STEM-заняття проводилися педагогами, які мають досвід викладання кількох суміжних дисциплін або готові до тісної кооперації з колегами. Важливим є забезпечення регулярного підвищення кваліфікації педагогів у галузі STEM-освіти засобами семінарів та тренінгів, створення можливостей для обміну досвідом, участі у професійних спільнотах.

Матеріально-технічне забезпечення має розвиватися поступово відповідно до реальних можливостей закладу освіти. Доцільно розпочинати з базового обладнання, яке дозволяє реалізувати ключові види діяльності: набори для конструювання, для дослідження природних явищ, моделі предметів мегасвіту та мікросвіту. Поступово обладнання може доповнюватися більш складними засобами відповідно до розвитку компетентностей педагогів та учнів. Важливо

організувати систему обліку, технічного обслуговування та безпечного використання обладнання.

Для педагогів, які викладають додаткові заняття, рекомендується ретельно планувати зміст навчання з урахуванням принципу наскрізних тем та системотвірних понять. Корисно створювати тематичні карти, де відображаються зв'язки між темами різних предметів, виявляються можливості для інтеграції, плануються спільні проєкти та дослідження. Кожна тема має розглядатися з різних предметних перспектив, демонструючи учням багатоаспектність наукового пізнання.

Організація проєктної діяльності потребує детального планування всіх етапів від ініціації до презентації результатів. На етапі ініціації важливо створити ситуацію вибору, коли учні можуть обирати теми проєктів відповідно до власних інтересів, формувати групи за принципом комплементарності компетенцій учасників. Етап планування має передбачати розробку детального плану діяльності з конкретними завданнями, термінами, відповідальними особами. Корисно використовувати інструменти проєктного менеджменту, адаптовані до вікових особливостей учнів.

Під час реалізації проєкту педагог виконує роль фасилітатора і консультанта, а не директивного керівника. Важливо надавати учням простір для самостійності та творчості, водночас забезпечуючи необхідну підтримку при виникненні труднощів. Регулярні проміжні презентації результатів допомагають підтримувати фокус на меті проєкту, отримувати зворотний зв'язок, коригувати напрям роботи. Рефлексія має супроводжувати всі етапи проєкту, стимулюючи учнів до усвідомлення власної діяльності та набутого досвіду.

Оцінювання результатів інтегрованого навчання має використовувати різноманітні інструменти і форми. Тестування доцільно доповнювати експертним оцінюванням проєктів за чітко визначеними критеріями, аналізом портфоліо досягнень, самооцінюванням та взаємооцінюванням учнів. Критерії оцінювання мають бути зрозумілими для учнів і оприлюдненими на початку роботи. Корисно залучати до оцінювання підсумкових проєктів зовнішніх експертів з числа

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО науковців, інженерів, представників ІТ-компаній, що підвищує значущість діяльності учнів.

Таблиця 3.5

Етапи впровадження інтегрованого курсу STEM у закладі освіти

Етап впровадження	Основні завдання	Очікувані результати	Орієнтовні терміни
Підготовчий	Формування розуміння STEM-підходу, аналіз ресурсів, підготовка педагогів	Готовність колективу до впровадження, базове оснащення	2-3 місяці
Пілотний	Апробація окремих елементів інтегрованого курсу, відпрацювання методики	Досвід реалізації проєктів, перші позитивні результати	Один навчальний рік
Розширення	Поширення практики на більшу кількість класів, удосконалення змісту	Стабільна система інтегрованого навчання	1-2 роки
Системна реалізація	Інтеграція STEM-підходу у всю освітню програму закладу	STEM-орієнтований заклад освіти	3-4 роки

Для учнів та їхніх батьків рекомендується надавати повну інформацію про зміст інтегрованого курсу STEM, його цілі, очікувані результати, форми організації навчання. Важливо формувати розуміння, що STEM-освіта спрямована не лише на здобуття предметних знань, а й на розвиток ключових компетентностей для життя у сучасному світі: критичного мислення, творчості, комунікації, співпраці. Батьки можуть залучатися до підтримки проєктної діяльності через надання консультацій відповідно до власного професійного досвіду, допомогу у організації екскурсій, участь у оцінюванні підсумкових проєктів.

Взаємодія з позашкільними закладами освіти, науковими установами, підприємствами розширює можливості для реалізації інтегрованого навчання. Корисно налагоджувати партнерські відносини з університетами для проведення спільних дослідницьких проєктів, залучення науковців як консультантів і менторів. Співпраця з ІТ-компаніями може забезпечити доступ до сучасних технологій, проведення майстер-класів, організацію стажувань для учнів. Участь у міських та всеукраїнських конкурсах STEM-спрямування мотивує учнів до високоякісного виконання проєктів.

Підтримка на рівні освітньої політики є важливою для масового впровадження STEM-освіти. Рекомендується включення основ інтегрованого викладання у програми підготовки майбутніх педагогів, розробка типових програм інтегрованих курсів зі збереженням можливості їх адаптації, створення системи грантової підтримки закладів освіти для оснащення STEM-лабораторій, організація системи моніторингу якості STEM-освіти на національному рівні .

Висновки до Розділу 3

Проведене експериментальне дослідження підтвердило гіпотезу роботи, довівши статистично значущу ефективність впровадження інтегрованих STEM-курсів у вітчизняну систему освіти. Порівняльний аналіз результатів контрольного зрізу засвідчив істотне зростання рівня сформованості STEM – компетентностей в експериментальній групі порівняно з контрольною.

Розроблений комплекс організаційно-педагогічних умов може бути адаптований до специфіки різних закладів освіти і слугувати орієнтиром для педагогів-практиків. На основі отриманих емпіричних даних розроблено методичні рекомендації для подальшого масштабування досвіду.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення довготривалих ефектів STEM-освіти, розробку диференційованих моделей для різних вікових груп, створення системи підготовки педагогічних кадрів до роботи в умовах інтегрованого навчання.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження організаційно-педагогічних умов впровадження інтегрованого курсу "STEM" дозволило отримати теоретичні та практичні результати, що підтверджують висунуту гіпотезу та розв'язують поставлену наукову проблему. Комплексний аналіз теоретичних засад, вітчизняного та зарубіжного досвіду, а також результати експериментальної роботи дають підстави для формулювання таких узагальнених висновків.

Теоретичний аналіз наукових джерел засвідчив, що STEM-освіта як інтегрований підхід до навчання природничих наук, технологій, інженерії та математики набула широкого визнання у світовій освітній практиці завдяки своїй спроможності формувати у здобувачів освіти компетентності, необхідні для успішної діяльності у технологічно насиченому суспільстві. Концептуальні основи STEM-освіти базуються на ідеях конструктивізму, діяльнісного підходу та теорії міжпредметних зв'язків. Проведений аналіз показав, що математика у структурі STEM-освіти виконує роль універсальної мови для опису закономірностей природи, моделювання технологічних процесів та інженерного проєктування, що робить розвиток міжпредметних зв'язків математики критично важливим для формування цілісного наукового світогляду учнів.

Узагальнення практики впровадження інтегрованих STEM-курсів у закладах освіти різних країн виявило розмаїття організаційних моделей – від окремих інтегрованих курсів до трансформації всієї освітньої програми на засадах міжпредметності. Вітчизняний досвід свідчить про поступове зростання інтересу до STEM-освіти, проте впровадження стикається з низкою перешкод, зокрема недостатньою підготовкою педагогів до інтегрованого викладання, обмеженістю матеріально-технічної бази, консервативністю традиційної предметної системи навчання. Вивчення успішних практик дозволило виокремити ключові чинники ефективності інтегрованого навчання, серед яких проєктна діяльність, використання цифрових технологій, зв'язок навчання з реальними життєвими ситуаціями та професійна компетентність педагогів.

На основі теоретичного обґрунтування було виділено та охарактеризовано комплекс організаційно-педагогічних умов впровадження інтегрованого курсу "STEM". До цього комплексу увійшли змістова інтеграція навчального матеріалу на основі системотвірних міжпредметних понять та явищ, методична умова застосування активних та інтерактивних методів навчання з пріоритетом проєктної діяльності та проблемного підходу, технологічна умова використання сучасного цифрового освітнього середовища та STEM-лабораторій, а також кадрова умова систематичного професійного розвитку педагогів у галузі інтегрованого викладання. Обґрунтовано, що лише комплексна реалізація цих умов забезпечує синергетичний ефект та стійкі позитивні результати у розвитку міжпредметних зв'язків математики.

Розроблена та апробована модель впровадження інтегрованого курсу "STEM" для учнів сьомих-дев'ятих класів продемонструвала свою ефективність. Експериментальна перевірка, проведена методом порівняльного педагогічного експерименту, виявила статистично значущі відмінності між контрольною та експериментальною групами за показниками розвитку міжпредметних зв'язків математики, рівня сформованості математичної компетентності у контексті розв'язання міждисциплінарних задач, а також мотивації до вивчення природничо-математичних дисциплін. Учні експериментальних класів продемонстрували вищу здатність до перенесення математичних знань у контекст фізичних, хімічних, біологічних задач, краще розуміли практичну значущість математичних методів та виявляли більшу зацікавленість у дослідницькій діяльності.

Результати дослідження підтвердили, що успішність впровадження інтегрованого курсу "STEM" значною мірою залежить від готовності педагогів до міжпредметної співпраці, їхньої здатності проєктувати інтегровані навчальні ситуації та супроводжувати проєктну діяльність учнів. Розроблені методичні рекомендації охоплюють питання планування інтегрованих занять, організації дослідницьких проєктів, оцінювання міжпредметних результатів навчання та створення STEM-орієнтованого освітнього середовища. Практична апробація цих

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО рекомендацій підтвердила їхню дієвість та можливість використання у широкій педагогічній практиці.

Таким чином, дослідження досягло поставленої мети, а його результати мають як теоретичне, так і практичне значення для подальшого розвитку теорії та практики STEM-освіти в Україні. Перспективи подальших досліджень вбачаються у розробці диференційованих моделей інтегрованого навчання для різних вікових груп, вивченні впливу STEM-освіти на професійне самовизначення учнів та створенні системи підготовки педагогічних кадрів до роботи в умовах міжпредметної інтеграції.

Результати дослідження було апробовано на науково-практичних заходах всеукраїнського та регіонального рівнів. Зокрема, основні положення та висновки роботи представлені у формі доповіді на Ольвійському форумі «стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі» у червні 2025 року, де здобули схвальні відгуки від представників наукової спільноти та практикуючих педагогів. Крім того, дослідження реалізовувалось у рамках участі в освітньому проекті STEM-фестиваль «Цікава наука онлайн», організованому Чорноморським національним університетом імені Петра Могили. Участь у фестивалі дозволила отримати зворотний зв'язок від широкої аудиторії учнів та вчителів, що сприяло вдосконаленню змісту та методики впровадження STEM-навчання. У межах цього проекту було проведено тиждень природничих наук на базі Миколаївської гімназії №25, де учні мали змогу продемонструвати набуті знання за розробленим планом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Барна О. В., Балик Н. Р. Впровадження STEM-освіти у навчальних закладах: етапи та моделі. STEM-освіта та шляхи її впровадження в навчально-виховний процес : матеріали І регіон. наук.-практ. веб-конференції, Тернопіль, 24 трав. 2017 р. Тернопіль : ТОКІППО, 2017. С. 3–8.
URL: <http://elar.ippo.edu.te.ua:8080/bitstream/123456789/4559/>.
2. Білик Н. І., Пилипенко В. В., Шостя С. П. Розвиток цифрової компетентності педагогічних працівників у системі післядипломної освіти. Імідж сучасного педагога : електрон. наук. фах. журн. 2020. № 6 (195). С. 15–20.
DOI: [https://doi.org/10.33272/2522-9729-2020-6\(195\)-15-20](https://doi.org/10.33272/2522-9729-2020-6(195)-15-20).
URL: <http://isp.poippo.pl.ua/article/view/217445>
3. В столичній школі облаштували наукову STEAM-лабораторію. Офіційний інтернет-портал Шевченківської районної в місті Києві державної адміністрації: веб-сайт. URL: <https://shev.kyivcity.gov.ua/news/12936.html> (дата звернення: 26.12.2024)
4. Визначили найкращих школярів-винахідників України: фінал STEAM House. Освіторія: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pddjr> (дата звернення: 09.01.2024)
5. Використання елементів STEM-освіти на уроках математики : зб. матеріалів роботи творчої групи викладачів математики. Рівне : НМЦ ПТО, 2019. 95 с.
6. Віртуальний STEM-центр Малої академії наук України: веб-сайт. URL: <https://stemua.science/> (дата звернення: 11.01.2025)
7. Ворошилов О. Всесвітній економічний форум у Давосі-2021. Україна: події, факти, коментарі. 2021. № 2. С. 11–17.
URL: <http://nbuviap.gov.ua/images/ukraine/2021/ukr2.pdf>
8. Всеукраїнський конкурс SuperUrok2022. EDPRO: веб-сайт. URL: <https://edpro.ua/superurok2022> (дата звернення: 11.01.2025)
9. Гайда В. Я., Кавецький В. Є. Особливості підвищення кваліфікації вчителів природничої освітньої галузі в контексті розвитку STEM-освіти. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2023. № 210. С. 83-89.

- 10.Гайда В.Я. Ефективні прийоми STEM-навчання. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2024. №212. С. 81-85.
- 11.Гільберг Т., Тарнавська С., Павич Н. Нова українська школа: методика навчання інтегрованого курсу «Я досліджую світ» у 1-2 класах закладів загальної середньої освіти на засадах компетентнісного підходу: навч.-метод. посіб. Київ: Генеза, 2019. 256 с.
- 12.Грицюк Т. В. STEM-освіта як засіб підвищення творчого потенціалу учнів в умовах профільного навчання.
URL: http://elar.ippo.edu.te.ua:8080/bitstream/123456789/4576/1/02_%20Gritsyuk.pdf
- 13.Донець, Н. В. (2024). STEM-ОСВІТА – ВІТЧИЗНЯНИЙ ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки, (212), 154-160.
URL: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-212-154-160>
- 14.Засоби та обладнання STEM. Інститут модернізації змісту освіти : веб-сайт.
URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/zasobi-ta-obladnannya-stem/> (дата звернення: 11.01.2025)
- 15.Інформація про заходи (дані звернення : Інститут модернізації змісту освіти. – URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/zahodi/> (дата звернення: 13.03.25).
- 16.Коханко О. Формування готовності майбутніх учителів початкової школи до впровадження інтегрованого навчання. Актуальні питання гуманітарних наук. 2020. С. 152–156.
- 17.Литвинова С. Г. Поняття й основні характеристики хмаро орієнтованого навчального середовища середньої школи. Інформаційні технології і засоби навчання. т. 40, №2, С. 26-41, 2014. [Електронний ресурс]. Доступно: file:///C:/Users/HP/Downloads/ITZN_2014_40_2_5.pdf
- 18.Манькусь, І. В., Недбаєвська, Л. С., Дармосюк, В. М., Пархоменко, О. Ю. Інноваційне освітнє середовище: технології створення. ІНЖЕНЕРНІ ТА ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ, 2020, 8(1): 85-94.

- 19.Методичні рекомендації щодо розвитку STEM-освіти в закладах загальної середньої освіти та позашкільної освіти у 2025/2026 навчальному році: Лист ІМЗО № 21/08-624 від 18.07.2025 року. Освіта.ua. URL: <https://imzo.gov.ua/2025/08/08/lyst-imzo-vid-18-07-2025-21-08-624-metodychni-rekomendatsii-shchodo-rozvytku-stem-osvity-v-zakladakh-zahal-noi-seredn-oi-ta-pozashkil-noi-osvity-u-2025-2026-navchal-nomu-rotsi/>
- 20.МОН оголошує прийом заявок на оснащення навчальних кабінетів і STEM-лабораторій у 2020 році – заявки приймаються до 13 червня. Міністерство освіти і науки України: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pddin> (дата звернення: 06.01.2025)
- 21.На Буковині у п'яти школах створили STEM-лабораторії. Суспільне новини: веб-сайт. URL: <https://suspilne.media/156289-na-bukovini-u-pati-skolah-stvorili-stem-laboratorii/> (дата звернення: 10.01.2025)
- 22.На Кіровоградщині створять чотири STEM-лабораторії для школярів. Департамент освіти і науки Кіровоградської облдержадміністрації: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pddcu> (дата звернення: 10.01.2024)
- 23.НМТ-2024: офіційний звіт за результатами проведення (дані звернення: Український центр оцінювання якості освіти. 2024. URL: <https://testportal.gov.ua/nmt-2024-ofitsijnyj-zvit-za-rezultatamy-provedennya/> (дата звернення: 13.03.25).
- 24.Про результати проведення III етапу Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів-членів Малої академії наук України у 2023/2024 навчальному році: Наказ Міністерства освіти і науки України № 817. Головна | Міністерство освіти і науки України. URL <https://mon.gov.ua/npa/pro-rezultaty-provedennia-iii-etapu-vseukrainskoho-konkursu-zakhystu-naukovo-doslidnytskykh-robit-uchniv-chleniv-maloi-akademii-nauk-ukrainy-u-20232024-navchalnomu-rotsi> (дата звернення: 12.02.2025)
- 25.Рахманіна А. С. Підготовка майбутніх педагогів у закладах вищої освіти України за допомогою STEM-технологій: дис. на здобуття ступеня доктора

Організаційно-педагогічні умови впровадження інтегрованого курсу «STEM» у ЗЗСО філософії за спеціальністю 015 «Професійна освіта (за спеціалізаціями)» (01 «Освіта/Педагогіка») / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2024.

26. Садовий М. І., Соменко Д. В., Трифонова О. М. Робототехнічні комплекти в освітньому процесі. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка: Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2021. Вип. 27. С. 125-128.
27. Сальник І. В., Соменко Д. В., Сірик Е. П. Використання платформи ARDUINO у підготовці вчителів фізики до STEM орієнтованого навчання. Інформаційні технології і засоби навчання. 2023. Том 95, № 3. С. 124-142.
28. Сороко Н. В. Проблема створення STEAM-орієнтованого освітнього середовища для розвитку інформаційно-цифрової компетентності вчителя основної школи. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2018. №. 170. С.169-177.
29. Танська В., Майданюк І., Овчаренко О., Денисенко А., Стрілецька Н. STEM як інноваційна стратегія інтегрованої освіти: світовий досвід та перспективи. Перспективи та інновації науки: Журнал. Серії: «Педагогіка», «Психологія», «Медицина». 2024. № 10(44). С. 596–609. URL: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10\(44\)-596-60](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-10(44)-596-60)
30. Типові освітні програми для закл. загальної середньої освіти: 1-2 класи. Київ: ТД «Освіта-Центр+», 2018. 240 с.
31. Третяк О. STEM-підхід до навчання в початковій школі. Освіта та розвиток обдарованої особистості. 2023. № 2 (89). С. 36–42. URL: [https://doi.org/10.32405/2309-3935-2023-2\(89\)-36-42](https://doi.org/10.32405/2309-3935-2023-2(89)-36-42)
32. У житомирському ліцеї №23 відкрили четверту STEM-лабораторію в місті. Суспільне новини: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pddou> (дата звернення: 11.01.2025)
33. Упровадження STEM-освіти в умовах інтеграції формальної і неформальної освіти обдарованих учнів: методичні рекомендації/ Поліхун Н. І., Постова К.

Г., Сліпухіна І. А., Онопченко Г. В., Онопченко О. В. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 80 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/286032301.pdf> (дата звернення: 27.12.2025)

34. Учні обласного наукового ліцею освоюють цифрову навчальну лабораторію фізики. Департамент освіти і науки Кіровоградської облдержадміністрації: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pdddq> (дата звернення: 11.01.2025)
35. Шкільна STEM-лабораторія КЗ «Ліцей Науковий» КЗ «Ліцей» Науковий: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pddid> (дата звернення: 11.01.2025)
36. Школи Дніпропетровщини отримують нове обладнання для кабінетів та STEM-лабораторій. Пильний погляд: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pddlq> (дата звернення: 11.01.2025)
37. Balyk N., Barna O., Shmyger G., Oleksiuk V. Model of professional retraining of teachers based on the development of STEM competencies. ICT in Education, Research and Industrial Applications : Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Proc. 14th Int. Conf. ICTERI 2018. P. 440–450.
38. LEGO - розвиток в дітей навичок XXI століття. Департамент освіти і науки Кіровоградської облдержадміністрації: веб-сайт. URL: <http://surl.li/pddae> (дата звернення: 11.01.2025)
39. ORT STEM CUP. ORT-STEM: веб-сайт. URL: <http://stem.ort.org/?portfolio=ort-stem-cup> (дата звернення: 11.01.2025)
40. PISA-2022 Основні результати і висновки . Міні звіт. 2023. URL: https://pisa.testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/PISA-2022_Nacziionalnyj-zvit_korotkyj.pdf (дата звернення: 13.03.25).
41. STEM освіта – світовий освітній тренд. Марафон в-ва «Основа». URL: <https://www.youtube.com/watch?v=esIN32UO6B4>
42. STEM-освіта – шлях до майбутнього. Математика в школах України. 2017. № 27 (543). С. 32–35.
43. STEM-освіта. Гімназія №59 імені О.М. Бойченка міста Києва: веб-сайт. URL: <http://gymnasium59.org.ua/stem-osvita/> (дата звернення: 11.01.2025)

44.STEM-освіта. Інститут модернізації змісту освіти.

URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/>

45.STEM-фестиваль ROBOTICA+ROBOFIRST 2023. Фестиваль робототехніки:

веб-сайт.URL: <https://robotica.in.ua/fest-schedule/> (дата звернення: 11.01.2025)

ДОДАТКИ

Додаток А

1. Як сильно тобі подобаються наступні предмети?

	Дуже подобається	Подобається	Нейтрально	Не подобається	Зовсім не подобається
Математика					
Фізика					
Хімія					
Біологія					
Інформатика					
Технології					

2. Чи замислювався ти коли-небудь, як математика пов'язана з іншими науками або предметами?

3. Наведіть приклади, де знання з математики можуть бути корисними на уроках фізики, хімії, біології, інформатики чи технологій (напиши свій приклад, якщо він є)

4. Чи хотів би ти дізнатись більше про те, як різні шкільні предмети пов'язані між собою?

Приклад розробки інтегрованого STEM-заняття у блоці «Енергія та теплові процеси»

Заняття 1. Визначення питомої теплоємності матеріалів (Фізика + Хімія + Математика)

Активність: Лабораторний практикум з визначення питомої теплоємності води та якогось металу (або олії). Учні вимірюють масу, початкову/кінцеву температуру та час нагрівання (джерело тепла стабільне).

Завдання: Розрахувати питому теплоємність за відомою формулою. Порівняти, скільки енергії потрібно, щоб нагріти 1 кг річних речовин на 1⁰C.

Заняття 2. Швидке нагрівання та графіки (Фізика + Математика + Інформатика)

Активність: Експеримент із збором даних. Учні вимірюють температуру рідини кожні 2 хв протягом 10 хв (5 точок).

Завдання: Побудувати графік залежності T(t) (температура від часу) вручну або в електронній таблиці. Розрахувати середню швидкість нагрівання для різних проміжків часу, аналізуючи, чи була швидкість сталою.

Заняття 3. Моделювання парникового ефекту: Збір даних (Фізика + Біологія + Інформатика)

Активність: Демонстраційний експеримент. Створення двох міні-камер: відкрита (контроль) та закрита (парник). Вимірювання температури в обох камерах протягом 20 хвилин.

Завдання: Скласти таблицю даних у електронній таблиці та побудувати дві лінії на одному графіку. Зробити висновки про те, як замкнений об'єм впливає на акумуляцію теплової енергії, і обговорити наслідки для життя на Землі.

Заняття 4. Теплові втрати: Енергоаудит (Фізика + Математика + Технології)

Активність: Проектний розрахунок. Учні отримують умовні дані про стіну будинку (товщина, площа, матеріал). Використовуючи довідкові дані про теплопровідність розраховують скільки енергії втрачає через стіну за годину.

Завдання: Запропонувати оптимальні рішення для утеплення та розрахувати економічну вигоду від цього рішення.

Заняття 5. Екзо- та ендотермічні процеси: Енергія і Хімія (Хімія + Фізика)

Активність: Хімічна лабораторія. Проведення двох нескладних реакцій екзотермічна (з виділенням тепла, наприклад, розчинення їдкого натру) та ендотермічна (з поглинанням тепла, наприклад, розчинення селітри).

Завдання: Учні вимірюють зміну температури для обох реакцій. Класифікують реакції за типом теплового ефекту. Обговорюють, звідки береться або куди витрачається ця енергія на молекулярному рівні.