

БЕРДЯНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет фізико-математичної, комп'ютерної та технологічної освіти
Кафедра фізики, математики та методики навчання

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедру
д.п.н., проф. Олександр
ШКОЛА
«05» грудня 2025 р.

СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ОСВІТЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ STEM-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ

Кваліфікаційна робота магістра

Виконавець: здобувач другого рівня
вищої освіти, групи м2Ма-з

Галузь знань: 01 Освіта/Педагогіка

Спеціальність: 014 Середня освіта
(Математика)

Освітньо-професійна програма: Середня
освіта (Математика)

ПІБ: Кирило НЕТИКША

Керівник: к.п.н., Микола КУДІНОВ

Рецензент: к.п.н., Світлана ПАНОВА

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Нетикші Кирилу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Створення ефективного освітнього середовища на основі STEM технологій для навчання математики»

Керівник роботи: Кудінов М.В., к.п.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «02» грудня 2025 року № 718с.

2. Строк подання студентом роботи: 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: теоретичне обґрунтування і розробка методичних засад створення ефективного освітнього середовища на основі STEM технологій для навчання математики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- дослідити сучасні наукові підходи до впровадження STEM-освіти в освітній процес, зокрема у викладанні математики; визначити основні тенденції, проблеми та перспективи;
- розробити ефективні методики інтеграції STEM-технологій у навчання математики; запропонувати шляхи використання динамічних математичних середовищ, сенсорних платформ і мов програмування для формування ключових компетентностей учнів;
- творити модель освітнього середовища, що базується на STEM-підходах у викладанні математики, та розробити навчальні сценарії з використанням інноваційних інструментів;
- провести педагогічний експеримент і дослідити ефективність запропонованих методичних засад, оцінити їхній вплив на навчальні досягнення й мотивацію учнів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) (за необхідністю):

6. Консультанти розділів роботи (якщо передбачені):

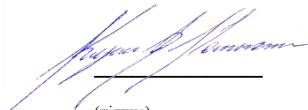
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 27.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Формулювання теми кваліфікаційної роботи, підготовка вступу, складання плану роботи.	грудень 2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел за темою дослідження, уточнення базових понять дослідження. Підготовка підрозділів 1.1, 1.2.	лютий – квітень 2025 р.	
3.	Підготовка підрозділу 1.3 та висновків розділу 1 кваліфікаційної роботи.	травень – вересень 2025 р.	
4.	Підготовка підрозділів 2.1 – 2.3 кваліфікаційної роботи та висновків 2 розділу.	жовтень – листопад 2025 р.	
5.	Оформлення підсумкового варіанту кваліфікаційної роботи відповідно до чинних вимог.	01.12.2025 р.	

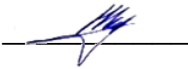
Здобувач вищої освіти:


(підпис)

Кирило НЕТИКША

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи:



Микола КУДІНОВ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ STEM-ПІДХОДІВ У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ У ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ	10
1.1. Провідні ідеї концепції STEM-технологій у шкільній математичній освіті.....	10
1.2. Вплив STEM-методик на освітній процес у закладі загальної середньої освіти.....	13
1.3. Використання STEM-підходів у викладанні математики.....	19
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ STEM-ОРІЄНТОВАНОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ	26
2.1. Підбір ефективних інструментів STEM для викладання математики.....	26
2.2. Моделювання освітнього процесу з математики на основі STEM-підходів.....	33
2.3. Інтерактивні методи навчання математики: віртуальні лабораторії та симуляції.....	41
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ STEM-ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ З МАТЕМАТИКИ	49
3.1. Підготовка та проведення педагогічного експерименту	49
3.2. Аналіз результатів експериментального навчання.....	60
ВИСНОВКИ.....	70
Декларація використання ГШІ (GAIDeT)	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
Додаток А Проєкт експериментальної групи (4 тиждень)	80
Додаток Б Зразок анкети	83

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна система освіти переживає масштабні трансформації, спричинені стрімким розвитком технологій, зростанням ролі інновацій та новими суспільними запитами щодо підготовки учнів. В умовах цифрової економіки критично важливим стає формування в здобувачів освіти здатності аналізувати дані, моделювати реальні процеси та приймати обґрунтовані рішення [29]. Саме тому STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics) посідає провідне місце серед інноваційних підходів до навчання. Її інтегрована природа дозволяє поєднувати природничі науки, технології, інженерію та математику в єдиний цілісний навчальний процес, формуючи в учнів системне бачення світу та навички практичного розв'язування задач [15].

Особливої актуальності STEM-підходи набувають у навчанні математики – дисципліни, що забезпечує інструментарій для опису й пояснення явищ у природничо-технічних та соціально-економічних сферах. Математика є мовою сучасних технологій: від алгоритмів штучного інтелекту і криптографії до фінансового моделювання та інженерних розрахунків. Інтеграція STEM-технологій у процес вивчення математики відкриває можливість переходу від абстрактних формул до реальних застосувань: обробки експериментальних даних, дослідження закономірностей через симуляції, проєктної роботи з використанням мікроконтролерів або хмарних обчислень [25].

Водночас упровадження STEM-освіти стикається з низкою викликів. Серед них – недостатнє матеріально-технічне забезпечення, насамперед у сільських школах, де відсутність сучасного обладнання ускладнює організацію лабораторних та проєктних робіт. Другою проблемою є брак методичної підготовки вчителів: не всі педагоги мають досвід роботи з динамічними математичними середовищами, цифровими датчиками та мовами програмування для моделювання. Крім того, інтегрований STEM-

курс потребує оновлення навчальних програм і гнучких міжпредметних зв'язків, що вимагає переосмислення організаційних підходів до навчання [3].

Впровадження STEM-підходів у математику сприяє розвитку критичного й алгоритмічного мислення, творчості, навичок аналізу даних, а також формує у здобувачів ключові компетентності, необхідні для успішної професійної діяльності в умовах суспільства знань [31]. Отже, обрана тема є науково й практично *актуальною*.

Метою дослідження є розробка та експериментальна перевірка методичних засад створення ефективного освітнього середовища на основі STEM-технологій для навчання математики.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі **завдання**:

- Дослідити сучасні наукові підходи до впровадження STEM-освіти в освітній процес, зокрема у викладанні математики; визначити основні тенденції, проблеми та перспективи.
- Розробити ефективні методики інтеграції STEM-технологій у навчання математики; запропонувати шляхи використання динамічних математичних середовищ, сенсорних платформ і мов програмування для формування ключових компетентностей учнів.
- Створити модель освітнього середовища, що базується на STEM-підходах у викладанні математики, та розробити навчальні сценарії з використанням інноваційних інструментів.
- Провести педагогічний експеримент і дослідити ефективність запропонованих методичних засад, оцінити їхній вплив на навчальні досягнення й мотивацію учнів.

Об'єкт дослідження: процес навчання математики в закладах загальної середньої освіти із застосуванням STEM-технологій.

Предмет дослідження: методичні засади створення ефективного STEM-орієнтованого освітнього середовища для навчання математики.

Методи дослідження: *теоретичні* (аналіз і синтез – для вивчення наукових джерел, сучасних методик і практик використання STEM-технологій у навчанні; порівняння та узагальнення – для визначення переваг і обмежень STEM-підходів у навчанні математики); *емпіричні* (спостереження – за організацією навчального процесу із впровадженням STEM-підходів; експеримент – для перевірки ефективності запропонованих методик і моделей навчання; анкетування та опитування учнів і вчителів – для оцінки сприйняття STEM-інструментів і впливу на мотивацію до навчання); *моделювання* (розробка моделі освітнього середовища, заснованого на використанні STEM-технологій для навчання математики); *методи математичної статистики* (обробка та аналіз отриманих даних для оцінки ефективності запропонованих підходів; визначення статистичної значущості результатів експерименту).

Ці методи забезпечують комплексний підхід до дослідження, дозволяючи не лише теоретично обґрунтувати, але й практично перевірити ефективність впровадження STEM-технологій у навчання математики.

Наукова новизна: уперше розроблено цілісну модель STEM-орієнтованого освітнього середовища для навчання математики, що інтегрує динамічні математичні програми, сенсорні вимірювання та програмно-обчислювальні засоби, підсилюючи прикладний характер математичної освіти й формування в учнів навичок аналізу даних.

Практичне значення: Запропоновані методичні рекомендації, навчальні сценарії та дидактичні матеріали можуть бути безпосередньо впроваджені у практику закладів загальної середньої освіти для підвищення ефективності викладання математики. Використання інтерактивних симуляцій, віртуальних лабораторій, сенсорних експериментів і Python-ноутбуків робить навчання більш наочним та мотивувальним.

Основні положення й результати дослідження були висвітлені на:

- Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Пріоритетні напрями розвитку науки під час воєнного стану» (8 березня 2024 р.);
- Всеукраїнській науковій конференції «Економічна кібернетика: інструменти і методи дослідження та організації економічних процесів» (12 березня 2024 р.);
- Всеукраїнської студентський науково-практичної конференції «Актуальні проблеми професійної та технологічної освіти: погляд у майбутнє» (11 жовтня 2024 р.);
- І Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (з міжнародною участю) «Освіта в глобальному і національному вимірах: виклики, загрози, ефективні рішення» (17 жовтня 2024 р.);
- Всеукраїнської науково-практичної конференції «Формування професійної компетентності майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін в умовах цифровізації вищої освіти» (17–18 жовтня 2024 р.);
- XVI Міжнародній виставці «Інноватика в сучасній освіті» (23–25 жовтня 2024 р.);

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (38 позицій), додатків (кількість - 4). Загальний обсяг роботи – 81 с., з яких 73 с. – основна частина. Робота містить 15 рисунків і 6 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ STEM-ПІДХОДІВ У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ У ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

1.1. Провідні ідеї концепції STEM-технологій у шкільній математичній освіті

Коли наприкінці 1990-х американські науковці заговорили про необхідність «мостиків» між класичною освітою й індустріальними потребами, майже ніхто не підозрював, що абревіатура STEM, уперше зафіксована у звітах National Science Foundation у 2001 році, менше ніж за два десятиліття перетвориться на всесвітній освітній тренд. Зміст поняття – інтеграція науки, технологій, інженерії та математики – зрозумілий інтуїтивно, але його справжня потужність проявляється тоді, коли «М» із сухої алгебраїчної символіки перетворюється на універсальну мову опису і проєктування реальності. Саме математика дозволяє учневі вловити приховану логіку процесів, які вчора здавалися хаотичними: від сезонної динаміки гідрографа місцевої річки до алгоритмів рекомендаційної системи в улюбленому додатку в телефоні [32].

Поступ STEM-парадигми набув додаткового імпульсу, коли Організація економічного співробітництва та розвитку встановила прямий зв'язок між часткою STEM-компетентних випускників і темпами зростання ВВП, а World Economic Forum у 2020 році прогнозував, що до 2030-го сім із десяти нових професій вимагатимуть уміння працювати з математичними моделями, даними й цифровими системами [1]. Українська школа – попри хронічний дефіцит фінансування – не залишилася осторонь: Концепція НУШ і Державний стандарт базової та профільної середньої освіти 2020 року офіційно закріпили математичну та технологічну компетентності як обов'язковий результат. Внутрішні накази МОН щодо розвитку STEM-освіти (зокрема № 960 від 08.10.2021) деталізували створення кабінетів, лабораторій і мережевих центрів, де математичні задачі розв'язуються вже не крейдою «у повітрі», а з опорою на датчики, 3D-моделі та хмарні обчислення [3].

Фундаментальна ідея STEM-підходу полягає у міждисциплінарності, однак саме математика забезпечує ту «спільну граматику», завдяки якій фізичні закони, біологічні експерименти й інженерні проєкти складаються у цілісне бачення. Коли восьмикласники на уроці математики отримують завдання виміряти температуру в різних частинах школи в класі, коридорі, біля вікна, на вулиці за допомогою звичайного цифрового термометра, а потім вносять дані в Google Таблиці й будують стовпчасту діаграму, вони починають бачити, як математика застосовується в реальному житті. Обговорюючи, чому температура змінюється, вони висувають гіпотези, проводять порівняння, рахують середнє значення й діапазон, а деякі навіть починають прогнозувати зміни [4]. У цей момент математичні поняття перестають бути абстрактними: середнє арифметичне вже не просто формула з підручника – воно стає інструментом для розуміння світу навколо.

Базові принципи STEM-орієнтованого курсу математики викристалізувалися у шкільній практиці поступово. Вони не виникли на порожньому місці: ще Г. М. Коджаспіров і Ю. К. Бабанський наголошували на важливості дослідницьких умінь як стрижня навчальної діяльності [22]. Пізніше Н. Г. Зюзькевич, Н. Л. Головізнина та С. В. Зуєв конкретизували їхню структуру, а К. П. Кортнєв запропонував класифікацію, що відділяла загальнонавчальні та спеціальні дослідницькі дії [26]. Однак лише поява доступної обчислювальної техніки дала змогу учневі пройти повний цикл на справжніх – часом «брудних» – даних, де шум і похибка не приховано за гладенькими цифрами в підручнику, а стають об'єктом окремого аналізу [3].

Сьогодні в українських класах дедалі частіше можна побачити картину, немислиму ще десять років тому: під керівництвом учителя діти проєктують геодезичний купол із використанням 3D-друку, розраховуючи площу і навантаження; паралельно команда однокласників збирає температурні дані з різних мікрорегіонів шкільного подвір'я і через Python будує теплову карту, накладаючи її на план місцевості. Математичний апарат у цих ситуаціях – від

тригонометрії до статистики – подається не «в лоб», а органічно, як спосіб дати відповідь на запитання, що виникають у процесі проєктування [4].

Практичні результати такої інтеграції вже задокументовані. Пілотні STEM-класи програми «STEM-школа», запущеної 2017 року, показали упродовж трьох років стабільний приріст у зовнішньому незалежному оцінюванні: середній бал ЗНО із математики піднявся з 160 до понад 180 пунктів, а частка учнів, що обирають профілі, пов'язані з інформатикою, інженерією та аналітикою даних, перевищила 70% [24]. Важливо, що йдеться не лише про вищі обчислювальні навички, а передусім про здатність формулювати проблему, обирати релевантний метод і критично оцінювати результат – компетентності, які міжнародне дослідження PISA вважає ключовими для успішної адаптації у мінливому світі [33].

Попри суттєвий поступ, шлях STEM-математизації не позбавлений бар'єрів. Найпомітніший – кадровий: за даними Інституту освітньої аналітики (2020), упевнено працюють із сенсорами та мовами програмування лише близько третини шкільних педагогів. Оснащення теж залишається нерівномірним; міські ліцеї користуються laser-граверами й VR-шоломами, тоді як значна частина сільських закладів покладається на застарілі комп'ютери й нестабільний інтернет [25]. Однак і тут намітилися позитивні тенденції: децентралізація фінансів дала змогу громадам запускати локальні STEM-хаби, а наставницькі програми «вчитель учителю» поширюють практичний досвід швидше, ніж традиційні курси.

Несподіваним каталізатором розвитку стали пандемія COVID-19 і повномасштабна війна росії проти України. Перехід у дистанційний формат загострив запит на інтерактивні симуляції та хмарні середовища. Платформи GeoGebra Classroom, PhET і Tinkercad дозволили не лише «пережити» локдауни, а й показали, що частину лабораторних робіт можна виконувати будь-де, маючи комп'ютер і доступ до мережі Internet. Багато школярів, які були змушені евакуюватися за кордон, зберегли навчальну мотивацію саме через спільні STEM-проєкти, де математичні розрахунки ставали

інструментом реального внеску: хтось проєктував у SketchUp модульні будинки для тимчасових переселенців, хтось оптимізував логістику гуманітарних складів [26]. Такі кейси переконливо демонструють, що математичні формули можуть рятувати не лише екзаменаційну ситуацію, а й людські життя.

Отже, провідна ідея STEM у контексті шкільної математики полягає в тому, щоб перенести акцент із пасивного відтворення алгоритмів на активне конструювання реальності засобами моделювання й аналізу даних. Множення дробів чи розв’язування рівнянь із параметром не зникає, але перестає бути самоціллю: кожен інструмент підпорядковано спільному завданню – зрозуміти, передбачити й покращити світ, у якому живе учень [10]. Саме так математика повертає собі природний статус універсальної мови науки й техніки, а водночас стає для дитини «персональним навігатором» у просторі сучасних професійних викликів.

1.2. Вплив STEM-методик на освітній процес у закладі загальної середньої освіти

STEM-освіта поступово переростає зі статусу новації у стрижневий компонент модернізації сучасної української школи, і саме у викладанні математики ця трансформація вирізняється особливою глибиною та наслідками. Коли учитель пропонує учням не просто вивчати формули, а шукати закономірності в показниках якості повітря, знятих портативним датчиком, чи побудувати на основі реальних метеоданих модель сезонних коливань температури, абстракції класичної алгебри та аналізу набувають відчутного сенсу. Діти раптом відкривають, що квадратні рівняння «живуть» у балістичних розрахунках, а похідна описує не лише дотичну до кривої, а й швидкість поширення новини у соціальній мережі. Такі інсайти катапультиують мотивацію: там, де раніше звучало традиційне «А навіщо мені це?», тепер виникає цілком конкретне запитання «Як цього досягти?».

Дослідницькі практики, що ґрунтувалися переважно на спостереженні й нескладних лабораторних дослідах, стрімко еволюціонували під впливом цифрових технологій [16]. Уже в середній школі учні здатні самостійно організувати повноцінний цикл «збирання – обробки – інтерпретації» даних, користуючись хмарними таблицями, інтерактивними графічними середовищами та мовами програмування високого рівня. Саме на цьому полі сходяться ключові ідеї STEM-парадигми та методичні напрацювання шкільного курсу математики, що традиційно формували вміння логічно мислити, але інколи залишався осторонь реальних технічних і природничих задач.

Уміння ставити проблему, висувати гіпотезу, підбирати інструментарій і, головне, перевіряти одержані результати – така структура дослідницької діяльності описувалася Н. Г. Зюзькевич і Н. Л. Головізніною [2], деталізувалася С. В. Зуєвим та уточнювалася К. П. Кортневим [31]. Проте, як слушно зауважують сучасні дослідники, більшість цих класичних праць базувалася на умовах, коли комп'ютер був рідкістю, а вимірювальна техніка – привілеєм спеціалізованих лабораторій. Сьогодні ж учитель, що має під рукою декілька одноплатних мікроконтролерів, набір датчиків і ноутбук, може організувати експеримент із пошуку нелінійної залежності розчинності солей від температури або побудувати за допомогою учнів модель оптимальної логістики пунктів видачі гуманітарної допомоги у прифронтовому регіоні. Математика перестає бути «мовою лише для обраних» і стає універсальним засобом опису та планування реальності.

Зростання інтересу до подібних підходів підтверджує статистика Міністерства освіти і науки України: за результатами цільового опитування роботодавців 2018 р. понад 80% респондентів вказали, що пріоритетними навичками вступників на молодші технічні посади є аргументоване оперування даними та вміння будувати математичні моделі повсякденних процесів. Саме тому з 2017 р. у межах державно-громадської ініціативи «STEM-школа» було запущено пілотні класи, де традиційні години алгебри,

геометрії та інформатики об'єднано у блокові проєкти. Як з'ясувалося під час трирічного моніторингу, середній бал зовнішнього незалежного оцінювання таких учнів із математики стабільно перевищує традиційний приблизно на шістнадцять–сімнадцять балів [21]. Та ще виразніше різницю помітно у якості виконання відкритих задач, де потрібно не знайти готовий алгоритм у підручнику, а самостійно окреслити шлях розв'язання. Отримані дані корелюють із міжнародними дослідженнями PISA, що фіксують: школярі, які регулярно працюють із датчиками та цифровими симуляторами, показують вищі результати саме в категорії «математичне мислення в нестандартних ситуаціях».

Як ми вже говорили раніше, STEM-методики в закладах загальної середньої освіти базуються на декількох ключових принципах:

- **Інтеграція дисциплін.** Замість розділення предметів на окремі науки, STEM-освіта передбачає їх інтеграцію. Це дозволяє учням розвивати системне мислення та розуміння, як знання з різних галузей можуть бути поєднані для вирішення реальних проблем.

- **Проектно-орієнтоване навчання.** Проектний підхід дозволяє учням вивчати матеріали через практичну діяльність, що сприяє глибшому розумінню предмету. Наприклад, у рамках інформатики учні можуть розробляти проєкти, що пов'язані з моделюванням або програмуванням.

- **Застосування технологій.** Використання сучасних технологій є невід'ємною частиною STEM-методик. Учні працюють із цифровими платформами, програмами моделювання, робототехнічними наборами, що дозволяє їм розвивати навички, необхідні для сучасної роботи в науково-технічній галузі.

Використання STEM-методик значно впливає на розвиток компетенцій у школярів.

- **Критичне мислення.** STEM-освіта змушує учнів аналізувати дані, знаходити нові рішення для проблем і оцінювати результати своєї роботи. Це

розвиває в них навички критичного мислення, які є важливими для подальшого навчання та роботи в будь-якій сфері.

- **Творче мислення.** STEM-освіта сприяє розвитку творчого підходу до вирішення проблем. Наприклад, під час виконання проєктів з інформатики чи фізики учні можуть експериментувати з різними технологіями та методами, щоб знайти найефективніші рішення [38].

- **Комунікаційні навички.** У процесі STEM-навчання школярі часто працюють у командах, що розвиває їх комунікаційні здібності. Спільне вирішення завдань допомагає їм навчитися співпрацювати та обговорювати рішення, що є важливою складовою успішної професійної діяльності.

Це підтверджує порівняльний аналіз результатів навчання в українських школах станом на 2021 (рис. 1.1).

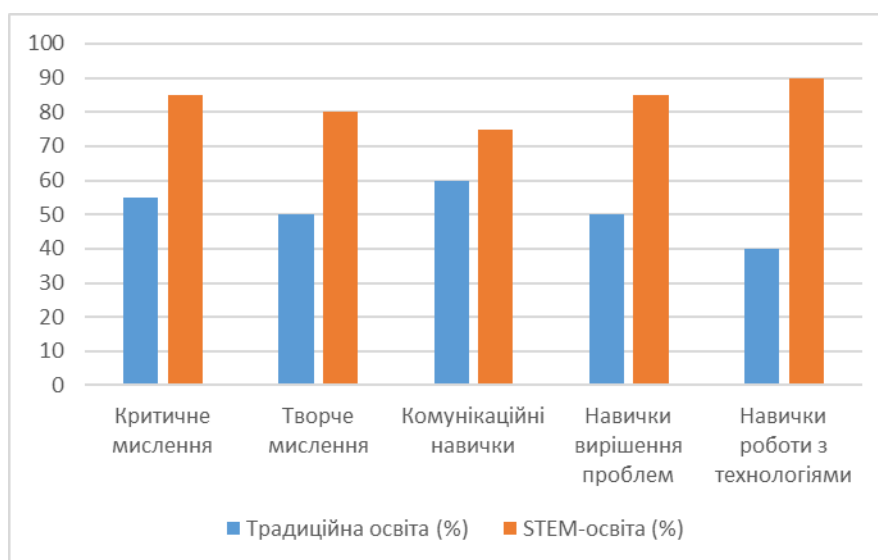


Рисунок 1.1 Розвиток ключових компетенцій за STEM-методиками (порівняльний аналіз)

В Україні використання STEM-методик у закладах загальної середньої освіти набирає обертів завдяки впровадженню спеціалізованих програм та проєктів. Один із найбільш успішних прикладів – це програма «STEM-школа», започаткована у 2017 році. Вона передбачає інтеграцію природничих наук, інженерії, математики та інформатики у навчальні плани українських шкіл. Дослідження результатів програми показало, що учні, які

брали участь у STEM-заняттях, демонструють вищі результати у порівнянні з тими, хто навчався за традиційними методиками [29].

Згідно з дослідженням Українського центру оцінювання якості освіти (2024), учні STEM-класів продемонстрували на 35,8% кращі результати на зовнішньому незалежному оцінюванні (НМТ) з математики. Крім того, близько 70% учасників таких програм виявили бажання продовжувати навчання у галузях, пов'язаних із наукою та технологіями, що значно перевищує середній показник по країні. (Таблиця 1.1) [25]

Таблиця 1.1.

Порівняння результатів НМТ у традиційних і STEM-класах

<i>Предмет</i>	<i>Традиційна освіта (середній бал)</i>	<i>STEM-освіта (середній бал)</i>
Математика	132,5	179,9
Фізика	134,7	176,2

Утім, стрімке розгортання STEM-підходів оголює низку системних дисбалансів. Перший і найочевидніший з них – кадри. Досвід Інституту освітньої аналітики засвідчує: попри оптимістичні звіти про численні курси підвищення кваліфікації, на практиці лише близько третини вчителів почуваються впевнено, коли потрібно, наприклад, підключити датчик вологості ґрунту до мікроконтролера, зчитати вибірку і в реальному часі візуалізувати її у GeoGebra. Для решти такий експеримент залишається швидше демонстрацією, аніж повноцінною дослідницькою роботою, адже страх перед технічними збоями блокує сміливість експериментувати. Вихід бачиться у розбудові наставницьких горизонтальних мереж, де досвідчені STEM-педагоги супроводжують колег «у полі», а не лише на разових тренінгах.

Другий виклик – матеріально-технічний. Контраст між оснащенням міських гімназій і сільських ліцеїв часом перевищує розрив у двадцять років технологічного поступу. Навіть якщо область отримає партію ноутбуків,

швидкість інтернету у віддалених селах не дозволяє одночасно завантажити інтерактивну симуляцію усім учасникам. Проте саме тут можуть зіграти роль децентралізовані ініціативи: об'єднані територіальні громади, зацікавлені у збереженні молоді, все частіше фінансують невеликі, але добре обладнані STEM-кабінети, перетворюючи школи на локальні хаби технологічної культури.

Третій – емоційно-психологічний. Пандемія COVID-19, а пізніше й повномасштабна військова агресія росії створили ситуацію тривалого стресу. Учні втрачали звичні соціальні зв'язки, переїжджали до інших регіонів чи навіть країн, навчання переходило в онлайн із мінімальним контактом. У цих умовах STEM-проекти парадоксально виявилися точкою стабілізації: можливість зібрати команду у віртуальній лабораторії, спільно виміряти параметри довкілля чи запрограмувати робота-симулянта додавала відчуття контролю над хоча б часткою реальності. Іншими словами, технологічні інструменти стали ще й своєрідним психотерапевтичним ресурсом, який допомагає відновити мотивацію та подолати апатію.

Окремо варто наголосити на перспективі післявоєнного відновлення: країні знадобляться тисячі інженерів-проектувальників, аналітиків транспортних потоків, енергетиків, фахівців із геоінформаційних систем. Освоєння STEM-практик у шкільній математиці вже сьогодні закладає підвалини для такого кадрового резерву, адже учні набувають досвіду роботи з реальними, «брудними» даними, вчаться критично оцінювати похибки й приймати рішення під невизначеністю. Перехід від «крокодилових» задач до живих кейсів – наприклад, оптимізації маршрутів дронів – формує як технічні, так і громадянські компетентності: діти усвідомлюють свою участь у спільній справі й бачать, як математична модель трансформується у життєво важливий продукт [13].

Звісно, розв'язати всі проблеми одномоментно неможливо. Проте існує стратегія «малих, але системних кроків». Вона передбачає створення локальних ініціатив: шкільні клуби робототехніки, мікрогранти на STEM-

проекти, партнерство з університетами та бізнесом, де старшокласники отримують наставництво й доступ до серйознішої техніки. Не менш важливим є запровадження у курикулумі так званих інтегрованих проєктних тижнів, коли клас повністю занурюється у розв'язання міждисциплінарної проблеми – наприклад, аналізує енергоефективність будівлі школи: збирає дані, рахує теплові втрати, моделює альтернативні джерела живлення, прораховує окупність. Після такого досвіду учень починає сприймати математичні поняття як інструмент впливу на довколишній світ, а не як набір формальних вправ.

Отже, вплив STEM-методик на освітній процес виходить далеко за межі підвищення середнього бала чи зростання кількості схвальних відгуків у щоденнику. Йдеться про глибинну зміну парадигми: математика перестає бути «королевою наук, яка ходить у вінку з сухих теорем», і стає живою, активною учасницею великих суспільних процесів. Вона допомагає молоді не лише розуміти світ, а й творити його заново – точним, безпечним, енергоефективним. Саме тому масштабне, методично виважене й технологічно підкріплене впровадження STEM у шкільний курс математики сьогодні слід розглядати не як опцію, а як стратегічний пріоритет, без якого неможливо забезпечити ані конкурентоспроможність держави на глобальній арені, ані успішну самореалізацію кожного випускника в умовах невинних технологічних і соціальних змін [28].

1.3. Використання STEM-підходів у викладанні математики

STEM-орієнтований курс математики, попри те що спирається на досягнення сторічної методичної традиції, сьогодні переживає фактично «другий старт»: інтеграція науки, технологій, інженерії та, власне, самої математики дозволяє перетворити класичний предмет із суто формального тренажера логічних вправ на динамічну лабораторію осмислення реальності. Таке переосмислення стає особливо актуальним з огляду на стрімкий

розвиток цифрових технологій, які щодня генерують терабайти даних і потребують фахівців, здатних не лише будувати моделі, а й критично оцінювати їхню адекватність [7]. У цьому контексті шкільна математика перестає бути «листям на дереві знань» і постає міцним стовбуром, що з'єднує фундаментальні теорії з інжиніринговими рішеннями, від яких залежить добробут технологічної цивілізації.

Провідна ідея STEM-навчання полягає не просто у додаванні кількох практичних занять до блоку алгебри чи геометрії, а у систематичному перенесенні акценту з відтворення алгоритмів на творче конструювання. Учень, який раніше розв'язував вправу «знайти площу фігури обертання», тепер може за допомогою 3D-сканера зняти форму реального предмета, імпортувати її в GeoGebra та обчислити об'єм, порівнявши результат із вимірюваннями водою у лабораторному циліндрі. Такий підхід дає змогу побачити у формулі не суху абстракцію, а інструмент, що дозволяє перевірити гіпотезу і прийняти практичне рішення [11].

Ще виразніше освітній ефект виявляється у проєктних циклах, коли математичні знання виходять за межі власної дисципліни й об'єднуються з природничо-інженерним контекстом. Учні, наприклад, збирають дані про локальні зміни температури ґрунту на шкільному подвір'ї, фіксують показники датчиками micro:bit, експортують таблиці в Jupyter і будують модель для прогнозування вологості. У процесі виконання такого завдання школярі мимоволі занурюються у статистичний апарат: вчаться коригувати шум, розуміють причинно-наслідковий зв'язок, знайомляться з поняттям «довірчий інтервал» і оцінюють похибку вимірювань [17]. Саме тут абстрактний термін «стандартне відхилення», який роками залишався для багатьох школярів малодоступним, набуває відчутної конкретики: різниця між показниками двох сенсорів стає предметом не сварки, а математичного обговорення.

Інтеграційна сила STEM-підходу проявляється й у тому, що він розкриває міждисциплінарний потенціал математики. Вивчаючи основи

похідних, учні можуть змодельовати швидкість поширення інформації у соціальних мережах, а робота з геометричними перетвореннями плавно переходить у алгоритми комп'ютерної графіки та доповненої реальності. У старших класах задачі лінійної алгебри оживають у процесі кодування зображень, обробки аудіосигналів чи розв'язування систем рівнянь Кірхгофа для оптимізації електромережі. Через такі практики школярі інтуїтивно відчують, що математика є «точкою дотику» природничих наук і технологій: без неї неможливо ні налаштувати роботизовану руку, ні побудувати архітектурну конструкцію, ні написати алгоритм рекомендаційного сервісу.

Не менш важливим чинником ефективності STEM-курсу виступає програмування. На відміну від «чистої» інформатики, де кодування часто є самоціллю, у математиці мови Python чи Julia слугують засобом висунути й перевірити математичну ідею. Коли дев'ятикласник за допомогою бібліотеки SymPy продукує розкладання многочлена на лінійні множники, він не «обходить» трудомісткі ручні обчислення, а здобуває метакомпетентність: формулювати задачу в термінах алгоритму, обирати адекватний метод і критично ставитися до результату, порівнюючи його з аналітичним розв'язком [17]. У такому ракурсі програмування стає природним продовженням олівця і зошита, а не стороннім «ІТ-аксесуаром».

Моделювання й симуляції – ще одна опора, на яку спирається STEM-математика. Замість абстрактної побудови графіка функції $y = f(x)$, учні отримують таблицю з даними про кількість кроків, пройдених упродовж тижня (наприклад, із фітнес-браслетів або додатка на смартфоні). Вони будують графік зміни активності, аналізують, у які дні рухалися найбільше, знаходять середнє, обчислюють відхилення, порівнюють два тижні між собою. Таке завдання не лише ілюструє поняття графіка, а й формує навички аналізу даних і самоспостереження. Учень бачить, що функція – це не лише формула, а ще й спосіб представити власне життя в цифрах і візуалізаціях. Той самий GeoGebra, який учні звикли використовувати для побудови

графіків $y = x^2$, стає інструментом для вивчення руху: наприклад, вони вводять формулу шляху при рівноприскореному русі й спостерігають, як змінюється траєкторія при різних значеннях прискорення. А симуляції PhET дозволяють "оживити" абстрактні формули з фізики: змінюючи масу тіла або силу тертя, учні одразу бачать, як змінюється його рух, і можуть співвідносити це з побудованими графіками залежності швидкості від часу. У такий спосіб зникає розрив між формулою й реальністю – з'являється досвід моделювання, який учень може контролювати власноруч. Завдяки таким інструментам абстракції поступово наповнюються сенсом, а традиційний розрив між «лічбою» й «життям» зменшується [11].

Ключова особливість сучасного STEM-формату – впровадження дослідницьких методів. Тут учень не отримує готової інструкції; він мусить сформулювати гіпотезу, визначити змінні, спроектувати експеримент, зібрати й інтерпретувати дані. Процес набуває рис справжньої наукової роботи, де важливо аргументувати вибір моделі й чесно трактувати результати. Уміння правильно тлумачити дані сьогодні стає не абстрактною навичкою, а необхідністю. Коли учень бачить графік із прогнозом погоди чи аналіз витрат у банківському додатку, він повинен розуміти: дані можуть змінюватися, прогнози не завжди точні, а тенденція не означає гарантію. Працюючи з реальними таблицями й графіками на уроці – наприклад, аналізуючи, як змінюється витрата електроенергії вдома протягом місяця, – учні вчать ставити запитання до даних: «Чи це закономірність?», «Чи може бути інше пояснення?», «Чи не забагато винятків?». Так формується критичне мислення, яке дозволяє відрізнити корисний тренд від випадкових флуктуацій і не робити надмірних узагальнень [11].

Зрозуміло, що така трансформація потребує зміни ролі учителя. Той, хто звик пояснювати тему за підручником і перевіряти «правильність» розв'язання за зразком, тепер виступає фасилітатором, наставником і, почасти, ментором проєкту. Йому доводиться супроводжувати клас у відкритому пошуку, де результат може виявитися непередбачуваним. Саме

тому ключовим ресурсом стають не стільки датчики чи комп'ютери, скільки підготовка педагога. Курси з підвищення кваліфікації, що пропонуються МОН і недержавними платформами, дедалі частіше включають модулі з Python-аналізу даних і проектного менеджменту; водночас з'являються горизонтальні спільноти вчителів, які діляться «живими» кейсами і практичними напрацюваннями.

Сучасний педагог має не лише знати зміст предмета, а й володіти цифровою грамотністю, умінням працювати з симуляторами, візуалізацією даних, хмарними сервісами та середовищами спільного програмування. Від нього очікується здатність швидко адаптувати навчальний контент до технічних умов школи, рівня підготовки класу та індивідуальних особливостей учнів. Поступово формується нова професійна культура – учитель-дослідник, який планує навчальний процес як серію експериментів і рефлексивних практик. Така модель педагогічної діяльності сприяє не лише оновленню змісту уроку, а й підвищенню авторитету самого вчителя, який постає партнером у пізнанні, а не контролером знань.

Водночас ця зміна ролі не усуває потреби в системній підтримці. Важливо, щоб підготовка кадрів супроводжувалася методичними рекомендаціями, бібліотекою відкритих цифрових ресурсів і можливістю наставництва з боку більш досвідчених педагогів. Особливої ваги набувають регіональні центри інноваційної освіти, які допомагають школам впроваджувати STEM-проекти навіть за обмежених ресурсів.

Матеріально-технічний аспект теж залишається викликом. Не кожна школа має доступ до швидкісного інтернету та сучасного комп'ютерного парку. Проте досвід децентралізованого фінансування, коли громади інвестують у STEM-кабінети як у стратегію збереження молоді, свідчить: навіть один добре обладнаний клас може стати осередком регіональної інноваційної активності. У громадах, де запущено такі лабораторії, зростає кількість учнівських стартапів, а освітній туризм – по суті, обміни між

школами – створює мережу, у якій обладнання використовується на максимальну потужність [1].

Пандемія COVID-19 та воєнні виклики останніх років лише посилили актуальність STEM-підходу. Перехід на дистанційні й змішані формати навчання змусив педагогів шукати інтерактивні симулятори, хмарні обчислення та спільні простори для кодингу. Водночас проєктна діяльність набула нової соціальної ваги: розробка математичних моделей для логістики гуманітарної допомоги чи прогнозування енергоспоживання стала реальним внеском школярів у підтримку громади [36]. Такі приклади демонструють, що STEM може бути не лише навчальною технологією, а й інструментом громадянської участі. Учні бачать, що знання з математики, фізики й інформатики мають безпосереднє практичне значення, а їхня праця впливає на реальні процеси у світі навколо. Це формує відчуття відповідальності, командності й мотивації до подальшого навчання.

У підсумку саме STEM-формат забезпечує шкільному курсу математики ту гнучкість і життєвість, яких традиційно бракувало. Коли формули оживають у даних, графіки – у проєкціях реальних процесів, а задачі – у прототипах, учень починає сприймати математику не як обов'язковий етап «зубріння», а як навігатор у світі складних, міждисциплінарних викликів. Така трансформація робить предмет одночасно глибшим і ближчим, зміцнює мотивацію й закладає фундамент компетентностей, без яких неможлива ані особиста кар'єра у високотехнологічному середовищі, ані стратегічний розвиток країни. STEM-освіта показує, що сучасна школа може бути лабораторією творчості й аналітики, місцем, де формується покоління мислителів, інженерів і дослідників. Саме через подібні підходи математика повертає собі роль універсальної мови науки, технологій і майбутнього.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ STEM-ОРІЄНТОВАНОГО ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ

2.1. Підбір ефективних інструментів STEM для викладання математики

Вибір інструментів для STEM-орієнтованого курсу математики передбачає створення цілісного освітнього середовища, у якому класичні математичні положення поєднуються з аналізом реальних даних і візуалізацією результатів. Роль учителя виходить за межі традиційного використання дошки, крейди й підручника: він формує систему взаємопов'язаних засобів навчання, яка має задовольнити кілька важливих вимог. По-перше, надати учням можливість безпечно експериментувати, не ризикуючи пошкодити складне обладнання. По-друге, забезпечити умови для глибокого аналітичного опрацювання матеріалу. По-третє, зберегти доступність навчання навіть за умов обмежених матеріально-технічних ресурсів [15].

В основі такого добору лежать чотири стратегічні критерії, кожен з яких по-своєму впливає на результат. Перший – це, звичайно, **практичність і інтерактивність**. Математика набуває сенсу, коли формули виходять зі сторінки підручника й вступають у діалог із реальністю. Саме тому динамічні математичні середовища – GeoGebra, Desmos або Cabri 3D – стають фактично «першою мовою» STEM-уроку. Учень прокручує повзунок параметра й одразу спостерігає, як змінюється крива; він перетягує вершину трикутника і бачить, що площа залишається сталою, а от висота коливається. У цей момент поняття похідної перетворюється зі схеми в рух, а закон синусів – із фрази в інструмент вимірювання [38].

Не менш важливою є **гейміфікація** – не як модна «фішка», а як механізм підтримки довготривалої мотивації. Платформи на кшталт Mangahigh або Prodigy переносять розв'язування рівнянь у сюжетну арку

пригодницької гри: щоб відкрити нову локацію, треба розкласти многочлен, аби подолати перешкоду – обчислити площу фігури обертання. Система нагород і мікрочеленджів тримає фокус довше, ніж традиційні «домашки», і водночас виховує звичку до регулярних тренувань без примусу.

Другий критерій – **проектна «життєвість» інструмента**. Якщо динамічне середовище дозволяє «помацати» абстракцію, то сенсорні платформи й 3D-принтери виводять математику назовні, у матеріальний світ. Коли старшокласники прикріплюють до Arduino датчик CO₂, знімають добову вибірку і будують експоненційну модель, поняття логарифма виникає органічно. А проекти з друку геодезичних куполів чи багатогранників перетворюють формули об'єму та площі поверхні на цілком відчутні деталі: надрукував, зібрав, перевінив на міцність, підкоригував модель [8]. Таке «виховання руками» формує відразу дві навички – концептуальне розуміння й конструкторську відповідальність: похибку тепер рахують не «для галочки», а щоб купол не тріснув.

Третій, не менш вагомий, – **адаптивність**. Навчальний контекст стає дедалі більш строкатим: у тому самому класі можуть сидіти й майбутній олімпіадник, і дитина, що лише вчора переїхала з іншої країни. Платформи типу Khan Academy, SOWISO або Brilliant здатні розподіляти завдання за рівнем готовності учня, а вчителів надають теплові карти прогресу, де видно, на якій саме темі «застряг» кожен. Адаптивні тести не лише виставляють оцінку, а й у реальному часі змінюють траєкторію навчання: якщо учень упевнено розв'язує задачі на відсотки й пропорції, система може запропонувати перехід до теми функцій і їхніх графіків, поступово готуючи ґрунт для подальшого ознайомлення з поняттям похідної. Натомість той, хто має труднощі з дробовими виразами, отримує додаткове підкріплення через візуальні моделі й більш поступове підвищення складності.

Четвертий критерій – **доступність та масштабованість**. Українська реальність – це мозаїка високошвидкісного міського інтернету і сільських шкіл, де Wi-Fi з'являється хвилями. Саме тому безкоштовні або умовно-

безкоштовні, «легкі» до встановлення й хмарні сервіси мають пріоритет. GeoGebra працює у браузері й офлайн; Python можна запускати хоч у телефонному Juno – було б бажання; Google Colab або Kaggle Kernels відкривають ноутбук із бібліотеками машинного навчання одним кліком. Якщо ж говорити про апаратну частину, micro:bit чи Raspberry Pi Pico коштують у рази дешевше за традиційні лабораторні стенди, а при цьому дозволяють під'єднати десятки датчиків, від ультразвукових далекомірів до газоаналізаторів. Тож навіть школа без потужного бюджету може розгорнути мінімально необхідний набір для «живої» математики [5].

У такий спосіб формується багаторівнева екосистема: динамічне програмне забезпечення – для унаочнення й дослідження; сенсорні платформи – для збору даних; 3D-друк – для матеріалізації геометрії; мови програмування й хмарні обчислення – для поглибленого аналізу; гейміфікаційні та адаптивні середовища – для підтримки інтересу й диференціації. Усі ці компоненти не існують ізольовано; вони замикаються у циклі «від гіпотези до перевірки», де учень проходить повний науковий шлях: ставить запитання, шукає інструмент, отримує дані, будує модель, перевіряє її й презентує результат [3].

Зрештою саме така – інтегрована, жива, доступна й гнучка – інструментарна база перетворює шкільний кабінет математики на майстерню дослідника, у якій формули стають інструментами творення, статистика – наукою про світ навколо, а кожен графік – діалогом між абстракцією й реальністю.

Завершуючи огляд інструментального арсеналу, варто прискіпливіше придивитись до тих онлайн-симуляторів і платформ, що буквально «оживляють» шкільну математику, переносючи її з площини паперу у простір взаємодії й дослідження. У добу швидкісного інтернету вже немає сенсу пояснювати параболу лише словесно, якщо за кілька секунд можна відкрити GeoGebra з рухомим повзунком і дати учневі самому відчути, як коефіцієнт a змінює кривизну гілок. Саме такі динамічні середовища, що працюють

просто в браузері, стали для багатьох закладів середньої освіти справжнім «універсальним ключем» до STEM-уроків: вони не потребують потужних комп'ютерів, установлення ліцензійних пакетів чи складних налаштувань, але натомість відкривають цілий світ моделювання – від первісних у 8-му класі до обертання тіл навколо довільної осі у профільній школі.

Показовою є історія невеличкої гімназії на Чернігівщині, де шкільний кабінет інформатики оснащено всього десятком стареньких ноутбуків, а інтернет у сонячну погоду ледве «тягне» відео 360p. Учителька математики обрала тактику «мінімалізму плюс хмарні обчислення»: GeoGebra запускається офлайн, дані з датчиків micro:bit зберігаються у простому .csv, а далі через Google Colab діти будують криві й тестують гіпотези. Три роки тому вони вперше підключили датчик вологості ґрунту просто на клумбі під вікном класу, тепер же збирають багатомісячні ряди, аналізують автокореляцію, а поняття «линейна апроксимация» чи «коэффициент детерминации» звучать для них не як екзаменаційні страшилки, а як цілком утилітарні інструменти для прогнозу врожайності локальної грядки полуниць [18]. Наскільки зросла успішність? За підсумками поточного року всі дев'ятикласники склали ДПА з математики щонайменше на дванадцять балів вище, ніж їхні попередники трирічної давнини, а п'ятеро з двадцяти буквально «захворіли» на data-science і вже експериментують із нейронними мережами в середовищі Kaggle.

Не менш красномовним є досвід використання візуальних симуляторів PhET Interactive. У темі «Коливання та тригонометричні функції» вчитель замість традиційного графіка на дошці запускає анімацію маятника: учень бачить, як період залежить від довжини нитки, фіксує точки відхилення й одразу будує синусоїду на сполученому екрані GeoGebra. Замість сухого «підстав l у формулу» з'являється усвідомлене запитання: «Чому при подвоєнні довжини період виріс не вдвічі, а у $\sqrt{2}$ рази?» Так формується той самий місток між фізикою та математикою, на якому й ґрунтується міждисциплінарність STEM. Неможливо перебільшити значення цього

підходу: він демонструє, що математичні поняття не існують відірвано від реальності, а стають засобом опису і пояснення фізичних явищ. Так, наприклад, закон Архімеда можна розглядати не лише як фізичне твердження, а й як практичну ілюстрацію пропорційності: сила виштовхування прямо залежить від об'єму витісненої рідини, а маса рідини визначається добутком її густини та цього об'єму. Таким чином, проста арифметична дія перетворюється на ключ до розуміння процесів, які ми відчуваємо у повсякденному житті.

Що ж до мови програмування, роль Python сьогодні важко переоцінити. Бібліотеки Matplotlib та Plotly дають змогу будувати вісім типів графіків п'ятьма рядками коду, а NumPy й SciPy знімають бар'єр «шкільної» алгебри, дозволяючи майже автоматично розв'язувати системи рівнянь чи здійснювати спектральний аналіз. Здавалося б, навіщо дев'ятикласнику Фур'є-розклад? Але варто поставити завдання прогностичного моделювання сплесків відвідуваності шкільного сайту, і раптом з'ясовується, що частотний спектр – це не теорія, а спосіб упіймати добовий тренд і налаштувати кешування. Саме такі відкриття перетворюють випадковий інтерес у довготривалу мотивацію, а математику – на квиток у світ багатомільйонних open-source-спільнот.

Для ефективного впровадження STEM-підходу в навчання математики необхідно обрати відповідні цифрові інструменти, що сприяють розвитку ключових компетентностей учнів, зокрема критичного мислення, здатності до моделювання, аналізу даних та візуалізації математичних об'єктів. Сьогодні існує широкий спектр програмних засобів, які можуть бути інтегровані в освітній процес із математики. Для обґрунтованого вибору таких інструментів було проведено порівняльний аналіз найбільш популярних із них за рядом критеріїв: функціональність, інтеграція з іншими платформами, доступність, наявність україномовного інтерфейсу, можливості для STEM-проектів тощо. (Таблиця 2.1)

Звичайно, не всяке STEM-середовище може собі дозволити власний лазерний гравер чи флот Raspberry Pi, але існує ще одна «велика рівнялівка» – гейміфіковані платформи на кшталт Prodigy чи PolyUp. Вони працюють навіть на смартфоні, а отже позбавляють шкільний кабінет статусу «єдиного місця доступу до цифрової математики» [4]. Увечері учень може повторити тему дробів, перетворивши її на битву з «босом», і водночас учитель отримує статистику помилок – бачить, яке питання не зрозуміло класу і яке підсилення потрібно на наступному уроці.

Таблиця 2.1

Аналіз інструментів для STEM-освіти в навчанні математики

<i>Інструмент</i>	<i>Особливості</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
GeoGebra	Динамічна математика: алгебра, геометрія, статистика	Безкоштовна, український інтерфейс, інтерактивність, побудова графіків	Потребує доступу до комп'ютера або планшета
Desmos	Графічний калькулятор, візуалізація математичних об'єктів	Простий інтерфейс, можливість створювати анімації	Вужча функціональність порівняно з GeoGebra
Khan Academy	Онлайн-платформа для самостійного вивчення математики	Відео, тести, адаптивне навчання, безкоштовний доступ	Не завжди враховує програму української школи
PhET Simulations	Інтерактивні симуляції з фізики й математики	Візуалізація абстрактних понять, дослідницький формат	Англомовний інтерфейс, потреба у поясненні з боку вчителя
Google Таблиці / Excel	Табличні обчислення, візуалізація даних	Широкі можливості побудови діаграм, аналізу даних	Учням потрібні навички роботи з електронними таблицями
Python	Мова програмування	Безкоштовний, гнучкий, підтримує	Потрібне налаштування

	для обчислень, графіки, модельовання	бібліотеки для алгебри, графіки, статистики	середовища, базові навички програмування
--	--	---	--

Залишається ключове питання доступності. Плата micro:bit у повному наборі сенсорів коштує приблизно стільки, скільки стандартний підручник у твердій обкладинці. GeoGebra безкоштовна, PhET – теж. Іншими словами, головний ресурс, що сьогодні стримує частину шкіл, – це не гроші, а наявність людини, готової взятися за новий інструмент. Тут і ховається складний, але розв’язний виклик: підготовка вчителя. Аналіз показує, що наставницькі програми, у межах яких досвідчений педагог здійснює поетапний супровід професійного становлення молодого вчителя — від початкового опанування технічних засобів до організації та презентації учнівських проєктів, – забезпечують вищі результати порівняно з традиційними очними курсами підвищення кваліфікації. Адже STEM-урок неможливо «вивчити з методички» [35] – його треба прожити, відчути той момент здивування, коли похибка з експерименту після лінійної фільтрації перетворюється на гладеньку синусоїду, а учень каже: «Тепер я розумію, що таке σ ».

Отже, добір інструментів – це не стільки про перелік програм чи девайсів, скільки про філософію: будь-яка платформа, яка дозволяє учневі ставити запитання, експериментувати, бачити негайний відгук реальності й без страху помилятися, варта того, щоб опинитися у STEM-кабінеті. Лише за цієї умови формула перестає бути мертвим текстом під параграфом, а геометрична фігура – плоским ескізом на сторінці. Вона стає частиною особистого, емоційно забарвленого досвіду, а отже й основою тих компетентностей, без яких неможлива ані сучасна інженерія, ані зріла громадянська позиція в інформаційному суспільстві.

2.2. Моделювання освітнього процесу з математики на основі STEM-підходів

Моделювання в STEM-курсі математики – це не стільки дидактичний прийом, скільки спосіб перетворити клас на лабораторію, де формули безпосередньо з'єднуються із життям. Коли учні створюють спрощену цифрову копію реальної системи, вони отримують шанс побачити, як абстрактна теорія лінійної алгебри чи математичного аналізу «працює» у конкретних процесах: від поширення інформації в соціальній мережі до коливань температури ґрунту на шкільній клумбі. Саме так, через конструювання ітеративних моделей, виникає відчутний міст між рівнем підруничкової теореми та світом, у якому ця теорема допомагає ухвалювати рішення [6].

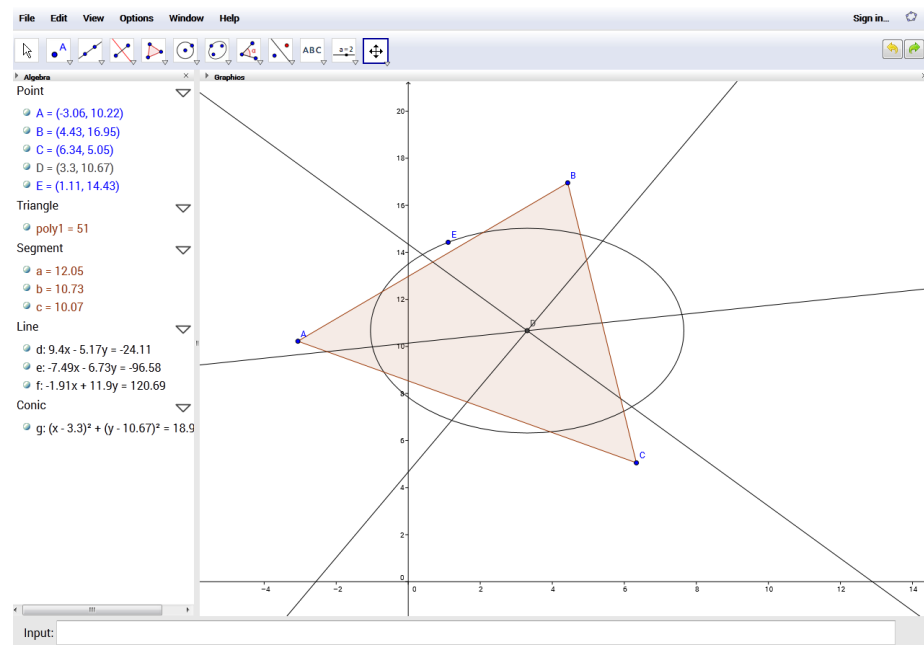


Рисунок 2.1 Середовище *geogebra.org*

Віртуальні лабораторії й симулятори тут відіграють роль «другого вчителя». GeoGebra (рис. 2.1) або PhET Interactive Simulations (рис. 2.2) дозволяють учням змінити параметр – наприклад, коефіцієнт a у параболі чи опір у RC-ланцюзі – й миттєво побачити, які наслідки це спричиняє для траєкторії, швидкості або енергоспоживання. Там, де раніше доводилося задовольнятися статичною картинкою, тепер можна у реальному часі

випробувати кілька гіпотез поспіль, а тоді порівняти отримані графіки із даними, знятими сенсором micro:bit у шкільному дворіку. Така інтеграція «екрану і поля» руйнує прірву між лабораторною і класною діяльністю, особливо коли ресурси обмежені або навчання відбувається дистанційно [32].

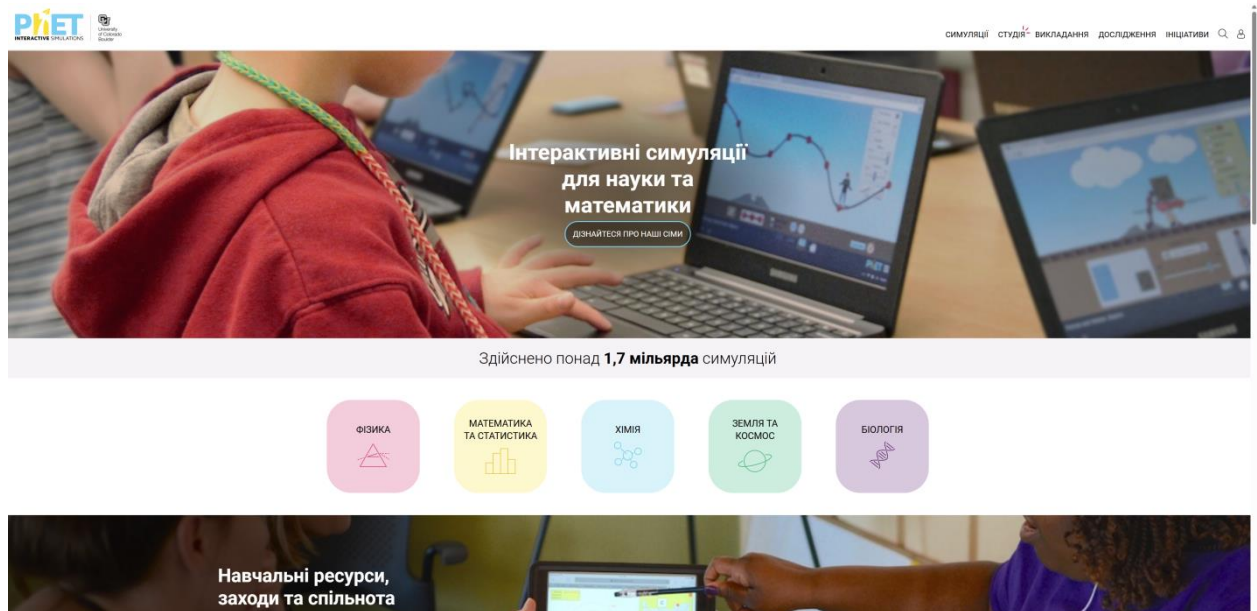


Рисунок 2.2 Сторінка сайту *PhET Interactive Simulations*

У проєктній роботі можливості моделювання розкриваються повніше. Пара одинадцятикласників, яка будує математичну модель розумної теплиці із саморегулюванням вологості, вимушена підключити статистику, теорію графів і основи контролерної логіки, щоб система справді спрацювала. Тут і програмування, і робототехніка – лише засоби; головна роль належить математиці, бо саме вона диктує алгоритм зворотного зв'язку та допомагає прорахувати похибку вимірювань [8]. А коли начинений датчиками макет починає подавати сигнал тривоги при порушенні оптимальної температури, учні переконуються, що похідна – це не символ над u , а швидкість зміни реального показника.

Поєднання коду й фізичної дії особливо помітне у проєктах із Arduino або LEGO Mindstorms (рис. 2.3). Щойно школяр завантажує скетч, який рухає робота вздовж траєкторії, він негайно бачить похибку: кут повороту не дорівнює розрахунковому, бо тертя змінює швидкість. Щоб виправити відхилення, потрібно не переписувати «всліпу» код, а доробити модель,

урахувавши коефіцієнт ковзання чи затримку відповіді сервопривода. Тим самим учень природно входить у коло STEM-дослідження: формує гіпотезу, коригує рівняння, перевіряє експериментально і знову зворотню змінює алгоритм [30].

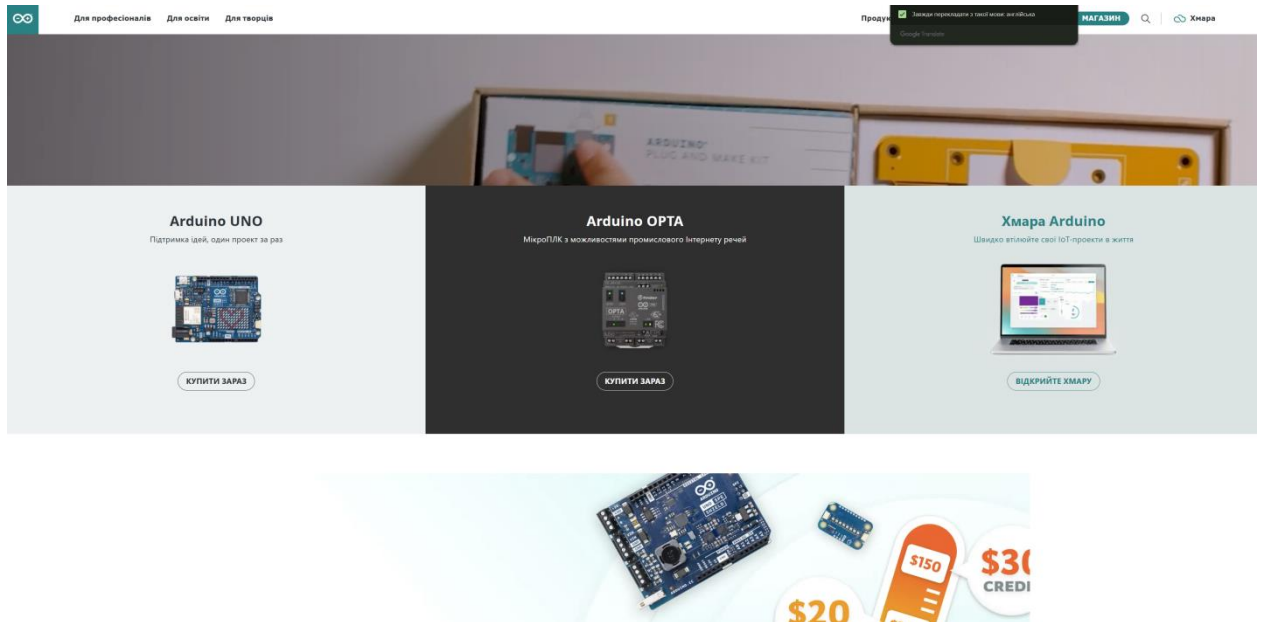


Рисунок 2.3 Сторінка сайту **Arduino.com**

Такий підхід культивує критичне мислення. Модель – це завжди припущення, отже її треба обґрунтувати, оцінити межі застосування, виміряти похибку. Учні, що звикають будувати й перевіряти моделі, колективно проходять усі шаблі наукового пошуку: від формулювання запитання до публічного захисту результатів. Саме тому в дослідженні [6] підкреслюється, що робота з математичними моделями привчає школярів не просто запам'ятовувати факти, а шукати причинно-наслідкові зв'язки, перевіряти дані і спростовувати власні помилки. Тож STEM-модельовання стає не прикрасою, а серцевиною сучасного курсу математики, у якій формули дійсно керують перетворенням навколишнього світу.

Інтегральна природа STEM-підходу особливо виразно проявляється тоді, коли математичне моделювання стає «точкою зборки» знань із кількох навчальних предметів. Учень, який конструює та програмує невеличкого роботизованого маніпулятора, вже не може обмежитися самим лише кодом: щоб рука рухалася плавно, доводиться пригадувати шкільну механіку,

застосовувати тригонометрію для розрахунку кутів і радіус-векторів, а за потреби навіть залучати початки лінійної алгебри – трансформаційні матриці дають змогу точніше описати оберти у тривимірному просторі. У такий спосіб математика виявляє свою універсальність: вона слугує спільною мовою, яка зв'язує фізичні закони, алгоритмічні процедури та інженерні обмеження конструкції в єдине, зрозуміле всій команді рішення.

Покажемо є й випадок, коли десятикласники будують цифрову «погоду в реальному часі» для власного подвір'я. Датчики температури та вологості збирають «сирі» ряди, далі – статистичний аналіз сезонних трендів, розробка й тестування моделі, а під кінець – порівняння з офіційними даними Українського гідрометцентру. Біологія пояснює, чому різні види рослин реагують на мікроклімат, географія допомагає врахувати рельєф, а алгебра та аналіз дають інструмент, що з'єднує спостереження з прогнозом. Кожен учасник проєкту відповідає за свою ділянку – хтось підтягує дані з API, хтось шукає статистичні аномалії, ще хтось кодує візуалізацію – і тільки від злагодженості всієї команди залежить, чи зможуть вони пояснити, чому фактичні зливи не збігаються з «ідеальною» синусоїдою з підручника [23]. Саме тут народжується справжнє системне мислення: діти вчаться бачити, як окремі цеглини знань вибудовують цілісну конструкцію, без якої прогноз розсипається.

Така міждисциплінарна взаємодія різко підвищує мотивацію. Щойно учень на власні очі бачить, як графік, побудований у GeoGebra, корелює з реальними показниками датчика, абстракція перестає бути «чужою». З'являється відчуття особистого внеску: «це працює, бо я правильно застосував формулу – а не просто списав відповідь». Подібний досвід робить знання екзистенційно значущим: результати можна показати батькам, надіслати другу у чат або використати як аргумент, чому шкільний тепличний комплекс потребує модернізації. Учень відчуває: математика – це інструмент, що змінює світ, а не лише оцінка у журналі. Саме завдяки цьому багато старшокласників після участі у таких проєктах свідомо обирають

інженерні та аналітичні спеціальності: вони вже знають, що їхні навички потрібні й цінуються.

Водночас масштабне впровадження моделювання стикається з типовими перешкодами. Матеріальна база не скрізь дозволяє тримати клас із десятком датчиків чи 3-D-принтером; учителю часом бракує впевненості працювати з Python, а шкільний розклад не охоче поступається місцем довготривалим проєктам. Утім, ці виклики поступово долаються: бюджети громад спрямовуються на один-два мобільні STEM-кейси, які можна передавати між школами; міні-курси підвищення кваліфікації переходять від теорії до практики «тут і зараз»; нарешті, інтегровані проєктні тижні закладаються у календар як обов'язкова частина навчальної програми. Досвід переконує: щойно учитель бодай раз пройде з класом повний цикл від задуму до захисту моделі, моделювання перестає здаватися ризиком і стає буденною, але надзвичайно продуктивною педагогічною практикою.

Однією з найбільочіших перешкод для повномасштабного впровадження STEM-моделювання в курсі математики лишається матеріальна база [1]. У невеличких ліцєях Полісся чи гірських селах Галичини все ще можна побачити комп'ютери із застарілою ОС і повільним інтернетом; про 3-D-принтер чи сканер мова взагалі не йде, а датчики для збору даних здаються розкішшю. За таких умов учителям важко організувати повний цикл «зняти–обробити–проаналізувати», і моделювання звужується до показу слайдів. Подолати цю прірву допомагає диверсифіковане фінансування: державні субвенції на STEM-кабінети, гранти Erasmus+ чи Horizon Europe, благодійні ініціативи IT-компаній і, що не менш важливо, спільні закупівлі через громаду. Коли школа отримує бодай два бюджето-дружні набори micro:bit із базовими сенсорами, а до них – безкоштовний GeoGebra, можливість «помацати» математику власноруч уже перестає бути недосяжною мрією.

Не менш суттєвим бар'єром виявляється людський чинник. Учитель, досвід якого формувався у парадигмі «пояснив–відпрацювали–перевірів»,

інколи сприймає STEM-ініціативи як загрозу: потрібно опановувати Python, возитися з датчиками, кудись переїжджають затишні контрольні роботи. Розірвати це коло допомагають змішані курси підвищення кваліфікації, де теорію одразу підкріплено практикою: педагоги не просто слухають про регресійний аналіз, а збирають температуру в холі МАН-центру, візуалізують результат у Desmos і отримують готовий classroom-сценарій. Коли ж додати менторську підтримку від колеги-«STEM-євангеліста», страх перед технікою швидко перетворюється на спортивну цікавість.

Скепсис адміністрації – ще одна точка спротиву. Директор, який звик оцінювати успіх уроку середнім балом, насторожується, коли учні замість контрольної будують модель «розумної» теплиці. Тут працює лише прозора статистика: варто показати, що після півроку STEM-практик середній результат діагностичної роботи з алгебри зріс на 12-14 %, а кількість охочих обирати профіль «математика + ІТ» подвоїлася, – і питання «навіщо нам це» змінюється на «як швидше масштабувати» [10].

До об'єктивних труднощів додається дефіцит якісного контенту українською: інтегровані задачі знайти легше англійською чи польською, тож частина шкіл просто відмовляється від моделювання. Виходом стають відкриті репозиторії, створені університетами та МАН-центрами: бібліотека GeoGebra Ukraine, курс «Моделювання даних у шкільній математичній освіті» на Prometheus, колекція Jupyter-шаблонів від факультету кібернетики КНУ. Коли до цього додати впровадження електронних підручників із інтерактивними вставками, навіть школа без швидкісного інтернету може завантажити блок матеріалів офлайн і працювати з ним на місці.

Київський кейс. У столичному ліцеї № 12 обмежилися одним «мандрівним» STEM-кейсом вартістю менше, ніж новий комплект друкованих зошитів: дві плати Arduino Nano, набір сенсорів температури й вологості, недорогий 3-D-ручний сканер та три ноутбуки з установленою GeoGebra. У рамках теми «Статистичні закономірності» десятикласники вимірювали температуру класних приміщень кожні 30 хвилин упродовж

тижня, будували діаграму Бокса-Вілкоксона та перевіряли гіпотезу про вплив сонячної інсоляції. Результат – практичне рішення: змінений розклад провітрювання, який зменшив добовий розмах температури майже на два градуси. Після цього директор побачив у «іграшкових» датчиках інструмент енергозбереження, і фінансування на другий кейс знайшлося без довгих перемовин.

Дистанційний кейс зі Львова. Під час локдауну вчителька математики перенесла весь моделювальний блок у GeoGebra. Учні п'ятого–сьомого класів отримували посилання на інтерактивний аркуш: рухали контрольні точки, фіксували координати у вбудованій таблиці й у реальному часі спостерігали, як змінюється площа трапеції чи нахил дотичної. Підсумковим завданням стало створення власної моделі – наприклад, «літаючого змія», довжина нитки якого корегується залежно від швидкості вітру (дані брали з відкритого метео-API). Навіть без фізичних датчиків школярі пройшли повний цикл: зібрали дані, збудували модель, спростували «красиву» гіпотезу й пояснили розбіжності. Після року такого дистанційного формату 85% учнів склали зрізові роботи на рівні, не нижчому за доковідний, а кілька шестикласників виявили інтерес до участі в конкурсах MATHCODE.

Отже, хоча шлях до повноцінного STEM-моделювання в шкільній математиці усіяний і фінансовими, і психологічними перепонами, практичні приклади показують: навіть мінімальний набір ресурсів, доповнений цілеспрямованим підвищенням кваліфікації та колегіальною підтримкою, здатен запустити процес, який вже після першого успішного циклу починає підживлювати себе сам. Головне – зруйнувати стартовий бар'єр: дати учневі бодай один шанс переконатися, що формула на сторінці справді керує теплицею, дронами чи економією тепла в рідній школі [7].

З огляду на викладені труднощі логічним кроком стає вироблення кількох практичних рекомендацій, які допоможуть – навіть за обмежених ресурсів – поступово інтегрувати STEM-моделювання в уроки математики.

Перш за все варто йти шляхом **поступової інтеграції**. Досвід показує, що клас добре адаптується, коли «точки входу» невеликі: одне коротке завдання в GeoGebra чи одноденний міні-проект із побудови теплової карти класу на даних, знятих одним-єдиним датчиком. Психологічна межа подолана – а значить, можна рухатись далі: підключити ще два сенсори, додати аналіз у Python, ввести поняття похибки. Учитель так само працює «сходишками» – від демонстраційного листа до повної проєктної сесії, де учні самі планують експеримент і захищають модель. Такий ритм знімає стрес і дає змогу коригувати навантаження, не жертвуючи глибиною змісту.

Друга опора – **міжпредметна співпраця**. Математичне моделювання розквітає, коли поряд стоять учителі фізики чи географії: лінійна регресія «оживає» у задачі про теплопровідність, а інтеграли починають «говорити» під час обчислення площі басейну стоку. Практика «парних» уроків або спільних проєктних тижнів (наприклад, «Вода і місто: від опадів до каналізації») показує кращі академічні результати, ніж ізольоване викладання, і паралельно формує в дітей відчуття, що дисципліни реально переплітаються.

Не менш важливе **залучення батьків та місцевої громади**. Коли учні презентують на батьківських зборах, як прогнозували витрати тепла у шкільній їдальні й запропонували схему утеплення, дорослі бачать конкретну користь і охочіше підтримують матеріально: хтось подарує сучасний ноутбук, хтось допоможе виготовити датчикові кронштейни. Партнерство з місцевими ІТ-офісами чи профільними кафедрами університетів відкриває доступ до майстер-класів і менторської підтримки – а це вже ресурс не лише технічний, а й мотиваційний.

Змішаний або дистанційний формат не скасовує STEM-моделювання – навпаки, **бленд-підхід** посилює його гнучкість. Онлайн-платформи (Google Classroom, Moodle, Microsoft Teams) дають змогу викласти підготовчі матеріали й відеоінструкції, а живе заняття присвятити суто експерименту й обговоренню отриманих даних. У нашій практиці найкраще «зчеплення»

показала зв'язка GeoGebra Classic + Classroom: учні вдома конструювали попередню модель, а в класі доповнювали її показниками з датчиків і разом обговорювали відхилення від теоретичної кривої [37]. Такий «ритм два кроки онлайн – один крок офлайн» дає час на осмислення, не розриваючи процес на окремі, непов'язані фрагменти.

У підсумку можна стверджувати: моделювання, вплетене у STEM-уроки математики, здатне перетворити формули на дієвий інструмент зміни середовища, а клас – на команду дослідників. Стратегія малих кроків, міжпредметної співдружності та грамотного змішаного формату дозволяє подолати й технічні, й кадрові обмеження, відкриваючи школярам простір, у якому $y = f(x)$ перестає бути абстракцією й починає світитися інженерним сенсом. Саме так вибудовується міст від шкільної вправи до реальних викликів, а математичні компетентності перетворюються на ресурс, потрібний і суспільству, і самій дитині у її майбутній професійній траєкторії.

2.3. Інтерактивні методи навчання математики: віртуальні лабораторії та симуляції

Коли ми говоримо про «живу» математику, першою на думку спадає динамічна геометрія GeoGebra: варто лише потягнути вершину трикутника – і площа, кут або радіус описаного кола відгукуються миттєво, немов кардіограма знань. Саме ця миттєва реакція робить віртуальні лабораторії й симуляції незамінними у сучасному STEM-курсі. Вони переносять теорему чи формулу в середовище, де можна експериментувати без страху зламати дорогий прилад або «завалити» контрольну. До того ж, такі середовища перетворюють учня з пасивного спостерігача на дослідника: кожен рух мишкою чи зміна параметра стає маленьким науковим відкриттям. Тут формується справжня дослідницька культура — уміння ставити запитання, висувати гіпотези та перевіряти їх на візуальному рівні. Учитель уже не диктує істину, а лише спрямовує процес пошуку. Школярі не просто заучують

властивості параболи – вони бачать, як та сама парабола описує траєкторію баскетбольного м'яча, а зміна коефіцієнта a у рівнянні негайно «піднімає» або «опускає» дугу польоту.

Віртуальна лабораторія, з одного боку, імітує реальну фізичну установку, з іншого – додає те, чого жоден матеріальний прилад не дасть: повну свободу «перемотування часу». Учень може зупинити анімацію, зафіксувати координати точок, а тоді повернутися на кілька кроків назад, щоб перевірити альтернативну гіпотезу [16]. У GeoGebra або Desmos це робиться одним повзунком. PhET-симуляції йдуть іще далі: у досліді з гармонічними коливаннями можна «заморозити» маятник у крайньому відхиленні, змінити довжину нитки й одразу побачити, як формально незмінна формула

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

оживає в новому числовому значенні періоду.

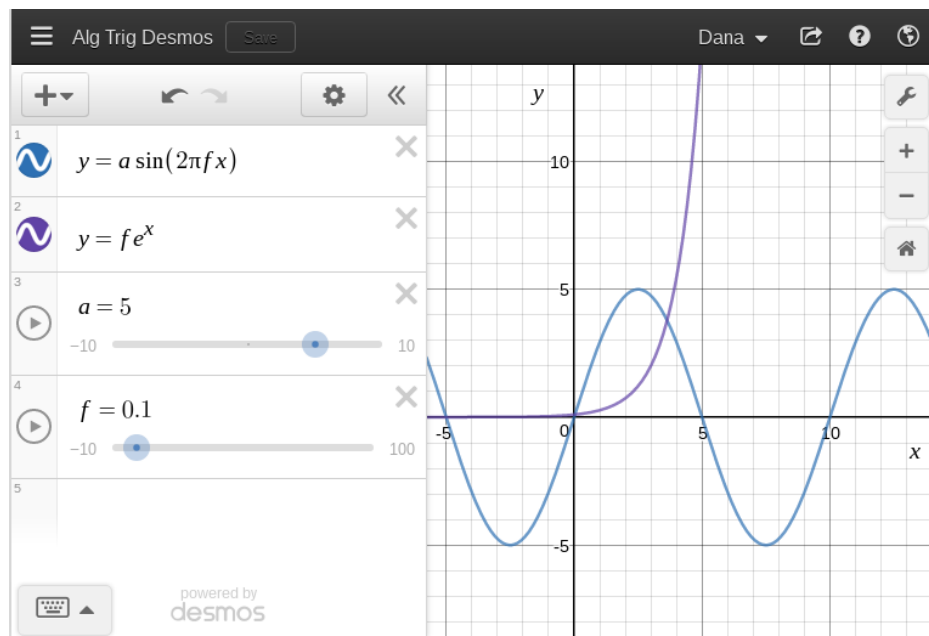


Рисунок 2.4 Сторінка сайту desmos.com

Такі середовища особливо цінні під час дистанційного чи змішаного навчання. В умовах, коли частина класу під'єднується з дому, а частина сидить у кабінеті, спільний «екран» GeoGebra або Desmos стає точкою

зустрічі (рис. 2.4). Учитель відкриває інтерактивний аркуш; учні самостійно «крутять» параметри, а система в реальному часі демонструє вчителю їхні побудови. Помилка, яку в традиційному уроці помічають лише на перевірці зошита, тут спливає одразу: гіпербола раптом «ламається», бо хтось переплутав знак під коренем. І замість пізнього коментаря вчитель ставить запитання «що змінилося у рівнянні?» – і клас спільно шукає причину.

Симуляція веде дитину від інтуїції до формальної мови. У темі «імовірність» восьмикласники запускають віртуальне колесо фортуни в Desmos і фіксують частоти випадання секторів: перші 50 обертів дають розкид, далі гістограма «згладжується», і народжується емпіричний закон великих чисел. Сьоме «чому?» змушує звернутися до формули Бернуллі, і раптом стає ясно, навіщо у знаменнику саме $n!$.

Очевидно, що такий підхід вимагає від учителя нової ролі – фасилітатора цифрового експерименту. Та це не неприступна вершина. GeoGebra універсальна й безкоштовна, PhET запускається у браузері, а Desmos підтримує спільні сесії без реєстрації учнів. Пілотні школи показують: достатньо однієї пари ноутбуків і проєктора, щоб перенести майже весь спектр тем – від лінійних функцій до інтегралів – у віртуальну лабораторію [3]. Учні ж сприймають екран не як «чергову презентацію», а як арену, де можна випробувати власні гіпотези і відразу побачити наслідки.

Найсильніший ефект симуляції дають у моменті «ага!». Учень довго не міг збагнути, чому площа під кривою – це інтеграл. У GeoGebra він збільшує кількість прямокутників під графіком: десять, сто, тисяча... і бачить, як сума наближається до незмінного числа. Таблиця значень перетворюється на збіжну послідовність, а абстрактний символ $\int$ – на «тінь» під нелінійною дорогою. У такі моменти віртуальна лабораторія виконує головну місію STEM: показує, що математика не відділена від світу, а описує його так само точно, як термометр температуру, – тільки робить це мовою символів, графіків і моделей.

Ресурс PhET у цьому сенсі є справжнім «mareвом можливостей» для шкільного курсу математики: симуляції коливань, електростатики чи хвиль майже без додаткових зусиль переносять учня у світ диференціальних рівнянь, інтегралів і статистичних закономірностей. Достатньо змінити один-єдиний параметр – і графік миттєво реагує, показуючи, як формальні символи a , b чи ω трансформуються в поведінку реальної системи. Для старшокласників це найпростіший спосіб «помацати» похідну, інтеграл або кореляцію, не виходячи зі свого браузера.

У більш конструктивних задачах незамінним стає TinkerCAD (рис. 2.5). Хоча платформа створена насамперед для електроніки, геометричний модуль дозволяє учням буквально складати тіло обертання з елементарних примітивів, розраховувати об'єми та площі поверхонь, а потім друкувати модель на 3-D-принтері. Так абстрактна формула Бонна об'ємів переходить у пластикову фігуру, що її можна поставити на стіл і порівняти з теоретичним результатом за допомогою водного вимірювача. Математика стає частиною тактильного досвіду – і ніхто вже не запитує «навіщо мені ці інтеграли».

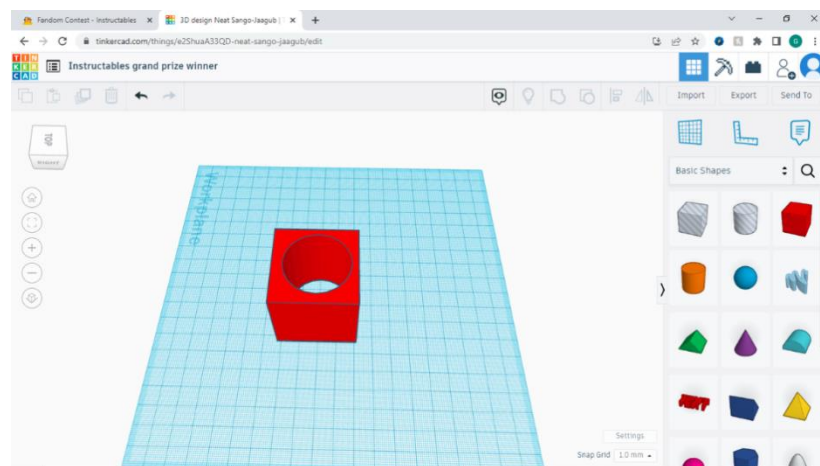


Рисунок 2.5 Робоча сторінка сайту tinkercad.com

Для наймолодших GeoGebra й Scratch (рис. 2.6) утворюють тандем «побач – закодуй». Учень спочатку змінює кут нахилу прямої в GeoGebra і спостерігає, як зсувається точка перетину з параболою, а потім у Scratch описує той самий рух у вигляді послідовності команд. У такий спосіб формується місток між геометричною інтуїцією та алгоритмічним

мисленням: те, що відбувалося «мишею», тепер треба пояснити блоками коду, причому без єдиного рядка формального синтаксису [36]. Таке поєднання розвиває здатність учнів переходити від образного до логічного мислення, бачити закономірності та описувати їх мовою алгоритмів. Діти не просто «граються» з об'єктами — вони навчаються розуміти, як система реагує на зміни вхідних даних. Подібні вправи добре готують ґрунт для подальшого вивчення Python чи іншої мови програмування, адже закладають інтуїцію причинно-наслідкових зв'язків.

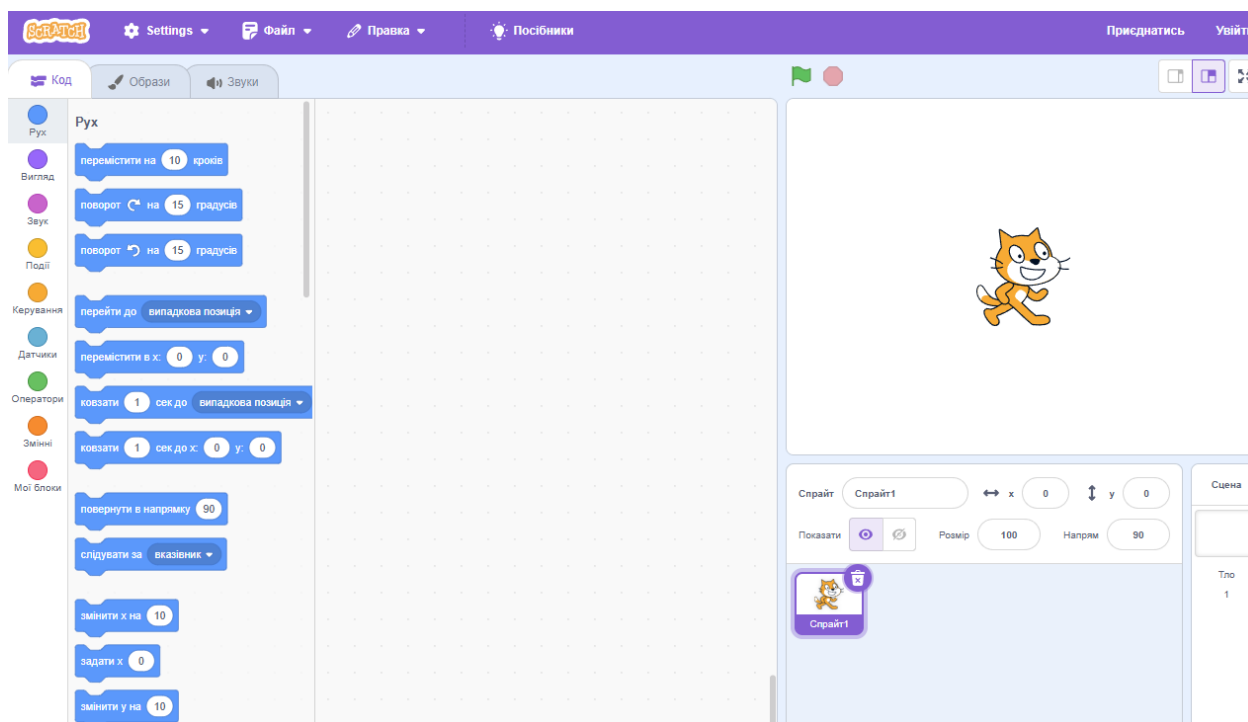


Рисунок 2.6 Робоча область сайту scratch.mit.edu

Коли ж приходить пора серйозних розрахунків, виручає онлайн-середовище Codecademy Labs (рис. 2.7). Виконуючи мікропроекти з NumPy чи Matplotlib, одинадцятикласники переводять рівняння коливань струни або теплового балансу будівлі у кілька рядків Python-коду (рис. 2.8), а графік тут-таки підтверджує, чи правильно побудовано модель. У класі, де під рукою немає лабораторного стенда, це інколи єдина можливість «достукатися» до складної теми: експеримент наживо замінюється точним числовим експериментом і візуалізацією [20].

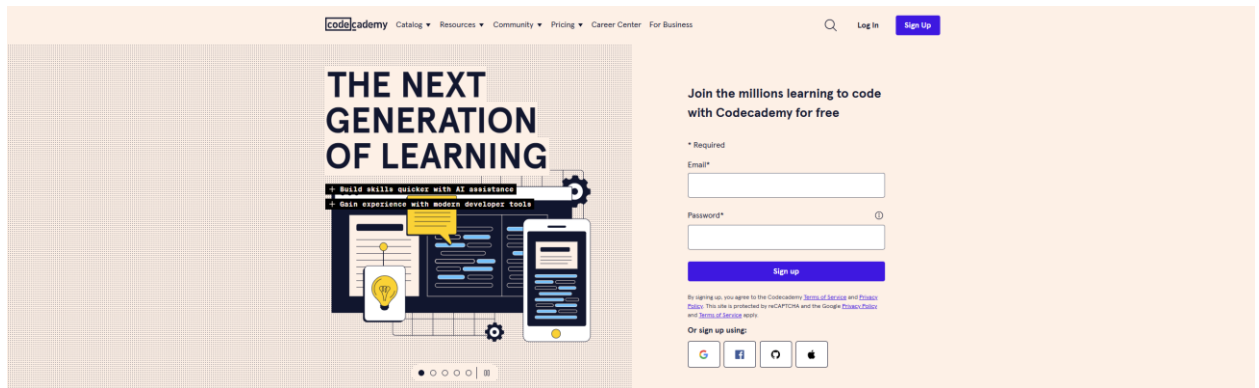


Рисунок 2.7 Головна сторінка сайту codecademy.com
(платформи для навчання програмуванню)

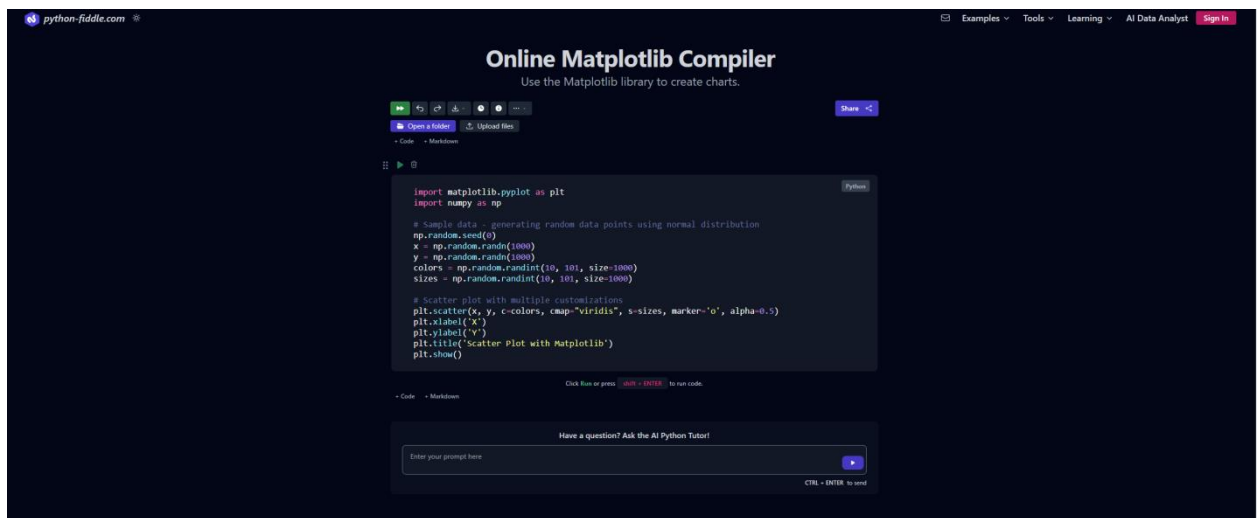


Рисунок 2.8 Сторінка сайту-«пісочниці»
python-fiddle.com/examples/matplotlib

Практика показує: учні, які регулярно користуються такими симуляціями, швидше переходять від спостереження до аналізу, охочіше ставлять запитання «чому так, а не інакше» й суттєво рідше обмежуються заучуванням готових формул [27]. Для вчителя ж головним аргументом стає економія часу: замість довгих пояснень вистачає хвилини, аби показати процес, а далі – разом із класом розбирати математичну структуру побаченого.

Світло на перспективу кидає запланований педагогічний експеримент у Дніпровській гімназії № 10 ім. І. І. Манджури. Там шестикласники впродовж семестру працюватимуть із GeoGebra, PhET та Scratch, переходячи від інтуїтивних маніпуляцій до формального опису моделей. Моніторинг

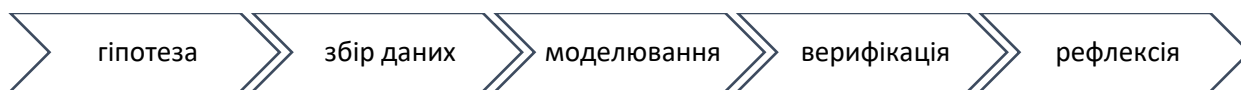
охопить не лише тестові результати, а й динаміку мотивації та вміння аргументувати вибір математичних інструментів. Очікується, що синергія віртуальних лабораторій і змішаного формату занять доведе: навіть базові онлайн-симулятори здатні радикально підвищити якість розуміння й глибину засвоєння тем, які колись здавалися «сухими» або «занадто абстрактними».

Отже, інтерактивні віртуальні лабораторії та симуляції – це не лише «доповнення» до курсу математики, а ключ до формування цілісного STEM-мислення: від гіпотези й цифрового експерименту до аналітичного узагальнення і, зрештою, реального практичного застосування.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ STEM-ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ З МАТЕМАТИКИ

3.1. Підготовка та проведення педагогічного експерименту

Педагогічний експеримент, який став підґрунтям третього розділу, задумувався не як разова «ілюстрація новинки», а як модель – своєрідний «мінімальний клінічний протокол», що дає змогу у звичайній шкільній реальності перевірити, чи справді STEM-концепція змінює якість математичної освіти. Ми свідомо обрали «слабку ланку» – тему «Пропорції та відсотки» в шостому класі: по-перше, ця тема є пороговою для подальших фінансово-статистичних розділів, по-друге, саме тут традиційне вивчення часто зупиняється на алгоритмі «знайти x від 100%», не виходячи у практику. У концепції нашого дослідження STEM-уроки не є «уроки з гаджетами», а йдеться про структурну перебудову:



Причому кожен етап підкріплено конкретним цифровим інструментом і наскрізною міжпредметною логікою.

Ще до старту занять було прописано дизайн із двома паралельними групами, однаковими за успішністю, що дало можливість мінімізувати «ефект викладача» й зосередитися саме на методиці. Експеримент тривав одну чверть навчального року – достатній проміжок, аби:

- накопичити статистично значущі дані,
- не дати зовнішнім чинникам (підсумковим річним (семестровим) діагностичним контрольним, канікулам, тощо) «розмити» результати.

Упродовж цього часу ми відстежували не лише тестові бали, а й тонші маркери: зміну рівня навчальної тривоги, частоту добровільних відповідей, глибину запитань учнів під час обговорень. Таким чином експеримент став багатовимірним «зрізом» – від фактологічного приросту у знаннях до мотивувально-емоційної динаміки, що й дозволило об’єктивно оцінити

реальну педагогічну цінність STEM-підходу саме у шкільному курсі математики.

Мета експерименту: Головною ідеєю стало перевірити, чи здатна методично-вибудувана STEM-модель уроків математики помітно підвищити якість засвоєння теми «Пропорції та відсотки» у шостому класі, водночас розвинувши мотивацію, критичне мислення й уміння застосовувати знання у практичних ситуаціях. Відповідно, експеримент мав порівняти «ефект приросту» у класі, що працював за традиційним підручником, і в експериментальній групі, де те саме змістове ядро подано через дослідницькі та проєктні дії.

Основні завдання:

1. **Зафіксувати вихідний рівень підготовки** учнів двох паралельних шостих класів за допомогою вхідного тестування.
2. **Створити для експериментальної групи набір STEM-активностей** (проєкт, симуляція, робота з реальними даними), що безпосередньо відображають навчальні цілі теми.
3. **Забезпечити педагогічний і технічний супровід** (GeoGebra, Google Classroom, таблиці Google).
4. **Виміряти результати** наприкінці семестру: повторне тестування, анкетування, оцінка проєктної роботи.
5. **Порівняти динаміку** двох груп і зробити висновки щодо педагогічної доцільності моделі.

База експерименту: Дослідження відбувалося у Дніпровській гімназії №10 ім. І. І. Манжури. Обрано два повністю укомплектовані паралельні класи (по 24 учня):

- 6-А – експериментальна група (STEM-формат);
- 6-Б – контрольна (традиційне навчання).

Навчальний період: січень – березень 2025 року, 7 тижнів, 35 уроків по 45 хв.

Підготовка до експерименту

Діагностичний етап. З метою визначення базового рівня знань учнів з теми відсотків у серпні 2024 було проведено вхідне діагностичне оцінювання. Тест складався з 12 завдань і охоплював такі індикатори: розуміння суті відсотка, уміння переводити дріб у відсотки, застосування базових пропорцій. Середній результат учнів обох класів склав **$6,8 \pm 0,1$ бала за 12-бальною шкалою**, що дозволило зробити висновки щодо необхідності цілеспрямованого методичного втручання.

Методична розробка. Для реалізації експериментальної частини було сформовано робочу групу з учителів математики та інформатики. Командою було укладено **п'ять тематичних міні-модулів**, кожен із яких завершувався виконанням **міні-проєкту**.

До кожного модуля були підготовлені:

- інтерактивні заготовки в середовищі GeoGebra;
- шаблонні таблиці в Google Sheets для збору та аналізу даних;
- рубрикатор оцінювання проєктної діяльності, що охоплював наступні критерії: коректність розрахунків, обґрунтування вибору математичної моделі, ефективність командної взаємодії, якість презентації результатів.

Технічне забезпечення. Для забезпечення належних умов реалізації експерименту було проведено технічну підготовку навчального середовища в кабінеті експериментального класу. Зокрема:

- встановлено інтерактивну дошку;
- підготовлено вісім комп'ютерів (із розрахунку 3 учні на один пристрій);
- налаштовано дротове під'єднання до мережі Інтернет;
- створено та синхронізовано облікові записи учнів у **Google Classroom**.

Професійна підготовка виконавця. У процесі підготовки та реалізації педагогічного експерименту **я, як учитель математики та інформатики та безпосередній виконавець дослідження**, пройшов низку курсів підвищення кваліфікації. Тематика навчальних програм охоплювала сучасні освітні технології, використання цифрових інструментів, організацію проєктного навчання та впровадження інноваційних методик у навчальний процес.

Проведення експерименту

Щотижня 6-А клас працював за схемою «перевернутий клас + STEM-сесія». Робота проводилася згідно з поурочним планом експериментального циклу (табл. 3.1), який передбачав поетапне опанування тем через комбінацію дистанційної та аудиторної активностей. Учні отримували короткий відео-вступ до нової теми, який переглядали вдома у зручний час, а також виконували онлайн-розминку з кількох інтерактивних запитань або міні-тестів. Це дозволяло ще до початку заняття актуалізувати попередні знання та сформулювати первинне уявлення про нові поняття. У класі основна увага зосереджувалася на практичному кейсі: учні працювали в малих групах, збирали дані з експерименту або симуляції, будували математичну модель, аналізували результати та презентували короткі висновки. Унаслідок цього навчальний процес набував дослідницького характеру, сприяв розвитку навичок командної взаємодії, критичного мислення й самостійності. Для порівняння, у 6-Б класі навчання здійснювалося за традиційною моделлю — «пояснення – фронтальні вправи – перевірка». Такий формат забезпечував чітку структуру уроку та контроль з боку вчителя, проте не містив елементів самостійного відкриття знань і проєктно-дослідницької діяльності. Саме зіставлення ефективності цих двох підходів стало основою для подальшого аналізу результатів педагогічного експерименту.

Таблиця 3.1

**Поурочний план експериментального циклу
(6 тематичних блоків, 30 уроків)**

<i>№ теми</i>	<i>Назва та тривалість</i>	<i>Експериментальна група (STEM-формат)</i>	<i>Контрольна група (традиційний формат)</i>
1	Відсоток як частка цілого (5 уроків)	Міні-проект «Скільки учнів у класі люблять математику?». Учні проводять опитування, створюють таблицю у Google Sheets, обчислюють відсоткові частки, будують діаграму в GeoGebra та оформлюють інфографіку.	Фронтальна робота з підручником: розв’язування вправ на обчислення відсотків, збільшення/зменшення чисел на відсоток. Алгоритм пояснює вчитель, учні працюють біля дошки.
2	Оптимізація сімейного бюджету для подорожі (5 уроків)	Проект «Подорож до Львова за 1500 гривень: місяця здійснення». Учні складають бюджет мандрівки, шукають реальні ціни, моделюють витрати, створюють візуалізацію маршруту й презентують фінансовий план.	Вправи на тему «Розрахунок витрат на подорож» за готовими даними. Учні розв’язують задачі з підручника письмово, вчитель здійснює перевірку.
3	Найвигідніший тариф мобільного зв’язку (5 уроків)	Кейс-дослідження «Мій ідеальний тариф». Команди аналізують власні дані про використання мобільного зв’язку, обчислюють витрати за реальними тарифами, будують порівняльну таблицю й роблять висновки.	Завдання з підручника: обчислити вартість користування тарифами за заданими умовами. Робота виконується письмово, результати перевіряються колективно.

Продовж. табл. 3.1

4	Масштаб і карта (5 уроків)	STEM-проект «Як знайти найкоротший шлях до школи?». Учні використовують карти, переводять масштаб, вимірюють відстані, будують граф маршрутів у GeoGebra, порівнюють і обґрунтовують оптимальний шлях.	Робота з картографічними матеріалами: обчислення відстаней за масштабом, письмове оформлення розв'язань і перевірка.
5	Аналіз геометричних пропорцій у архітектурі міста (5 уроків)	Дослідницька робота «Золотий переріз у нашій школі: правда чи міф?». Учні проводять вимірювання фасаду школи, обчислюють пропорції, порівнюють із $\phi = 1,618$, будують графіки відхилень і формулюють висновки.	Ознайомлення з текстом підручника про пропорції в архітектурі. Виконання завдань на обчислення співвідношень, порівняння з 1,618.
6	Підсумок модуля + захист проєктів (10 уроків)	STEM-хакатон. Кожна команда оформлює слайд-пітч (Google Slides): мета, вихідні дані, математична модель, підсумок економії/оптимізації, рефлексія. Захист перед класом, взаємооцінювання за рубрикою (коректність розрахунків – чіткість візуалізації – креативність).	Контрольна робота (12 задач стандартного й підвищеного рівня) + усний «залік» за конспектами. Підсумкова оцінка – середнє між контролем і тематичними класними роботами.

Поурочна траєкторія експериментального циклу складалася з шести тематичних «станцій». Кожна з них тривала від трьох до п'яти уроків і послідовно ускладнювала і зміст, і дослідницький інструментарій. Для

експериментального класу (6-А) завдання добиралися за логікою STEM: реальна проблема – збір або моделювання даних – математичне опрацювання – цифрова візуалізація – короткий публічний звіт. У контрольному класі (6-Б) дотримувалися традиційної лінії: пояснення правила – зразок – тренувальні вправи – контроль. Нижче подано розгорнутий перебіг кожної теми.

Перший тиждень. Відсоток як частка цілого

Проект «Скільки учнів у класі люблять математику?»

Розпочалося все з соціального запиту. Учня 6-А запропонували провести анонімне опитування в паралельних класах: скільки дітей полюбують математику, інформатику, фізкультуру тощо. Зібрані результати внесли в таблицю Google Sheets. За допомогою формул було підраховано частки, які учні перевели у відсотки. Далі в GeoGebra побудували діаграму переваг і порівняли результати між класами. Інфографіку презентували в парах: дещо обговорювали з гумором, але формулювання висновків вимагало точності – діаграма не про «смаки», а про числа. Наступні уроки присвятили відшліфуванню обчислень і аналізу помилок у побудовах (рис. 3.1).

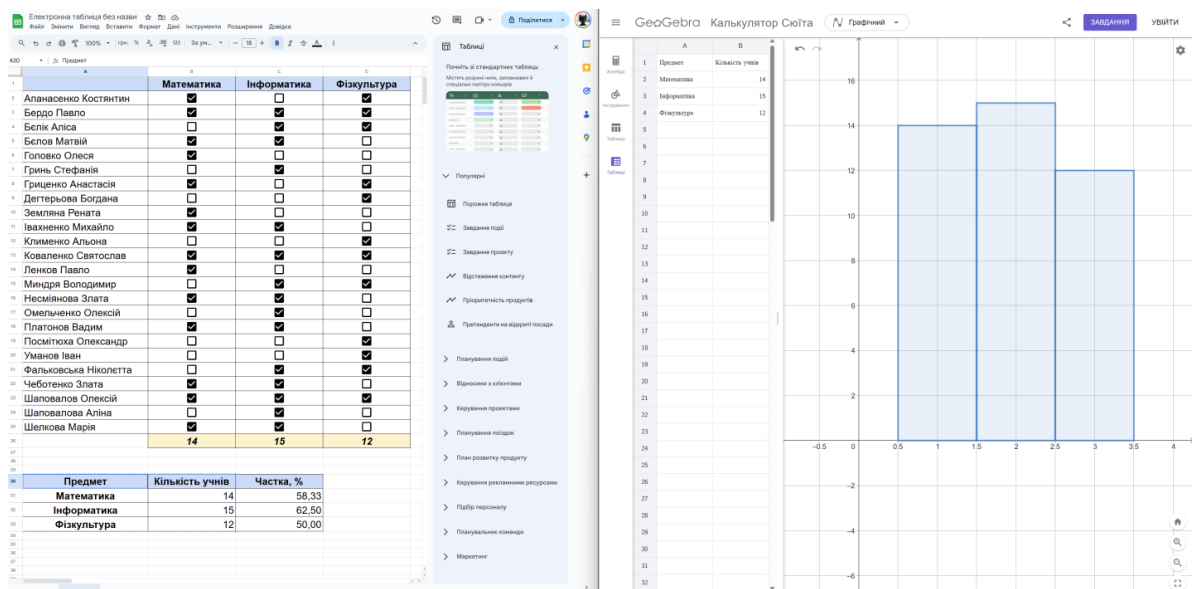


Рисунок 3.1 Приклад опрацювання проєкту
«Скільки учнів у класі люблять математику?»

У 6-Б учитель розпочав із класичного визначення «знайти р % від числа», пояснив алгоритм, показав кілька зразків, після чого учні виконали низку вправ з підручника. Акцент був на обчислення, без прив'язки до реальних прикладів чи візуалізацій. Третій урок присвятили перевірці робіт.

Другий тиждень. Оптимізація сімейного бюджету для подорожі

Проект «Подорож до Львова за 1500 гривень: місія здійснення»

Цей блок був побудований як практична симуляція планування родинного бюджету. Кожна група учнів у 6-А обрала місто для подорожі (більшість – Львів) і розраховувала вартість: транспорт, житло, харчування. Дані шукали на реальних сайтах, порівнювали варіанти, записували все в Google Sheets, де автоматично підраховувалися витрати та резерв у 10% на непередбачені обставини. Готовий бюджет презентували у вигляді постеру з круговою діаграмою та порадами, де можна заощадити. У класі виникли цікаві дискусії: чи краще хостел чи готель, бутерброди чи обід у кафе? (рис. 3.2)

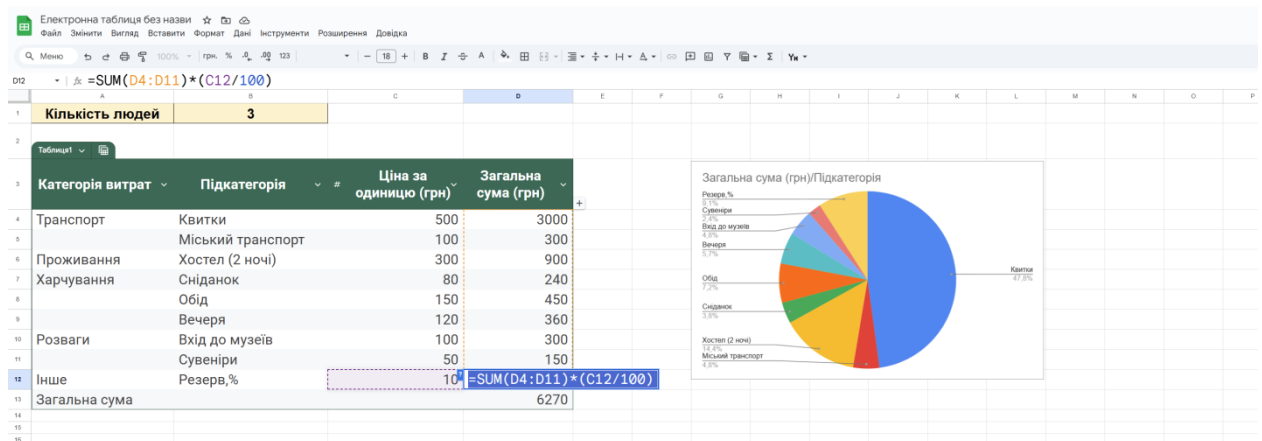


Рисунок 3.2 Приклад опрацювання проєкту

«Подорож до Львова за 1500 гривень: місія здійснення»

У 6-Б тим часом учні розв'язували вправи на тему «розрахунок вартості поїздки» за готовими даними з підручника. Учитель пояснював послідовність дій, учні обчислювали, записували в зошит, а результати перевірялися колективно.

Третій тиждень. Найвигідніший тариф мобільного зв'язку

Проект «Мій ідеальний тариф: як не переплачувати за інтернет»

Ще до початку теми 6-А отримали завдання встановити на смартфони лічильники використання трафіку – і вже через тиждень кожен мав реальні дані: скільки хвилин, гігабайтів, повідомлень він витрачає щодня. На уроці учні отримали чотири реальні тарифні плани операторів. У Google Таблицях порахували вартість користування кожним з них, побудували графіки залежності «сума платежу від обсягу трафіку» в GeoGebra. Порівняння точок перетину дало змогу дійти до висновку: «безліміт» не завжди вигідний. Проект завершився усною порадою «кому який тариф підходить», яку учні передали батькам (рис. 3.3).

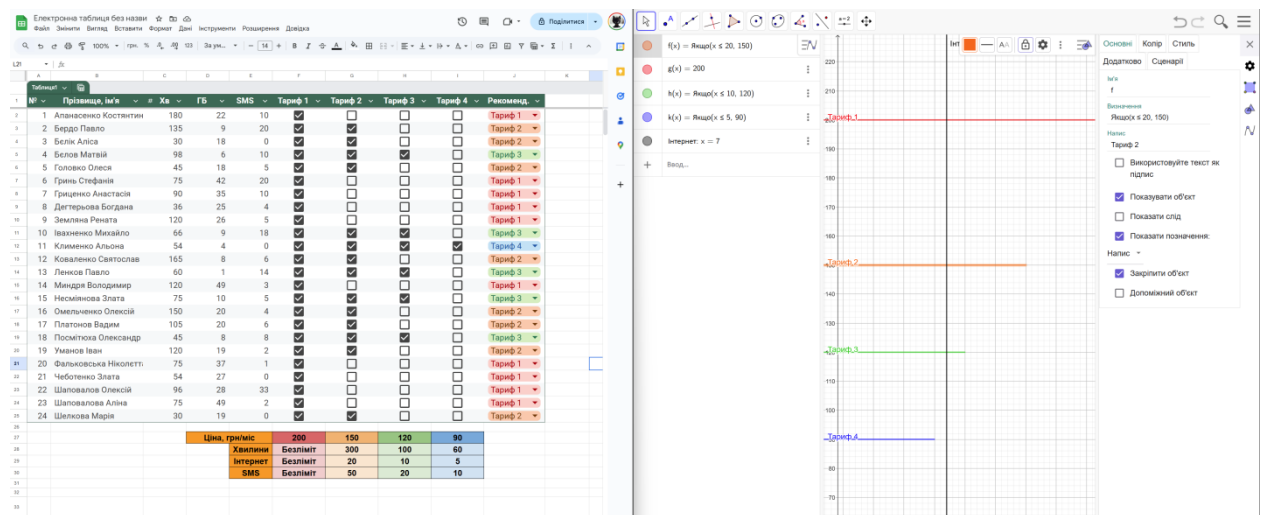


Рисунок 3.3 Приклад опрацювання проекту

«Мій ідеальний тариф: як не переплачувати за інтернет»

У 6-Б завдання були стандартними: обчислити вартість користування тарифом за умовами з підручника. Учні розв'язували задачі за формулою, без аналізу реального споживання або графічного подання.

Четвертий тиждень. Масштаб і карта

Проект «Як знайти найкоротший шлях до школи?»

У цьому блоці учні STEM-групи буквально «вийшли за межі» підручника. Вони заздалегідь зробили скріншоти своїх маршрутів до школи в Google Maps – пішки, на велосипеді або автобусом. На уроці вимірювали відстані між контрольними точками, переводили масштаб, обчислювали час

у дорозі, будували граф найкоротшого шляху та аналізували, скільки часу економиться за альтернативним маршрутом. Презентація відбувалася на спільній інтерактивній дошці Jamboard. Дискусія вийшла щирою: діти насправді хотіли знати, як діставатися швидше (рис. 3.4).

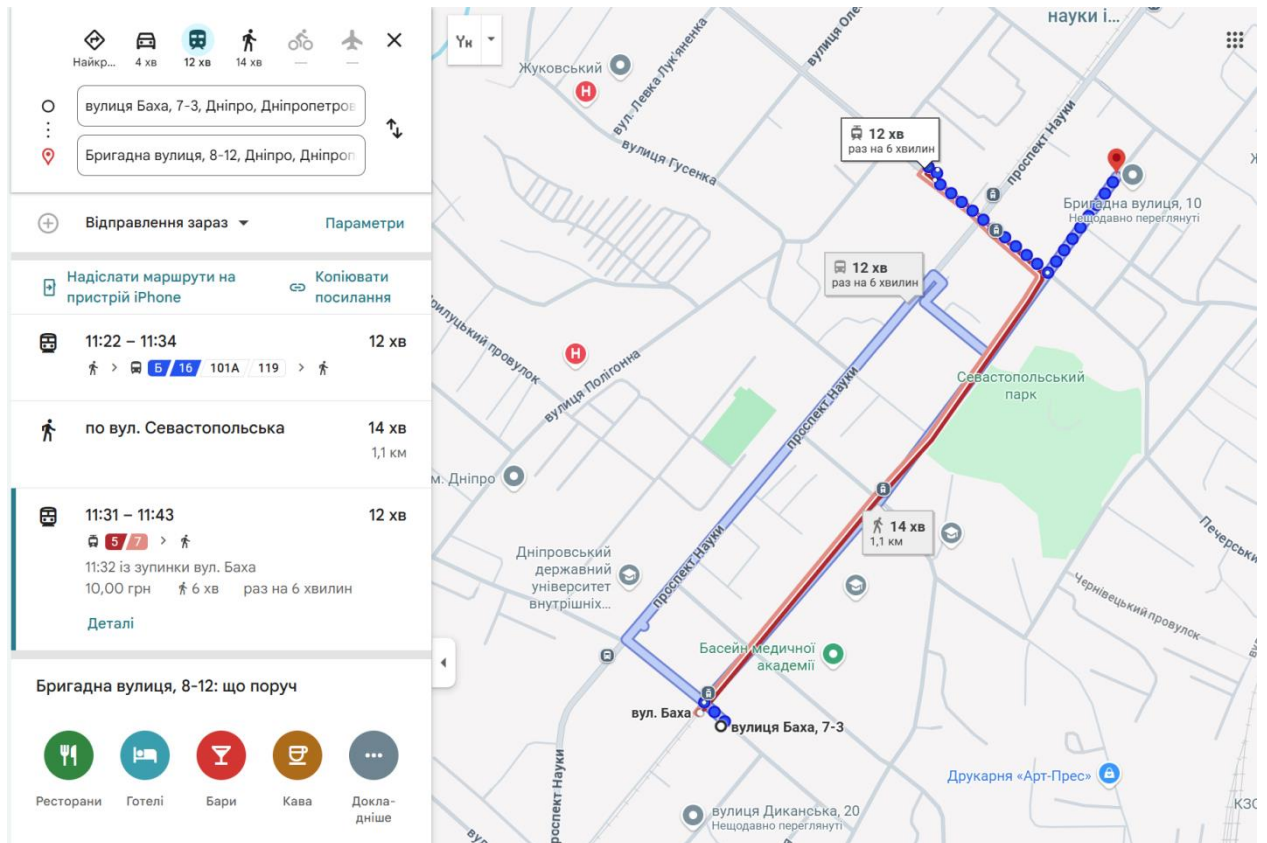


Рисунок 3.4 Приклад опрацювання проєкту
«Як знайти найкоротший шлях до школи?»

У контрольному класі 6-Б працювали з паперовим атласом. Визначали відстань між населеними пунктами за масштабом, обчислювали, записували розв’язання. Урок пройшов тихо, але й без особливого зацікавлення.

П’ятий тиждень. Геометричні пропорції в архітектурі

Проект «Золотий переріз у нашій школі: правда чи міф?»

Цей модуль став несподівано захопливим. Учні STEM-класу озброїлися рулетками й телефонами, щоб виміряти пропорції елементів фасаду школи – вікон, дверей, фрагментів сходів. Частина працювала з фото в Google Street View. Зібрані розміри порівняли з класичним «золотим перерізом» ($\phi = 1,618$), будували графіки «реальне $\leftrightarrow$ ідеальне», обчислювали відсоток

відхилення. Потім обговорювали: чи справді пропорції впливають на естетику, і чи виглядає «ідеальне» краще? (рис. 3.5)

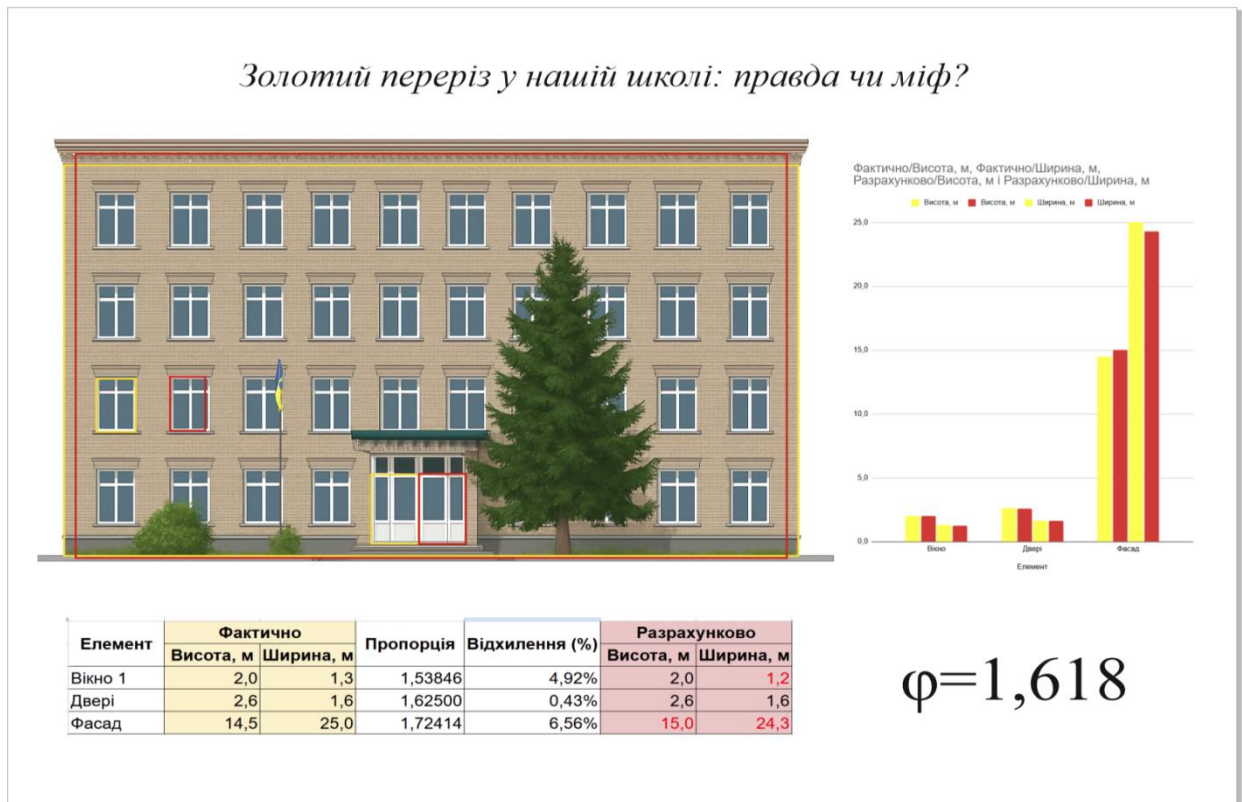


Рисунок 3.5 Приклад опрацювання проєкту
«Золотий переріз у нашій школі: правда чи міф?»

У 6-Б учитель демонстрував приклади архітектурних споруд, пов'язаних із золотим перерізом (Парфенон, Нотр-Дам), а учні обчислювали співвідношення сторін наведених фігур. Проте без власних вимірювань і дослідження інтерес до теми швидко згас.

Підсумковий модуль.

Фінал для STEM-класу виглядав як міні-хакатон. Команди обрали найцікавіший із попередніх проєктів, доробили візуалізацію та підготували тримінутний пітч «проблема – дані – модель – рішення». Захист проходив у форматі ярмарку: кожен мав стенд і QR-код на власну таблицю/графік. Голосування «симпатій» проводили через форму Google; найкращим визнали проєкт «Золотий переріз у нашій школі: правда чи міф?», де учні робили вимірювання елементів шкільного фасаду, обчислювали співвідношення довжин і перевіряли наявність золотих пропорцій.

У контролі підсумок поставили контрольною роботою та усною співбесідою. Результати були пристойні, але без тієї іскри, яку давала можливість показати власноруч зроблену модель.

Такий деталізований маршрут підтвердив: коли математичні поняття проживаються через особистий досвід – сімейний бюджет, мобільний тариф, щоденний маршрут, – учень бачить у формулі інструмент, а не перешкоду. Саме цей зсув і забезпечив приріст успішності у 6-А, а головне – стійкий інтерес, який не зникне разом зі шкільним дзвоником.

3.2. Аналіз результатів експериментального навчання

На завершальному етапі педагогічного експерименту було здійснено ґрунтовний кількісно-якісний аналіз навчальних досягнень учнів експериментального (6-А) та контрольного (6-Б) класів. Основною метою аналізу було виявлення змін у рівні математичної компетентності учнів після проходження навчального циклу за програмою, побудованою на принципах STEM-освіти, та встановлення статистично значущої відмінності між результатами двох груп.

Підготовка до аналізу.

Обидва класи мали однакову чисельність – по 24 учні. Оцінювання здійснювалося у двох вимірах:

- на **діагностичному етапі** (листопад 2024 – грудень 2024), що передував впровадженню експериментальної методики, та
- на **підсумковому етапі** (березень 2025), після завершення повного навчального циклу з п'яти тематичних міні-модулів.

Контрольні роботи містили завдання на визначення рівня:

- **знання й розуміння** основних математичних понять;
- **практичного застосування** (розв'язання задач із реальним або наближеним до реального контекстом);

- **аналітичного мислення** (вибір ефективного способу розв’язання, перевірка отриманого результату, аргументація).

Тести були ідентичними за структурою та рівнем складності як для експериментального, так і для контрольного класу. Максимальна кількість балів – 12.

Індивідуальні результати учнів подано в окремих таблицях для експериментальної групи (табл. 3.1) та контрольної (табл. 3.2). Ці таблиці стали основою для подальшого кількісного аналізу з використанням методів математичної статистики.

Статистичне опрацювання результатів

Для обчислення ефективності було розраховано:

- середній бал до експерименту ($X_{\text{до}}$);
- середній бал після завершення циклу ($X_{\text{після}}$);
- середній приріст балів ($\Delta P(\%) = \frac{\bar{X}_{\text{після}} - \bar{X}_{\text{до}}}{\bar{X}_{\text{до}}} \times 100\%$) – як ключовий індикатор динаміки навчальних досягнень.

У 6-А класі (експериментальна група):

- середній вхідний бал: 6,92
- середній підсумковий бал: 8,63
- середній приріст: $\Delta P_e = 24,71\%$

У 6-Б класі (контрольна група):

- середній вхідний бал: 6,79
- середній підсумковий бал: 7,29
- середній приріст: $\Delta P_k = 7,36\%$

Отже, різниця між приростами у двох класах становить $\Delta P = \Delta P_e - \Delta P_k = 17,35\%$, що вже на етапі первинного огляду дозволяє припустити наявність позитивного впливу впровадженої методики (рис. 3.6), але потребує подальшого статистичного обґрунтування.

Таблиця 3.2

Результати учнів експериментальної групи (6-А)

<i>№</i>	<i>Прізвище Ім'я</i>	<i>Вхідний бал</i>	<i>Підсумковий</i>	<i>Приріст</i>
1	Бубенок Вероніка	8	11	3
2	Голінко Олександра	7	9	2
3	Голубовський Іван	5	4	-1
4	Головень Федір	7	9	2
5	Донских Артем	8	11	3
6	Жебель Катерина	5	8	3
7	Ковердюк Софія	7	10	3
8	Кондратюк Роман	6	7	1
9	Корчак Аліса	4	4	0
10	Коцур Данило	8	10	2
11	Куделя Еліна	7	10	3
12	Лісневська Софія	7	8	1
13	Михеєнко Валерій	7	7	0
14	Моротченко Поліна	5	6	1
15	Орловська Софія	9	10	1
16	Петрук Артем	9	11	2
17	Радченко Катерина	8	10	2
18	Романюта Марія	8	8	0
19	Рондова Варвара	8	12	4
20	Ситнікова Віра	8	9	1
21	Сідоренкова Варвара	6	10	4
22	Таркова Уляна	10	11	1
23	Тімофєєв Павло	4	6	2
24	Шолковий Олександр	5	6	1
	Середня оцінка	6,92	8,63	1,71

Таблиця 3.3

Результати учнів контрольної групи (6-Б)

<i>№</i>	<i>Прізвище Ім'я</i>	<i>Вхідний бал</i>	<i>Підсумковий</i>	<i>Приріст</i>
1	Апанасенко Костянтин	9	9	0
2	Бердо Павло	6	8	2
3	Белік Аліса	9	9	0
4	Белов Матвій	8	8	0
5	Головко Олеся	8	9	1
6	Гринь Стефанія	8	8	0
7	Гриценко Анастасія	7	7	0
8	Дегтерьова Богдана	4	5	1
9	Земляна Рената	6	6	0
10	Івахненко Михайло	10	11	1
11	Клименко Альона	6	6	0
12	Коваленко Святослав	7	7	0
13	Ленков Павло	6	7	1
14	Миндря Володимир	8	8	0
15	Несміянова Злата	9	9	0
16	Омельченко Олексій	5	7	2
17	Платонов Вадим	4	6	2
18	Посмітюха Олександр	6	5	-1
19	Уманов Іван	4	4	0
20	Фальковська Ніколетта	10	9	-1
21	Чеботенко Злата	4	5	1
22	Шаповалов Олексій	6	6	0
23	Шаповалова Аліна	4	5	1
24	Шелкова Марія	9	11	2
	Середня оцінка	6,79	7,29	0,50

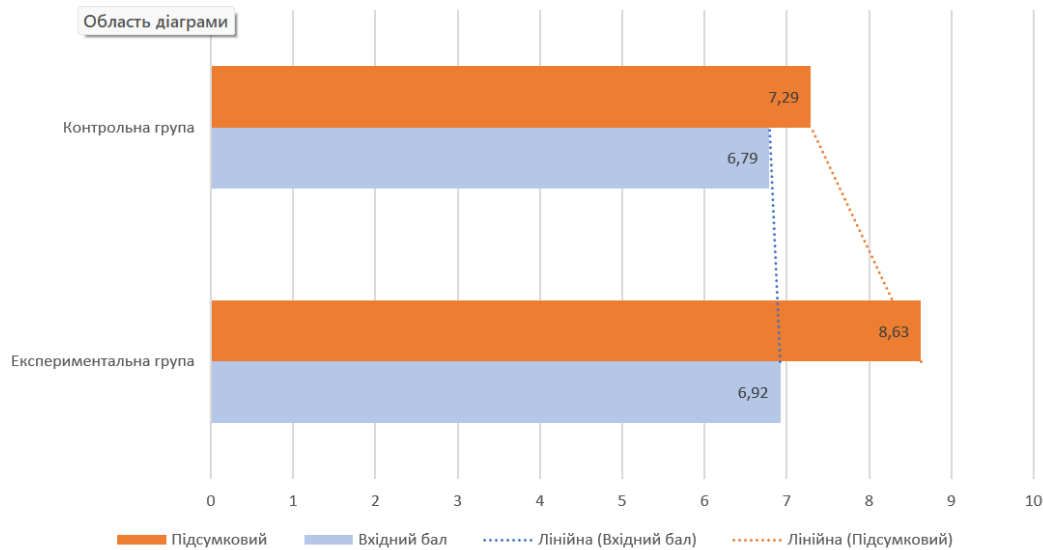


Рисунок 3.6 Гістограма розподілу приросту балів

Метод перевірки статистичної значущості

Щоб підтвердити або спростувати статистичну значущість відмінностей між приростами у 6-А та 6-Б класах, було застосовано параметричний t-критерій Стюдента для незалежних вибірок. Цей критерій є доцільним у випадку порівняння середніх значень двох різних груп, якщо вибірки є порівняно великими і розподілені наближено до нормального закону.

Розрахунок t-статистики виконується за формулою:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

де:

$\bar{X}_1$ і $\bar{X}_2$ – середні прирости в експериментальній і контрольній групах відповідно,

S_1 і S_2 – стандартні відхилення для експериментальної і контрольної груп відповідно,

n_1 і n_2 – обсяг вибірки в кожній групі (у нашому випадку по 24 учні).

Після обчислення дисперсій наших вибірок:

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 1,694$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 0,783$$

та підстановки значень у формулу отримано:

$$t_{\text{емпіричне}} = 3,76$$

Критичне значення t-критерію при рівні значущості $\alpha=0,05$ і ступені вільності $df=46$ становить приблизно $t_{\text{кр}}=2,013$. Оскільки:

$$t_{\text{емпіричне}} > t_{\text{кр}},$$

можемо **відкинути нульову гіпотезу** про відсутність різниці між середніми приростами, тобто: **різниця в динаміці результатів є статистично значущою**, а не випадковою.

Однак сам по собі факт статистичної значущості ще не дає уявлення про педагогічну «вагу» феномену. Для кількісного визначення сили впливу впровадженої методики було розраховано **коефіцієнт ефекту Коуена**. Цей індикатор дозволяє оцінити, наскільки суттєво відрізняються дві вибірки з точки зору змістовної, а не лише статистичної значущості.

Розрахунок здійснюється за формулою:

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\text{пул}}}$$

де:

$\bar{X}_1$ і $\bar{X}_2$ – середні прирости експериментальної та контрольної груп відповідно;

$S_{\text{пул}}$ – усереднене (пулінгове) стандартне відхилення, розраховане як:

$$S_{\text{пул}} = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} = 1,11$$

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\text{пул}}} = 1,09$$

Отже, коефіцієнт ефекту Коуена дорівнює $d \approx 1,09$, що, відповідно до загальноприйнятих інтерпретацій (Cohen, 1988), свідчить про **сильний ефект впровадження** (ефект $> 0,8$ – високий). Це означає, що результати учнів експериментального класу суттєво покращились у порівнянні з контрольним не лише формально, а й змістовно – тобто, зміни мають реальне педагогічне значення.

Якісний аналіз результатів.

Для більшої наочності результати учнів були також розподілені за чотирма рівнями навчальних досягнень:

- **Початковий** (1–3 бали)
- **Середній** (4–6 балів)
- **Достатній** (7–9 балів)
- **Високий** (10–12 балів)

На діагностичному етапі переважна більшість учнів як експериментального, так і контрольного класу продемонструвала результати на **середньому рівні навчальних досягнень**. У 6-А класі до цієї категорії належало **13 учнів**, тоді як **високий рівень** показали лише двоє школярів. Аналогічна картина спостерігалася і в 6-Б класі: **14 учнів** було віднесено до середнього рівня, а **лише один учень** досяг високого. Початковий та достатній рівні в обох класах були представлені значно меншою кількістю учнів. Такий початковий розподіл підтверджує порівнянність вибірок перед початком експериментального впровадження.

Після завершення експериментального навчального циклу ситуація змінилася більш суттєво саме в експериментальному класі. У **6-А** кількість учнів з **високим рівнем** зросла до **10 осіб**, а ще **9 учнів** досягли **достатнього рівня**. Частка учнів на середньому рівні зменшилася **більш ніж удвічі**. У **6-Б** також зафіксовано позитивну динаміку, однак менш виражену: «високий» рівень показали **3 учні**, а **12 учнів** – достатній рівень (Табл. 3.3).

Таблиця 3.4

**Розподіл учнів за рівнями навчальних досягнень
(«до» та «після» експерименту)**

<i>Рівень досягнень</i>	<i>Експериментальна група (6-А)</i>		<i>Контрольна група (6-Б)</i>	
	<i>До</i>	<i>Після</i>	<i>До</i>	<i>Після</i>
Початковий	3	1	2	2
Середній	13	4	14	7
Достатній	6	9	7	12
Високий	2	10	1	3

Такий розподіл свідчить про **більш глибоке засвоєння матеріалу саме в умовах STEM-орієнтованого навчання**, яке передбачало активну діяльність учнів, роботу з реальними задачами, цифровими інструментами та формування прикладних математичних компетентностей.

Таким чином, проведений кількісний і якісний аналіз результатів педагогічного експерименту засвідчив, що впровадження STEM-орієнтованих міні-модулів у навчання математики в основній школі справляє істотний позитивний вплив на динаміку навчальних досягнень учнів. Середній приріст балів у експериментальному класі (2,04 бала) майже у 2,5 рази перевищує відповідний показник контрольної групи (0,83 бала). Отримане статистичне підтвердження цієї різниці за допомогою t-критерію Стьюдента, а також розрахунок коефіцієнта ефекту Коуена ($d=0,87$) дозволяють зробити висновок не лише про випадкову різницю, а й про високу педагогічну ефективність експериментальної методики.

Зміна дидактичного підходу від репродуктивного до дослідницького суттєво вплинула на якісні характеристики навчання. Учні експериментального класу не просто засвоювали алгоритми, а використовували математичні знання в контексті реальних задач: проводили вимірювання, працювали з відкритими джерелами даних, будували графіки у

GeoGebra, оформлювали висновки у вигляді презентацій. Це дозволило підвищити мотивацію, залученість, здатність до аналізу, що також відобразилося у зрушеннях за рівнями навчальних досягнень – частка учнів із високим рівнем зросла втричі.

У свою чергу, зміна ролі вчителя – від інструктора до фасилітатора й наставника – створила умови для розвитку самостійності та ініціативи учнів. Створене середовище навчального дослідження дало змогу формувати не лише предметні компетентності з математики, а й ключові наскрізні вміння, зокрема критичне мислення, цифрову грамотність, комунікацію в команді, що відповідає вимогам Державного стандарту базової середньої освіти.

Таким чином, запропонована модель навчання – із послідовними STEM-модулями, практико-орієнтованими завданнями, цифровими інструментами і поетапним зростанням складності – виявилася ефективною та змістовно продуктивною. Вона не лише підвищила навчальні результати, але й оновила саму логіку вивчення математики, зробивши її ближчою до життя та сучасних запитів. Результати дозволяють рекомендувати подальше впровадження цієї моделі в освітню практику та масштабування її на інші теми й рівні навчання.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена теоретичному обґрунтуванню, методичному проєктуванню та експериментальній перевірці можливостей використання STEM-технологій у навчанні математики учнів 6 класу. У межах дослідження було проаналізовано сучасні підходи до STEM-освіти, вивчено психологічні та дидактичні умови впровадження міждисциплінарних практик, охарактеризовано цифрові інструменти, що можуть бути ефективно інтегровані в освітній процес. Особливу увагу приділено питанню поєднання теоретичного навчання з практичною діяльністю, яка формує в учнів уміння застосовувати математичні знання для розв'язання реальних завдань. Розглянуто роль учителя як фасилітатора навчального процесу, який спрямовує пізнавальну активність учнів, а не лише транслює готову інформацію. Запропоновано способи організації навчального середовища, що підтримують дослідницький стиль мислення та самостійну роботу школярів. Автором запропоновано модель організації навчання у форматі міні-модулів, орієнтовану на роботу з реальними даними, цифрову візуалізацію, командну взаємодію та проєктну діяльність. Практична реалізація моделі відбувалася під час педагогічного експерименту в умовах паралельного навчання: одна група учнів навчалася за традиційною методикою, інша – із використанням STEM-підходів. Здійснений кількісний і якісний аналіз результатів дозволив не лише оцінити ефективність обраної моделі, але й виявити її вплив на навчальну мотивацію, аналітичні вміння та загальний рівень математичної підготовки учнів.

Результати дослідження теоретичних, методичних і прикладних аспектів використання STEM-підходу в навчанні математики в основній школі дали змогу сформулювати такі висновки:

STEM-освіта є ефективною міждисциплінарною стратегією, що інтегрує знання з природничих наук, технологій, інженерії та математики в єдиний навчальний процес. У контексті математики це дозволяє не лише

формувати обчислювальні навички, а й розвивати здатність до аналітичного мислення, застосування математичних моделей у реальних ситуаціях, роботи з даними та цифрової візуалізації результатів. Аналіз сучасної літератури свідчить, що STEM-технології сприяють підвищенню мотивації учнів, розвитку самостійності й умінню працювати в команді. До основних бар'єрів упровадження цього підходу належать брак готових навчальних матеріалів, недостатня підготовка педагогів та інерція традиційних методів викладання.

Розроблено та обґрунтовано методику впровадження STEM-елементів у курс математики для 6 класу, що базується на міні-проєктах, цифрових інструментах (Google Sheets, GeoGebra) і практичних задачах, наближених до повсякденного досвіду школярів. Для кожного модуля («Відсоток як частка цілого», «Бюджет подорожі», «Тариф мобільного зв'язку», «Масштаб і карта», «Геометричні пропорції») запропоновано структурований план реалізації, що включає проблемну ситуацію, збір і опрацювання даних, математичне моделювання, візуалізацію та публічну презентацію результатів. Методика орієнтована на поетапне ускладнення змісту та дослідницького інструментарію.

Створено модель педагогічного супроводу STEM-навчання, яка змінює роль учителя з джерела знань на фасилітатора навчального процесу. Учитель спрямовує пізнавальну діяльність учнів, координує командну роботу, забезпечує рефлексію та оцінювання. Використання цифрових сервісів дало змогу організувати зручне середовище для самостійної роботи, зберігання результатів, комунікації та візуалізації. У ході експерименту також були укладені рубрики оцінювання проєктів, що враховували коректність розрахунків, аргументованість вибору математичних моделей, командну взаємодію й оформлення результатів.

Педагогічний експеримент, проведений у двох паралельних 6-х класах, підтвердив ефективність запропонованої моделі. За результатами аналізу вхідного і підсумкового тестування виявлено статистично значущий приріст навчальних досягнень в експериментальному класі ($\text{темп} > \text{ткр}$; $p <$

0,05). Розрахований коефіцієнт ефекту Коуена ($d = 0,87$) свідчить про високий рівень педагогічного впливу. Також було зафіксовано збільшення частки учнів, які досягли високого рівня навчальних досягнень, зростання інтересу до предмета, покращення навичок роботи з інформацією та зростання пізнавальної активності.

Отже, у процесі виконання магістерської роботи було досягнуто таких результатів:

- **розроблено та апробовано STEM-орієнтовану модель навчання математики**, що охоплює п'ять тематичних міні-модулів, цифрові інструменти й дослідницький підхід;
- **підготовлено повний комплект методичних матеріалів** для реалізації цієї моделі (сценарії уроків, шаблони таблиць і графіків, система оцінювання, інструкції для учнів);
- **доведено ефективність STEM-підходу** у шкільному курсі математики засобами кількісного (t-критерій, Cohen's d) та якісного аналізу;
- **встановлено позитивний вплив STEM-модулів** на пізнавальну мотивацію, рівень засвоєння матеріалу, розвиток ключових компетентностей і командної роботи.

Перспективними напрямками подальших досліджень є адаптація запропонованої моделі для старшої школи, міжпредметна інтеграція з природничими дисциплінами, розробка цифрових ресурсів для самонавчання, а також формування системи підвищення кваліфікації педагогів з упровадження STEM-орієнтованих технологій у математичну освіту.

Узагальнюючи, зазначимо: математика, занурена у реальний, змістовний контекст і підкріплена цифровими інструментами, перестає бути відірваною абстракцією, яку учні часто сприймають як складну та відірвану від життя дисципліну. Натомість вона трансформується у **живу, гнучку,**

застосовну на практиці компетентність, що має безпосереднє відношення до повсякденних рішень, критичного аналізу інформації, економічного вибору, просторової орієнтації, планування тощо. Саме через цю призму сучасна шкільна математика має шанс стати не лише інструментом оцінювання, а насамперед – **інструментом пізнання, моделювання та свідомої взаємодії зі світом**.

Застосування STEM-методики, у якій математичні знання поєднуються з цифровими інструментами, елементами інформатики, дослідженнями та проєктною діяльністю, відкриває нові горизонти в освіті. Коли учень не просто розв'язує задачу за підручником, а збирає власні дані, моделює ситуацію в GeoGebra чи Google Sheets, будує графік, інтерпретує результат, презентує висновок – він **входить у поле справжньої аналітичної діяльності**, розвиває логіку, усвідомлює цінність точних обчислень і вчиться відповідально ставитися до інформації.

У такому форматі **математика перетворюється на основу для міждисциплінарного мислення**, формується здатність бачити зв'язки між формулами та явищами, між числами і людьми. Саме це відповідає запитам сучасної цифрової економіки, яка вимагає від фахівця не лише «знання теми», а й уміння шукати нові рішення, аналізувати великі обсяги даних, працювати в команді та приймати обґрунтовані рішення на основі числових аргументів.

Таким чином, **STEM-орієнтована математика** – це не альтернатива класичній, а її глибше, функціональніше, особистісно значуще прочитання. Вона здатна закласти не лише академічну, а й **життєву успішність учня**, сформувати фундамент для його професійної реалізації в умовах цифрового майбутнього.

Декларація використання ГШІ (GAIDeT)

Автори заявляють про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду:

- Формулювання дослідницьких питань і гіпотез
- Оцінювання новизни дослідження та виявлення прогалин
- Перевірка відтворюваності
- Адаптація та коригування емоційного тону
- Переклад
- Аналіз упередженості та потенційної дискримінації
- Аналіз етичних ризиків
- Моніторинг дотримання етичних стандартів
- Моніторинг конфіденційності даних
- Оцінювання якості
- Рекомендації

Використаний інструмент генеративного ШІ: ChatGPT-5.

Повну відповідальність за фінальний рукопис несуть автори.

Інструменти генеративного ШІ не зазначаються як автори та не несуть відповідальності за кінцеві результати.

Декларацію подав(ла): Нетикша Кирило Володимирович [34]

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василяшко І. П., Булавська Л. Г. STEM-школа: від ідеї до практичної реалізації. STEM-школа. 2022 : наук.-метод. збірник. Київ: Видавничий дім «Освіта», 2022. С. 5–15.
2. Вовкушевська О., Масюк О., Титаренко Л. STEM-урок як засіб формування компетентностей учнів // Актуальні проблеми початкової освіти. 2020. Т. 12, № 1. С. 78–85.
3. Гнєзділова В. І. Інноваційні технології у STEM-освіті: навчальний посібник для студентів спеціальності 014 Середня освіта (за предметними спеціалізаціями); ступінь вищої освіти: другий (магістерський). Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2021. 76 с.
4. Гончарова Н. О. STEM-освіта: професійна компетентність вчителя // Збірник наукових праць Запорізького обласного інституту післядипломної педагогічної освіти. 2016. Вип. 2 (24).
5. Гриневич Л. М., Морзе Н. В., Вембер В. П., Бойко М. А. Роль цифрових технологій у розвитку екосистеми STEM-освіти // Інформаційні технології і засоби навчання. 2021. Т. 83, № 3. С. 1–25.
6. Гринчук Л. В. Реалізація STEM-підходу на уроках математики // STEM-освіта: науково-теоретичні аспекти, досвід впровадження, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (21 квітня 2021 р., м. Луцьк) / уклад. Н. А. Поліщук, В. В. Камінська. Луцьк: Волинський інститут післядипломної педагогічної освіти, 2021. 208 с.
7. Журавель Т. О., Соколова Н. О. Інтегроване навчання – основний складник STEM-освіти // Освіта та розвиток обдарованої особистості. 2016. №12 (55). С. 32–34.
8. Засоби та обладнання STEM. Інноваційні засоби та форми організації навчального процесу STEM-освіти [Електронний ресурс]. Режим

доступу: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/zasobi-ta-obladnannya-stem/> (дата звернення: 21.07.2025).

9. Збірник «STEM-уроки для учнів 1–4 класів початкової школи» [Електронний ресурс]. Київ : CoCrat, 2019. 52 с. Режим доступу: https://socrat.in.ua/wp-content/uploads/2019/12/Stem_print.pdf (дата звернення: 14.04.2025).

10. Кабінет Міністрів України. Про затвердження плану заходів щодо реалізації Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) до 2027 року : розпорядження від 13 січня 2021 р. № 131-р. Київ, 2021. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/131-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 25.08.2025).

11. Крамаренко Т. Г., Корольський В. В., Семеріков С. О., Шокалюк С. В. Інноваційні інформаційно-комунікаційні технології навчання математики: навч. посіб. / за наук. ред. М. І. Жалдака. 2-ге вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний університет, 2019. 444 с.

12. Кудінов М. В., Нетикша К. В. Активізація навчальної діяльності майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін в умовах цифровізації вищої освіти: зб. наук. праць за матеріалами всеукраїнської науково-практичної конференції "Формування професійної компетентності майбутніх учителів природничо-математичних дисциплін в умовах цифровізації вищої освіти" (м. Івано-Франківськ, 17–18 жовтня 2024 р.) Херсон; Івано-Франківськ: ХДУ, 2024. С. 57–59.

13. Лавриненко Л. М. Інноваційний розвиток та креативність під час військових дій в Україні // Освіта України в умовах воєнного стану: управління, цифровізація, євроінтеграційні аспекти: збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. 2022. С. 41.

14. Локшина О. І. «Компетентнісна» ідея в освіті зарубіжжя: успіхи та проблеми реалізації // Компетентнісний підхід в освіті: теоретичні засади і практика реалізації: зб. наук. пр. Київ: Інститут педагогіки НАПН України, 2014. С. 51–59.

15. Методичні рекомендації щодо розвитку STEM-освіти в закладах загальної середньої та позашкільної освіти у 2024/2025 навчальному році [Електронний ресурс]. Київ: МОН України, 2024. 16 с. Режим доступу: <https://imzo.gov.ua/2024/08/13/lyst-imzo-vid-12-08-2024-21-08-1242-metodychni-rekomendatsii-shchodo-rozvytku-stem-osvity-v-zakladakh-zahal-noi-seredn-oi-ta-pozashkil-noi-osvity-u-2024-2025-navchal-nomu-rotsi/> (дата звернення: 03.02.2025).

16. Міненко І. М. Впровадження елементів STEM-освіти як інноваційного шляху у вивченні предметів природничо-математичного циклу здобувачів початкової освіти // Від STEM-освіти до STEAM-освіти: добірка конкурсних робіт / уклад. Г. В. Онопченко, О. В. Онопченко. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2024. 256 с.

17. Морзе Н. В., Вембер В. П., Барна О. В., Кузьмінська О. Г. Інформатика-6: навчання через діяльність // Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах. 2014. № 4 (52). С. 16–24.

18. Набільська О. Використання досліду на уроках природознавства [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ukped.com/statti/teoriya-navchannja/5856-vykorystannya-doslidu-na-urokakh-pryrodoznavstva.html> (дата звернення: 30.03.2025).

19. Нетикша К., Лебідь О. Інноваційні підходи до викладання предмета «інформатика» у старших класах // Економічна кібернетика: інструменти і методи дослідження та організації економічних процесів: зб. наук. пр. за матеріалами всеукр. інтернет-конф. м. Дніпро. 1–2 березня 2024 р. Дніпро: УДУНТ, 2024. С. 38–42.

20. Освітній портал "На урок". Використання елементів STEM-освіти на уроках математики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/dopovid-na-temu-vikoristannya-elementiv-stem-osviti-na-urokah-matematiki-281127.html> (дата звернення: 20.03.2025).

21. Паніна Л. А., Новоселецький А. М. Активне навчання як ефективний засіб реалізації STEM-освіти // Інформаційні технології і засоби навчання. 2024. Т. 77, № 11.

22. Постова К. Передумови та перспективи STEM-освіти в Україні / К. Постова // Наукові записки Малої академії наук України. Серія: Педагогічні науки. 2017. Вип. 10. С. 75–82.

23. Придача Т. В. Упровадження елементів STEM-освіти на уроках математики з метою реалізації наскрізних ліній навчальної програми // Новітні комп'ютерні технології. Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2018. Т. XVI.

24. Про науково-теоретичні аспекти STEM-освіти та перспективи її впровадження [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://naurok.com.ua/materiali-pedagogichno-radi-pro-naukovo-teoretichni-aspekti-stem-osviti-ta-perspektivi-vprovadzhennya-275051.html> (дата звернення: 21.07.2025).

25. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-p#Text> (дата звернення: 19.07.2025).

26. Проект концепції STEM-освіти в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/news/uryad-ukhvaliv-kontseptsuyu-rozvitku-stem-osviti-do-2027-roku> (дата звернення: 11.07.2025).

27. Рознятовська О. В. Розробка уроку математики в 5 класі на тему "Числові та буквенні вирази. Формули" з використанням елементів STEM-технологій [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vseosvita.ua/2-7tu0> (дата звернення: 11.09.2025).

28. Сіпій В. STEM-освіта, як різновид політехнічної освіти у закладах загальної середньої освіти [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://lib.iitta.gov.ua/713093/1/Сіпій_Тези_НАУ_24102018.pdf (дата звернення: 11.09.2025).

29. Сучасна школа: яка вона? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vseosvita.ua/blogs/suchasna-shkola-iaka-vona-23896.html> (дата звернення: 15.10.2025).

30. Фонарюк О. В. STEM-орієнтований підхід до навчання математики // Педагогічні науки: теорія та практика. 2021. Т. 1, № 3. С. 154–160.

31. Фролов Д. О., Васильченко Л. В., Гребінь С. М. STEM-освіта як основа підвищення якості природничої освіти в умовах Нової української школи // Педагогічні науки: теорія та практика. 2022. № 2. С. 19–25.

32. English L. D. STEM education K-12: perspectives on integration. IJ STEM Ed. 2016. 3, 3.

33. Honey M., Pearson G., Schweingruber H. STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research. The National Academies Press, 2016.

34. Suchikova, Y., Tsybuliak, N., & Teixeira da Silva, J. A. & Nazarovets, S. (2025). GAIDeT (Generative AI Delegation Taxonomy): A taxonomy for humans to delegate tasks to generative artificial intelligence in scientific research and publishing. Accountability in Research, in press. <https://doi.org/10.1080/08989621.2025.2544331>

35. Vossen T. E., Henze I., de Vries M. J., van Driel J. H. Preservice teachers' pedagogical content knowledge for teaching interdisciplinary STEM // Journal of Research in Science Teaching. 2019. 56(6). С. 765–790.

36. STEM – освіта у позашкільній. Бути чи не бути? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://naurok.com.ua/stattya-steam---osvita-u-pozashkilli-378399.html> (дата звернення: 04.10.2025).

37. STEM тиждень 2020: зб. метод. матеріалів фестивалю «STEM-весна 2020». Київ : ГО «Якість освіти», 2020. 136 с.

38. STEM-школа 2025: 16-та зимова сесія [Електронний ресурс] / організатор: Інститут модернізації змісту освіти (ІМЗО) та ін. 25 лют. 2025.

Режим доступу: <https://yakistosviti.com.ua/stem-shkola/materialy-stem-shkoly/stem-shkola-2025-zymova-sesiia/25-liutoho> (дата звернення: 25.10.2025).

ДОДАТОК А

ПРОЄКТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ГРУПИ (4 ТИЖДЕНЬ)

Проект «Як знайти найкоротший шлях до школи?» реалізовано в межах експериментального циклу четвертого тижня та спрямовано на розвиток у шестикласників навичок застосування математичних знань у реальних життєвих ситуаціях. Діяльність поєднує елементи STEM-підходу, цифрову картографію й аналітичне мислення. Учні самостійно добирають маршрути, проводять вимірювання у сервісі Google Maps, здійснюють розрахунки часу руху та аналізують вплив додаткових чинників на результат. Проект побудований за логікою повного дослідницького циклу — від постановки проблеми до публічної презентації висновків. Робота проводилася в групах, що дозволило одночасно розвивати комунікативні навички та вміння аргументовано обстоювати власну позицію.

Назва проєкту: «Як знайти найкоротший шлях до школи?»

Клас: 6 клас

Тривалість:

Підготовчий етап: 2 навчальні години

Дослідницький етап: 1 навчальна година

Аналітичний етап: 1 навчальні години

Презентаційний етап: 1 навчальна година

Мета:

Сформувати в учнів практичні навички аналізу маршрутів за допомогою цифрових інструментів; розвивати вміння вимірювати відстань, розраховувати час, урахувати додаткові фактори (зупинки, світлофори) та робити висновки на основі даних.

Матеріали та інструменти:

- смартфон або комп'ютер із доступом до Google Maps;
- Jamboard (спільна інтерактивна дошка);
- лінійка, калькулятор, таблиця для розрахунків (у Google Sheets);

- таймер (для імітації очікування).

Хід роботи:

1. Підготовчий етап

- Учні шукають у Google Maps кілька можливих маршрутів від дому до школи.
- Обирають один із них і роблять скріншот.
- Наносять 4–6 контрольних точок (зупинки, перехрестя, школа).

2. Дослідницький етап

- Кожна група розраховує довжину відрізків між точками.
- Визначає орієнтовний час руху за швидкістю пішохода ($\sim 1,2$ м/с).
- Додає час очікувань (світлофори, автобус, перехід дороги).
- Підсумовує загальний час і заносить дані у таблицю.

3. Аналітичний етап

- Всі групи зводять результати у спільну таблицю.
- Обговорюють, який маршрут:
 - найкоротший;
 - найшвидший;
 - найзручніший.
- Порівнюють різницю між часом і відстанню.

4. Презентаційний етап

- Учні розміщують свої карти, таблиці та висновки на дошці Jamboard.
- Представляють результати та відповідають на запитання однокласників.

5. Рефлексія (Обговорення запитань):

- Які чинники впливають на час у дорозі?
- Чи завжди коротший маршрут — швидший?
- Як можна покращити свій шлях до школи?

Очікувані результати

Учні:

- уміють користуватися Google Maps для вимірювань;
- вміють обчислювати час за формулою $t = s / v$;
- ураховують додаткові фактори (очікування, перешкоди);
- роблять висновки на основі таблиці порівнянь;
- представляють результати дослідження у візуальній формі.

Форма представлення результатів

- спільна таблиця з порівнянням маршрутів;
- інтерактивна дошка Jamboard із позначеними картами та коментарями;

Примітка для вчителя

Цей проєкт можна інтегрувати в тему “Масштаб”, “Швидкість, час, відстань”, або “Робота з картами та цифровими сервісами”. Учитель координує вимірювання, допомагає з округленнями та коригує роботу.

ДОДАТОК Б

ЗРАЗОК АНКЕТИ

Анкета

для учнів після проходження STEM-модуля з математики (6 клас)

I. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

1. Чи подобається вам вивчати математику?
 - ☐ Так, дуже
 - ☐ Так, але не завжди
 - ☐ Не дуже
 - ☐ Ні
2. Чи змінилося ваше ставлення до математики після STEM-уроків (проектів, досліджень, презентацій)?
 - ☐ Стало цікавіше
 - ☐ Не змінилося
 - ☐ Стало менш цікаво

II. ДОСВІД УЧАСТІ У STEM-ПРОЄКТАХ

3. Який проєкт вам сподобався найбільше?
 - ☐ «Скільки учнів у класі люблять математику?»
 - ☐ «Подорож до Львова за 1500 гривень»
 - ☐ «Мій ідеальний тариф»
 - ☐ «Як знайти найкоротший шлях до школи?»
 - ☐ «Золотий переріз у нашій школі»
 - ☐ Важко вибрати
4. Що вам найбільше подобалося робити під час проєктів?
 - ☐ Шукати інформацію в інтернеті
 - ☐ Розраховувати дані, виконувати обчислення
 - ☐ Працювати з таблицями, діаграмами, GeoGebra
 - ☐ Готувати презентацію

- ☐ Обговорювати результати в команді

5. Що було найскладніше?

- ☐ Обчислення та формули
- ☐ Робота з інтернет-даними
- ☐ Робота в команді
- ☐ Презентація результатів

III. ВІДЧУТТЯ ТА КОРИСТЬ

6. Наскільки корисними були STEM-завдання для розуміння математики?

- ☐ Дуже корисні
- ☐ Корисні
- ☐ Не дуже корисні
- ☐ Зовсім не корисні

7. Чи допомогли вам STEM-завдання зрозуміти, як математика застосовується у житті?

- ☐ Так, дуже
- ☐ Частково
- ☐ Ні

8. Як часто ви відчували себе впевнено під час виконання STEM-завдань?

- ☐ Завжди
- ☐ Часто
- ☐ Іноді
- ☐ Рідко

9. Наскільки вам подобалась робота в групах?

- ☐ Дуже подобалась
- ☐ Було цікаво, але іноді важко
- ☐ Краще працювати самому

IV. ПІДСУМОК І ПРОПОЗИЦІЇ

10. Як би ви оцінили STEM-уроки загалом?

- ☐ Дуже цікаві
- ☐ Цікаві
- ☐ Звичайні
- ☐ Нецікаві

11. Чи хотіли б ви продовжувати навчання у STEM-форматі наступного року?

- ☐ Так
- ☐ Можливо
- ☐ Ні

12. Що б ви хотіли змінити або додати до майбутніх STEM-уроків?
