

Міністерство освіти і науки України
Бердянський державний педагогічний університет
кафедра фізики, математики та методики навчання

Допущено до захисту
Завідувач кафедри
доктор педагогічних наук, професор
Олександр ШКОЛА
« 25 » грудня 2025 р.

ВИКОРИСТАННЯ STEM-ПІДХОДУ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ

Кваліфікаційна робота магістра

Виконавець: здобувач другого рівня вищої освіти,
групи М2Фі-з
Галузь знань: 01 Освіта/Педагогіка
Спеціальність: 014 Середня освіта (Фізика та астрономія)
Освітньо-професійна програма: Середня освіта
(Фізика та астрономія)
ПІБ: Зульфія Рауф кизи ОВЧАРЕНКО
Керівник: д. п. н., проф. Олена КУЗНЄЦОВА
Рецензент: д. п. н., проф. Олександр ШКОЛА

Запоріжжя – 2025

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Овчаренко Зульфії Рауф кизи

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Використання STEM-підходу у навчанні фізики у старшій школі

керівник роботи: Кузнєцова Олена Яківна, д. пед.н., професор _____,

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

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

2. Строк подання студентом роботи: 08.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: теоретичне обґрунтування методичних особливостей використання STEM-підходу у навчанні фізики у старшій школі

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

- проаналізувати теоретичні основи STEM-освіти та виокремити її провідні особливості;
- висвітлити потенціал міжпредметної інтеграції у процесі навчання фізики на засадах STEM-підходу;
- обґрунтувати методичні принципи, форми, інструменти та технології впровадження STEM у шкільний курс фізики;
- розробити навчально-методичні матеріали для впровадження STEM-орієнтованих підходів на уроках фізики в старшій школі;
- висвітлити педагогічні умови, що сприяють результативному застосуванню STEM-підходу в старшій школі.

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, складання плану роботи, підготовка вступу	вересень 2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел за темою дослідження, уточнення вступу та ключових понять дослідження. Підготовка розділу 1.	30.09. 2025 р.	
3.	Аналіз особливостей використання STEM-підходу у навчанні фізики у старшій школі	жовтень 2025 р.	
4.	Розробка навчально-методичних матеріалів для впровадження STEM-орієнтованих підходів на уроках фізики в старшій школі	листопад 2025 р.	
5.	Формулювання висновків, оформлення підсумкового варіанту кваліфікаційної роботи відповідно до чинних вимог.	08.12.2025 р.	

Здобувач:



(підпис)

Зульфія ОВЧАРЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи:



(підпис)

Олена КУЗНЄЦОВА

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ STEM-ПІДХОДУ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ	7
1.1. Сутність та принципи STEM-підходу у сучасній освіті.....	7
1.2. Інтеграція фізики з іншими дисциплінами у контексті STEM.....	15
1.3. STEM-компетентності учнів старшої школи та умови їх формування. .	21
<i>Висновки першого розділу</i>	27
РОЗДІЛ II. МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ STEM-ПІДХОДУ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ	29
2.1. Організація STEM-орієнтованого уроку фізики.....	29
2.2. Методичні інструменти та технології STEM-навчання з фізики.....	37
2.3. Експериментальна перевірка ефективної методичної системи та технологій.....	50
<i>Висновки другого розділу</i>	54
ВИСНОВКИ	58
ДЕКЛАРАЦІЯ ПРО ВИКОРИСТАННЯ ІШІ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

STEM – Science, Technology, Engineering, Mathematics (міждисциплінарний освітній підхід).

STEAM – Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics (STEM з додаванням мистецького компонента).

ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології.

ЗЗСО – заклад загальної середньої освіти.

НУШ – Нова українська школа.

МОН – Міністерство освіти і науки України.

ПАК – програмно-апаратний комплекс.

IDE – IntegratedDevelopmentEnvironment (інтегроване середовище розробки).

PBL – Project BasedLearning (проектно-орієнтоване навчання).

Arduino UNO – модель мікроконтролера для навчальних та інженерних проєктів.

DHT11 – цифровий датчик температури та вологості.

HC-SR04 – ультразвуковий датчик відстані.

LED – LightEmittingDiode (світлодіод).

PhET – віртуальні інтерактивні симуляції з природничих наук (Університет Колорадо).

CAD – Computer-AidedDesign (комп'ютерне проєктування).

3D – об'ємне моделювання у тримірному просторі.

VR – VirtualReality (віртуальна реальність).

QR-код – двовимірний штрих-код для швидкого доступу до цифрової інформації.

ФР – фоторезистор.

МК – мікроконтролер.

ДМ – датчик руху.

ТЗ – технічне завдання.

ЗДУ – здобувачі освіти.

STEM-урок – урок, організований відповідно до принципів STEM-підходу.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку освіти характеризується динамічними трансформаціями, зумовленими стрімким прогресом науки, технологій та цифрових інструментів, які активно проникають у всі сфери людської діяльності. Глобальні зміни у суспільстві, посилення конкурентності на ринку праці та зростання інформаційних потоків ставлять перед системою освіти нові вимоги. Від учня очікується не лише відтворення знань, але й здатність критично аналізувати інформацію, працювати з даними, застосовувати теоретичні відомості у практичних ситуаціях, ініціювати та реалізовувати проєкти, пов'язані з реальними потребами. У таких умовах традиційні підходи до навчання дедалі частіше демонструють обмеженість, оскільки вони орієнтовані переважно на засвоєння предметного матеріалу й не забезпечують достатнього рівня сформованості компетентностей, необхідних сучасній молоді. У відповідь на ці виклики освітні системи багатьох країн роблять акцент на міждисциплінарності, практичній спрямованості змісту навчання та розвитку навичок високого рівня. Одним із напрямів, який найбільш повно відповідає цим вимогам, є STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Цей підхід ґрунтується на інтеграції знань і способів діяльності з різних галузей, сприяє формуванню в учні вміння бачити цілісну картину явищ, поєднувати природничо-наукові, інженерні й математичні методи для пошуку рішень та створення нових продуктів і технологій. Особливістю STEM-підходу є його орієнтація на діяльність, дослідництво та проєктування, що робить навчання не лише інформативним, а й змістовно наповненим, значущим для учня, пов'язаним із реальними ситуаціями й життєвими потребами. В Україні розвиток STEM-освіти набуває системного характеру в межах реалізації концепції Нової української школи. Серед ключових завдань НУШ — формування наскрізних умінь, розвиток критичного й творчого мислення, готовність учнів до інноваційної діяльності, здатність працювати в команді та приймати обґрунтовані рішення. У цьому контексті оновлення методичних підходів до викладання природничо-математичних дисциплін,

зокрема фізики, стає пріоритетним напрямом модернізації освітнього процесу. Фізика в старшій школі традиційно розглядається як фундаментальна наука, що формує науковий світогляд, логічне й алгоритмічне мислення, уміння моделювати процеси та аналізувати закономірності. Однак у сучасних умовах спостерігається зниження мотивації учнів до вивчення фізики, зумовлене як складністю теоретичного матеріалу, так і недостатнім зв'язком навчального змісту з реальними потребами та професійними перспективами. Водночас фізика має значний потенціал для інтеграції з технологіями, інженерією та математикою, що дає змогу по-новому організувати навчальну діяльність, наблизити її до практики та дослідництва. Застосування STEM-підходу у викладанні фізики відкриває можливість посилити практичну складову уроків, урізноманітнити форми роботи, залучити учнів до конструювання, моделювання, опрацювання експериментальних даних, використання цифрових інструментів і технологічних рішень. Такий підхід сприяє глибшому розумінню теорії, формуванню дослідницьких умінь, розвитку технічного та інженерного мислення. Для старшої школи це особливо важливо, адже саме на цьому етапі формуються інтереси та професійні орієнтації майбутніх випускників.

З огляду на завдання модернізації методичної системи викладання фізики в старшій школі, потребою знайти дієві способи впровадження міждисциплінарного підходу в реальну навчальну практику, підвищення рівня науково-пізнавальної діяльності учнів старших класів, формування в них уміння застосовувати отримані знання для розв'язання практичних завдань, створення інженерних рішень і виконання навчальних проєктів використання STEM-підходу у навчанні фізики у старшій школі є актуальною, складною і багатогранною проблемою, що й зумовило вибір теми магістерської роботи.

Мета дослідження: теоретичне обґрунтування і створення навчально-методичних матеріалів для ефективного застосування STEM-підходу у викладанні фізики в старшій школі.

Об'єкт дослідження: процес навчання фізики у старшій школі.

Предмет дослідження: методологічні та методичні засади використання STEM-підходу у навчанні фізики у старшій школі.

Відповідно до мети визначено такі **завдання дослідження:**

1. Проаналізувати теоретичні основи STEM-освіти та виокремити її провідні особливості.
2. Висвітлити потенціал міжпредметної інтеграції у процесі навчання фізики на засадах STEM-підходу.
3. Обґрунтувати методичні принципи, форми, інструменти та технології впровадження STEM у шкільний курс фізики.
4. Розробити навчально-методичні матеріали для впровадження STEM-орієнтованих підходів на уроках фізики в старшій школі.
5. Висвітлити педагогічні умови, що сприяють результативному застосуванню STEM-підходу в старшій школі.

Для досягнення поставленої мети та розв'язання визначених завдань застосовано **комплекс методів:** теоретичні (аналіз, синтез, систематизація, узагальнення) для вивчення літературних джерел і нормативних документів, емпіричні методи (спостереження, експеримент, бесіда) для виявлення стану досліджуваної проблеми в практиці навчання фізики та оцінки результатів навчального процесу, методи моделювання й педагогічного прогнозування для визначення потенційних напрямів удосконалення навчання фізики.

Теоретичне і практичне значення дослідження полягає у: теоретичному обґрунтуванні та розробці комплексу навчально-методичних матеріалів та прикладів STEM-орієнтованих фрагментів уроків та інструментів, які можуть бути використані вчителями фізики у щоденній практиці. Запропоновані навчально-методичні матеріали сприятимуть удосконаленню організації навчальної діяльності, підвищенню мотивації учнів та розвитку їхніх проєктних, дослідницьких і технологічних умінь.

Структура роботи. Магістерська робота складається зі вступу, двох розділів, висновків і списку використаних джерел (84 позиції). Загальний обсяг — 70 сторінок, із яких 59 — основний зміст. Робота містить 8 рисунків та 7 таблиць.

РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ STEM-ПІДХОДУ У НАВЧАННІ ФІЗИКИ.

1.1. Сутність та принципи STEM-підходу у сучасній освіті

Початок ХХІ століття характеризується інтенсивною цифровою трансформацією, що впливає не лише на економіку та сферу праці, а й на освітнє середовище. Цифрові платформи, хмарні технології, дистанційні формати навчання, віртуальні лабораторії та інструменти автоматизації управління дедалі активніше інтегруються в роботу освітніх закладів [5, с. 157]. За таких умов традиційні підходи до навчання, спрямовані переважно на передачу та відтворення знань, стають недостатніми. Вони вже не забезпечують потрібного рівня гнучкості, практичності та міждисциплінарності, яких вимагає сучасне інформаційне суспільство [7, с. 96–97].

У цьому контексті виникає й активно поширюється STEM-підхід, що інтегрує природничі науки (Science), технології (Technology), інженерію (Engineering) та математику (Mathematics) у цілісну систему навчання. Сучасне трактування STEM-освіти ґрунтується не на простому поєднанні чотирьох дисциплін, а на створенні єдиної освітньої моделі, у якій навчання будується навколо розв'язання реальних практичних завдань із застосуванням міждисциплінарних знань, новітніх технологій і дослідницьких підходів. Це змінює саму природу навчального процесу: учні стають активними учасниками, які планують діяльність, проводять дослідження, будують моделі, створюють конструкції та представляють результати своєї роботи [9, с. 34–35].

В українських умовах STEM-підхід набуває особливої актуальності, оскільки його впровадження відбувається в руслі реалізації Концепції Нової української школи. НУШ спрямовує освітній процес на формування ключових компетентностей, важливих для успішної самореалізації в сучасному глобалізованому світі: уміння навчатися впродовж життя, ініціативності, підприємливості, математичної, інформаційно-цифрової та природничої

грамотності, екологічної свідомості тощо. STEM-освіта є одним із ефективних інструментів досягнення цих цілей, оскільки поєднує теоретичні знання з практичними ситуаціями, надаючи учням досвід розв'язання складних комплексних проблем [19].

Однією з ключових особливостей STEM-підходу є його орієнтація на формування компетентностей. У центрі уваги перебуває не стільки запам'ятовування фактів, законів чи формул, скільки розвиток умінь критично мислити, творчо підходити до розв'язання завдань, працювати в команді, ефективно комунікувати, приймати виважені рішення в умовах невизначеності та використовувати цифрові інструменти для пошуку, опрацювання й аналізу інформації. Навчальні завдання стають відкритими й проблемно орієнтованими: учням необхідно проаналізувати запропоновану ситуацію, визначити проблему, запропонувати кілька способів її вирішення, обрати найбільш доцільний, реалізувати його в рамках навчального проєкту та здійснити оцінювання результатів [23, с. 46–47].

У сучасних нормативних документах значна увага приділяється цифровізації освіти. Акцентується важливість створення електронних освітніх ресурсів, розвитку цифрових платформ із мультимедійним та інтерактивним контентом, забезпечення навчальних закладів високошвидкісним Інтернетом, а також формування інфраструктури для змішаного й дистанційного навчання. Паралельно підкреслюється потреба у формуванні цифрових компетентностей та оновленні спектра професій, пов'язаних із цифровою економікою, що має знайти відображення у змісті профільних освітніх програм. У цьому контексті STEM-підхід природно інтегрує цифрові технології в навчальний процес, надаючи їм функціональної, а не декоративної ролі [26, с. 8–9].

Важливою рисою STEM-освіти є поєднання різних форматів навчання: формального (шкільне та університетське навчання), неформального (гуртки, курси, освітні табори, наукові школи) та інформального (самоосвіта, участь в онлайн-курсах, хакатонах, освітніх спільнотах). Освітній процес виходить за межі традиційної класно-урочної моделі й розгортається у ширшому навчальному

середовищі, де учні можуть працювати над довготривалими проектами, брати участь у дослідницьких експедиціях, відвідувати наукові центри, технопарки, музеї та співпрацювати з представниками науки й бізнесу [28, с. 176–168]. Такий підхід розширює пізнавальні можливості учнів і дає змогу пов'язати шкільні знання з реальними життєвими та професійними ситуаціями.

Важливою умовою впровадження STEM-підходу є належне матеріально-технічне забезпечення. Це поняття охоплює не лише наявність базових цифрових пристроїв, таких як комп'ютери чи мультимедійні проектори, а й створення повноцінного інноваційного навчального простору. Йдеться про функціонування STEM-центрів, лабораторій робототехніки, 3D-моделювання й 3D-друку, сенсорних та інклюзивних класів, а також лабораторій змішаного навчання. Використання 3D-технологій, систем комп'ютерного моделювання, конструкторів LEGO, Arduino та інших мікроконтролерів дає можливість учням переходити від теоретичних уявлень до створення реальних моделей, прототипів і технічних рішень [35, с. 28–29]. Унаслідок цього навчальний процес набуває виразної практичної орієнтації, а природничо-математичні та технічні поняття стають більш наочними й пов'язаними з особистим досвідом школярів.

Паралельно з удосконаленням матеріальної бази трансформується й роль учителя. У системі STEM-освіти педагог постає не лише як джерело інформації, а як координатор і модератор пізнавальної діяльності, наставник у проектній та дослідницькій роботі [44, с. 8–9]. Це вимагає постійного професійного розвитку: оновлення предметних і методичних знань, упевненого володіння цифровими технологіями, здатності до рефлексії, роботи в команді та готовності до застосування педагогічних інновацій. Самоосвіта, участь у тренінгах, курсах підвищення кваліфікації, професійних спільнотах та науково-методичній діяльності стають невід'ємними складниками професійної компетентності сучасного вчителя [48, с. 22–23].

Основні принципи STEM-підходу в сучасній освіті можна узагальнити так:

- **інтегрованість змісту** — навчальний матеріал вибудовується навколо

спільних тем, проблем чи проєктів із одночасним залученням знань із різних предметних галузей, що нівелює жорсткі межі між дисциплінами;

- **проблемно- та практикоорієнтований характер навчання** — основу освітньої діяльності становлять реальні або максимально наближені до реальності завдання, які потребують аналізу, обґрунтування рішень і оцінки їх ефективності;
- **дослідницько-проєктна діяльність** — навчання організовується через виконання індивідуальних та групових проєктів, експериментів і досліджень із проходженням повного циклу: від формулювання проблеми до представлення результатів;
- **компетентісна та особистісно орієнтована спрямованість** — враховуються індивідуальні можливості, запити й інтереси учнів, а завдання мають варіативний характер і різний рівень складності;
- **широке застосування цифрових технологій** — моделювання, віртуальні лабораторії, онлайн-платформи, засоби комунікації, збору та аналізу даних є постійним і невід’ємним елементом навчального процесу;
- **колаборативність і комунікація** — навчання будується на груповій роботі, командних проєктах, обговореннях та взаємооцінюванні, що розвиває соціальні й комунікативні компетентності учнів;
- **неперервність і відкритість освіти** — STEM-підхід забезпечує поступовий розвиток компетентностей від початкової до старшої школи та подальшої професійної підготовки, підтримуючи концепцію навчання впродовж життя [49, с. 135–136].

Окремо варто підкреслити інклюзивний потенціал STEM-підходу. Сучасні цифрові й технічні засоби (аудіопідручники, матеріали шрифтом Брайля, 3D-моделі, адаптивні інтерфейси) дають змогу залучати до дослідницької та проєктної діяльності учнів з особливими освітніми потребами, урізноманітнювати канали сприйняття інформації та форми представлення результатів. Це узгоджується з принципами рівного доступу до якісної освіти й підтримки

освітньої інклюзії [50, с. 325-326].

Сутність STEM-підходу у сучасній освіті полягає в переході від фрагментарного, переважно теоретичного засвоєння навчального матеріалу до цілісної, інтегрованої та практикоорієнтованої моделі навчання. Ця модель поєднує цифрові технології, міждисциплінарний зміст, дослідницько-проектну діяльність та компетентнісну спрямованість, створюючи умови для формування в учнів тих знань, умінь і якостей, що є необхідними для життя й професійної діяльності в умовах технологічно розвиненого суспільства.

Національний консультант із STEM-освіти Джонатан В. Герлах наголошує, що реальний світ не поділений на окремі навчальні дисципліни. У повсякденному житті людина взаємодіє з комплексними явищами, у яких природно переплітаються знання з різних галузей. Він підкреслює, що пересічна людина не «вмикає» математику на певну годину, а потім так само окремо звертається до історії чи соціальних наук: усі ці компоненти існують паралельно та постійно впливають один на одного [66, с. 4–5].

Результати міжнародного дослідження PISA, метою якого є оцінювання якості та справедливості шкільної освіти, а також здатності здобувачів освіти застосовувати набуті знання в реальних життєвих ситуаціях, свідчать про наявність суттєвих проблем. За даними статистики, приблизно кожен четвертий п'ятнадцятирічний учень в Україні демонструє низький рівень читацької, математичної або природничої грамотності. Саме ці базові види грамотності є визначальним підґрунтям для подальшого професійного становлення, незалежно від обраної галузі діяльності [62].

За таких умов постає закономірне питання: якими методами можна сформувати покоління фахівців, здатних поєднувати теоретичні знання з практичними вміннями? Однією з відповідей на цей виклик є систематичне та цілеспрямоване впровадження STEM-освіти в освітній процес, зокрема у навчання фізики в старшій школі.

Проблематика розвитку STEM-напряму та підготовки конкурентоспроможних фахівців перебуває в центрі уваги як українських, так і

зарубіжних дослідників. До кола науковців, які обґрунтовують переваги, значущість та можливості впровадження STEM-освіти, належать, зокрема, В. Величко, Т. Андрущенко, О. Бочкова, Н. Морзе, О. Лісовий, О. Сапрунова, С. Сосновський, а також R. Florida, J. Confrey, E. Peters-Burton, J. Tarnoff та інші. Результати їхніх досліджень свідчать, що STEM-освіта є не тимчасовою тенденцією, а стратегічним напрямом модернізації освітньої системи та ринку праці, спрямованим на формування покоління фахівців, здатних працювати в умовах інноваційної економіки.

У сучасній інтерпретації STEM-освіта має низку стратегічних завдань. Серед найважливіших можна виокремити такі:

- формування в учнів тих компетентностей і навичок, які найбільше затребувані в економіці XXI століття (аналітичне мислення, вміння працювати з даними, технологічна грамотність);
- підготовка до розв'язання складних, комплексних практичних проблем, коли учень «знає, що», але повинен самостійно знайти «як» – тобто перевести теоретичне знання в практичну дію;
- розвиток критичного мислення: здатності бачити логічні зв'язки, аргументувати власну позицію, виявляти неточності й помилки у міркуваннях, у тому числі власних;
- виховання креативності як вміння генерувати нові ідеї, створювати оригінальні інженерні рішення, нестандартно підходити до задач, а також проявляти творчість у комунікації та емоційному самовираженні;
- формування навичок роботи в команді, організованості, вміння розподіляти функції, брати відповідальність за спільний результат;
- розвиток емоційного інтелекту – здатності розуміти власні емоції та емоції інших, регулювати їх, будувати емпатійні взаємини;
- набуття досвіду ефективної взаємодії: співпраця з різними людьми, вміння домовлятися, знімати напруження та конструктивно долати конфлікти;
- підвищення когнітивної гнучкості – здатності швидко переключатися між різними аспектами задачі, бачити проблему з кількох точок зору, поєднувати різні

підходи;

- сприяння всебічному особистісному розвитку, формуванню ціннісних орієнтацій, внутрішньої мотивації до навчання й саморозвитку;
- становлення цілісного наукового світогляду, який включає розуміння природи, суспільства, виробництва та місця людини в цих системах;
- виховання здатності до відповідального вибору та прийняття рішень у різноманітних життєвих ситуаціях;
- формування установки на безперервне навчання впродовж життя, коли отримані знання сприймаються не як остаточний результат, а як ресурс для подальшого розвитку [52].

Окремий аспект еволюції STEM-підходу пов'язаний із включенням у нього мистецького компоненту. Дослідження американських учених показують, що однобічна орієнтація лише на природничо-математичний блок без уваги до мистецтв може призвести до згасання креативності в молодого покоління. Недаремно А. Прінгсгайм наголошував, що в справжньому математику завжди присутня «частка художника, архітектора і навіть поета». На цій основі сформувалася концепція STEAM-освіти, де до традиційного аббревіатурного ряду Science, Technology, Engineering, Mathematics додається Arts – мистецтво. Це розширює спектр творчих напрямів: промисловий дизайн, архітектура, індустріальна естетика, візуальні та медіа-мистецтва тощо [55, с. 207-208].

Подальший розвиток ідеї інтеграції призвів до появи поняття STREAM. Під час спільних обговорень Національний науковий фонд (NSF) та Національний фонд мистецтв (NEA) у США дійшли висновку, що додати до STEM лише мистецький компонент недостатньо. Не менш суттєвими є базові навички читання й письма (Reading and Writing), які забезпечують уміння опрацьовувати великі масиви інформації, презентувати результати робіт, організовувати ефективну комунікацію й PR-супровід проєктів [19]. У такому розширеному форматі STREAM-освіта спрямована на те, щоб майбутній фахівець умів не лише створити продукт, а й грамотно його представити, аргументовано просувати свої ідеї, орієнтуватися в інформаційному середовищі та приймати обґрунтовані

рішення [49, с. 137-138].

Усі ці навички логічно поєднуються в понятті професійної комунікативної компетентності, яка стає критично важливою для сучасного кваліфікованого працівника. Саме в межах STREAM-підходу створюються найкращі умови для її формування, оскільки поєднуються технічні, гуманітарні, комунікативні та творчі компоненти.

Суттєву роль у розвитку STEM/STEAM/STREAM відіграє переосмислення поняття «компетенція». Аналіз численних її визначень у вітчизняній та зарубіжній літературі показує, що компетенція не зводиться лише до «обізнаності» або «наявності знань». Йдеться про комплексну характеристику, яка охоплює знання, уміння, ціннісні орієнтації, мотивацію, а також реальний досвід діяльності [47, с. 148-149]. Знання забезпечують розуміння явищ і закономірностей, уміння відображають здатність застосовувати ці знання на практиці, цінності та мотивація визначають, заради чого людина діє, а досвід задає широту та глибину її професійних дій. Усі ці компоненти взаємопов'язані й у сукупності формують основу професійної компетентності педагога чи будь-якого іншого фахівця [50, с. 325-326].

У цьому контексті важливим є підвищення професійної компетентності вчителів через спеціалізовані програми й спецкурси, зокрема «STEM-школу» для педагогів. Такі курси дають можливість:

- поглибити розуміння сутності STEM-підходу та його ролі в сучасній освіті;
- осмислити нові функції вчителя в умовах НУШ (орієнтація на розвиток, проектно-діяльнісний та особистісно орієнтований підходи);
- ознайомитися з методами діяльнісного навчання та інструментами формування ключових компетентностей учнів;
- набутти практичного досвіду розроблення й реалізації STEM-проектів, у тому числі інтегрованих уроків і міжпредметних модулів [45].

STEM-програми для вчителів можуть відрізнятися за тривалістю: від короткочасних модулів до річних курсів. Незалежно від формату, їх спільною метою є формування в педагога здатності самостійно проектувати освітній

процес, обирати адекватні методи й технології навчання, організувати співпрацю учнів, а також планувати власний професійний розвиток [43].

Водночас запровадження STEM-технологій у старшій школі сприяє формуванню в учнів як загальнокультурних, так і загальнопрофесійних компетентностей. До загальнокультурного блоку належать уміння абстрактно мислити, аналізувати й синтезувати інформацію, діяти в нестандартних ситуаціях, брати на себе відповідальність, самостійно опановувати нові методи дослідження та сфери діяльності, будувати власну освітню траєкторію. Загальнопрофесійний компонент охоплює здатність до ефективної комунікації українською та іноземними мовами, взаємодію з різними учасниками освітнього процесу, готовність до професійної самоосвіти й планування кар'єри.

Отже, на основі поданого тексту можна зробити висновок, що сучасний STEM/STEAM/STREAM-підхід не лише змінює зміст навчання, а й задає нові орієнтири для розвитку учнів і вчителів: від формування специфічних знань до розбудови широкого спектра компетентностей, необхідних людині в умовах складного, мінливого та інформаційно насиченого світу.

1.2. Інтеграція фізики з іншими дисциплінами у контексті STEM

Розвиток STEM-освіти закономірно привів до переосмислення ролі окремих навчальних дисциплін у шкільному курсі, зокрема фізики, яка традиційно виступає базовою наукою природничого циклу. У класичній освітній моделі фізика вивчається як самостійний предмет, однак STEM-підхід вимагає радикально іншого бачення: фізичні знання перестають бути «самодостатньою системою» і стають інструментом для розв'язання широкого спектра міждисциплінарних задач [45]. Інтеграція фізики з математикою, хімією, біологією, інформатикою, інженерією та технологіями дає змогу створювати навчальні ситуації, максимально наближені до реальних умов, де природні явища не мають жорстких меж і проявляються комплексно [43].

У межах STEM-освіти фізика виступає основою для формування наукового

стилю мислення: уміння висувати гіпотези, будувати моделі, проводити експеримент, здійснювати кількісний аналіз, інтерпретувати результати. Проте ці навички не формуються ізольовано, вони потребують поєднання з математичним апаратом, цифровими інструментами, технологічними засобами вимірювання та моделювання. Саме тому інтеграція фізики з іншими дисциплінами набуває системного характеру і стає однією з ключових передумов успішної реалізації STEM-підходу в старшій школі [36, с. 16-17].

I. Інтеграція фізики та математики: фундамент STEM-мислення.

Математика є мовою фізики, і саме завдяки математичним методам можливе формулювання законів, опис руху та взаємодій, побудова графіків, розв'язання задач оптимізації і моделювання. У контексті STEM інтеграція цих двох дисциплін виходить за межі традиційних «розрахункових задач».

Учні працюють із реальними даними, використовують статистичні методи, застосовують елементи математичного аналізу для дослідження фізичних процесів, будують математичні моделі експериментів та обґрунтовують точність вимірювань. Такий підхід наближає шкільне навчання до практик інженерних і наукових досліджень [35, с. 20-21].

II. Фізика і інформатика: цифрові інструменти, моделювання і візуалізація.

Сучасна фізична освіта нерозривно пов'язана з цифровими технологіями. Комп'ютерні симуляції, обробка експериментальних даних, використання сенсорів та мікроконтролерів (Arduino, Micro:bit) відкривають нові можливості для експериментальної діяльності учнів.

Поєднання фізики та інформатики дозволяє:

- створювати числові та графічні моделі фізичних процесів;
- керувати електронними пристроями і роботами;
- збирати дані за допомогою цифрових датчиків;
- аналізувати отримані результати у спеціалізованих програмних середовищах;
- проектувати власні технічні рішення.

Інформатика робить фізичні явища «видимими»: завдяки моделюванню учні можуть працювати навіть із тими процесами, які неможливо або складно відтворити в умовах шкільної лабораторії [29, с. 7-8].

III. Фізика та інженерія: створення прототипів, проєктування та конструювання

STEM-підхід передбачає, що фізика має прикладний, інженерний вимір. Учні не лише вивчають закони, а й застосовують їх у практичних конструкціях: від створення простих електронних схем до моделювання механізмів, використання 3D-друку, виготовлення прототипів.

Завдяки інженерно орієнтованим завданням:

- формується вміння переносити теоретичні знання у практичну площину;
- розвивається технічна творчість;
- учні навчаються планувати і виконувати етапи проєкту від задуму до реалізації;
- формується відповідальність за результат групової роботи.

Проєктна діяльність стає містком між фізикою та інженерією, дозволяючи старшокласникам зрозуміти реальний зміст технічних професій [2, с. 168-169].

IV. Фізика і хімія: спільний природничий контекст

У природі немає жорсткої межі між фізичними й хімічними явищами. Теплові процеси, агрегатні стани, дифузія, електроліз, хімічна динаміка усе це приклади, де фізичні закономірності визначають поведінку речовин.

У STEM-освіті інтеграція хімії та фізики дозволяє:

- моделювати процеси на атомно-молекулярному рівні;
- пояснювати природу матеріалів і технологічних процесів;
- поєднувати лабораторні дослідження з розрахунками та цифровою візуалізацією;
- створювати міжпредметні проєкти (наприклад, про очищення води, енергозберігаючі системи).

Отже, природничий комплекс наук працює як єдина система, що розширює можливості учнів у дослідженні реальних явищ [22].

V. Фізика та біологія: від біомеханіки до медичних технологій

Інтеграція фізики і біології є основою сучасних медико-інженерних і біотехнічних спеціальностей. У старшій школі такі зв'язки проявляються у вивченні:

- оптики людського ока;
- біомеханіки руху;
- електричних процесів у нервовій системі;
- фізичних принципів роботи медичних приладів (ЕКГ, УЗД, МРТ).

У STEM-проектах учні можуть досліджувати роботу сенсорів, аналізувати біологічні сигнали або моделювати механіку м'язових рухів, що робить навчання природничих дисциплін більш усвідомленим [22].

VI. Фізика та географія: енергетика, клімат і довкілля

Геофізичні процеси, енергетичні системи, рух атмосферних мас, сезонні зміни, глобальне потепління усі ці явища потребують ґрунтового фізичного пояснення.

У міжпредметних STEM-проектах учні можуть:

- досліджувати ефективність сонячних панелей;
- моделювати рух вітрових потоків;
- аналізувати енергоефективність будівель;
- оцінювати екологічні наслідки техногенного впливу.

Таке навчання формує екологічну компетентність та вміння застосовувати фізичні закони до глобальних проблем [43].

Упровадження STEM-підходу передбачає використання різноманітних організаційних форм, які дають змогу поєднувати фізику з іншими навчальними дисциплінами та створювати умови для міждисциплінарного навчання. Кожна з цих форм виконує окрему дидактичну функцію, а їх поєднання забезпечує цілісність освітнього процесу і сприяє розвитку в учнів системного мислення.

Інтегровані уроки є однією з найпоширеніших форм реалізації STEM-підходу. Вони передбачають одночасне опрацювання змістових ліній кількох

дисциплін, наприклад фізики й інформатики, фізики та хімії або фізики й математики [26, с. 35-36].

Такі заняття дають змогу:

- пов'язувати теоретичний матеріал з різних предметів у єдину логічну систему;
- демонструвати учням, що наукові явища не існують окремо, а взаємодіють між собою;
- організовувати роботу над спільними задачами, які потребують комплексного підходу від математичних розрахунків до технічного моделювання [18, с. 12-13].

Наприклад, об'єднаний урок фізики та інформатики може стосуватися моделювання коливань маятника або аналізу траєкторії руху тіла за допомогою цифрових датчиків. Спільні уроки фізики й хімії дозволяють вивчати теплові процеси, електроліз або властивості матеріалів у контексті реальних експериментів.

Міжпредметні модулі - це більш тривала форма інтеграції, яка охоплює кілька тем або навчальних тижнів. Модуль будується навколо проблеми, яка потребує комплексного вивчення, наприклад «Енергетика майбутнього», «Екологічний моніторинг», «Робототехніка й автоматизація».

Під час роботи над модулем учні:

- працюють із різними джерелами інформації;
- виконують лабораторні та аналітичні завдання;
- застосовують знання з кількох дисциплін для розв'язання спільної проблеми;
- формують навички командної взаємодії.

Модульна інтеграція є ефективним інструментом розвитку дослідницьких компетентностей і сприяє глибшому розумінню практичної значущості фізики.

Проектна діяльність - ключова складова STEM. Вона створює умови, за яких фізичні знання не лише засвоюються, а й активно використовуються в нових ситуаціях [19].

У рамках проєктно-дослідницької роботи учні:

- обирають проблему або завдання;
- висувають гіпотези й планують дослідження;
- виконують експеримент, вимірювання чи створення технічного прототипу;
- аналізують отримані результати;
- презентують своє рішення.

Приклади таких проєктів: створення моделі вітрогенератора, дослідження впливу форми лопатей на ефективність турбіни, розробка «розумної» системи освітлення, проєктування екологічних систем очищення води, моделювання енергоспоживання в будівлях.

Проєкти сприяють розвитку критичного мислення, творчості, технічної інтуїції та навичок аргументованого представлення результатів [19].

STEM-тижні та наукові фестивалі виконують важливу мотиваційну та соціалізаційну функцію. Це події, у межах яких учні отримують можливість показати результати своєї дослідницької чи конструкторської діяльності, взяти участь у експериментальних демонстраціях, зустрітися з представниками наукової спільноти або бізнесу [9, с. 22-23].

Такі форми роботи:

- стимулюють інтерес до технічної творчості та наукових досліджень;
- сприяють професійному самовизначенню;
- створюють атмосферу співпраці між учителями, учнями, батьками й партнерами школи.

Особливо ефективними є фестивалі з майстер-класами, де учні можуть виконувати фізичні досліди, проводити експрес-вимірювання або працювати з навчальним обладнанням [8, с. 104-105].

STEM-лабораторії - це сучасний освітній простір, обладнаний датчиками, мікроконтролерами, мультимедійними інструментами, 3D-принтерами та наборами для робототехніки.

Робота в таких лабораторіях дозволяє:

- виконувати реальні інженерні завдання;

- проводити точні фізичні вимірювання;
- будувати електронні схеми й програмувати їхню роботу;
- створювати 3D-моделі та виготовляти їх за допомогою друку;
- здійснювати інтегровані дослідження, які неможливі в умовах традиційного шкільного кабінету [7, с. 96-97].

По суті, лабораторія стає середовищем, де учні вчаться працювати як дослідники та розробники, а не лише як спостерігачі.

Цифрові ресурси значно розширюють можливості інтеграції фізики з іншими дисциплінами. Використання онлайн-платформ (PhET, Arduino Education, Tinkercad, GeoGebra, Desmos) та масових дистанційних курсів дає змогу учням:

- виконувати віртуальні лабораторні роботи;
- моделювати фізичні процеси й технічні системи;
- опановувати основи програмування й інженерного дизайну;
- працювати в команді над онлайн-проектами;
- отримувати доступ до світових освітніх ресурсів [5, с. 157-158].

Дистанційні формати особливо важливі для закладів, які не мають обладнаних STEM-центрів, оскільки дозволяють компенсувати матеріально-технічні обмеження й забезпечують рівний доступ до сучасних методів навчання.

Використання зазначених організаційних форм дозволяє зробити навчання фізики більш гнучким, різноманітним і таким, що відповідає сучасним технологічним тенденціям. Інтеграція забезпечує учням можливість бачити цілісну картину світу, розуміти взаємозв'язки між природними, технічними й математичними явищами та застосовувати знання для розв'язання реальних проблем.

Отже, інтеграція фізики з іншими навчальними дисциплінами в умовах STEM-освіти не є додатковим елементом, а виступає фундаментальною складовою сучасного освітнього процесу. Такий підхід забезпечує учням можливість застосовувати фізичні знання для розв'язання реальних проблем, сприяє розвитку критичного мислення, технічної творчості, цифрової грамотності та формуванню наукової картини світу. Саме через інтеграцію фізика набуває

нового змісту, стає практично значущою і відкриває шлях до широкого спектра сучасних професій.

1.3. STEM-компетентності учнів старшої школи та умови їх формування

Динамічні зміни в суспільстві й технологічному середовищі призводять до постійного оновлення змісту та форм освіти. У цих умовах особливої ваги набуває поняття компетентності, яку розуміють як поєднання знань, умінь, здібностей і особистісних якостей, що дозволяють людині компетентно діяти у певній професійній або життєвій сфері та робити обґрунтовані судження щодо неї [15, с. 19]. У площині STEM-освіти це поняття наповнюється специфічним змістом, оскільки йдеться не лише про володіння природничо-математичною інформацією, а про здатність застосовувати її у реальних, часто складних і багатофакторних ситуаціях.

STEM-компетентності доцільно розглядати як динамічну, таку, що розвивається, систему. Вона включає знання та практичні вміння, способи мислення, ціннісні орієнтації та особистісні риси, які забезпечують готовність учня до інноваційної діяльності [19]. До таких характеристик належать здатність розв'язувати комплексні проблеми, критично осмислювати інформацію, виявляти креативність, організовувати власну роботу й роботу групи, ефективно взаємодіяти з іншими, проявляти емоційну чутливість і гнучко змінювати стратегії поведінки залежно від умов [1, с. 16]. Отже, STEM-компетентність є багатокомпонентним утворенням, де когнітивні, мотиваційні й комунікативні характеристики виступають взаємопов'язаними.

Важливим аспектом розгляду STEM-компетентностей є їхня роль у професійному самовизначенні. Одна із стратегічних цілей STEM-освіти полягає в тому, щоб зацікавити значну частину учнів науково-технічними, інженерними й технологічними напрямами, створити умови для усвідомленого вибору майбутньої професії. В умовах, коли на ринку праці зростає попит на фахівців у галузі інженерії, ІТ, робототехніки, біо- та наноінженерії, особливої актуальності

набуває завдання подолати низький рівень обізнаності учнів і їхніх батьків щодо сучасних високотехнологічних спеціальностей. STEM-підхід покликаний не лише передати знання, а й продемонструвати привабливість інженерних та наукових професій, показати, як поєднання технічної підготовки й творчого потенціалу може забезпечити успішну кар'єру [5, с. 158-159].

Значну увагу в межах STEM приділяють і позашкільному виміру освіти. Введення елементів науково-технічної та інженерної діяльності у сфері додаткової освіти (гуртки, студії, спеціальні курси, літні STEM-школи) розширює можливості учнів для самореалізації. Приватні центри й інші позашкільні установи часто мають кращу матеріальну базу, сучасне обладнання й доступ до інноваційних програм, що дозволяє створювати живе, насичене практичними завданнями середовище. Для значної частини підлітків саме позашкільні програми стають першою «точкою входу» в інженерію, робототехніку чи програмування і суттєво впливають на формування їхніх STEM-компетентностей [2].

Особливістю STEM-навчання є акцент на проєктно-орієнтованій діяльності. Освітній процес вибудовується таким чином, щоб учні не просто відтворювали готову інформацію, а самостійно її шукали, критично аналізували й застосовували в конкретних проєктах. Робота над проєктом передбачає кілька послідовних кроків: визначення проблеми, пошук інформації, планування дій, конструювання або програмування, тестування й удосконалення результату, а також публічне представлення виконаної роботи [4]. У такому форматі навчання природно формуються навички планування часу, самоорганізації, рефлексії власних дій, відповідальності за спільний результат. Одночасно розвиваються критичне та творче мислення, уміння бачити декілька варіантів розв'язання однієї задачі й обирати оптимальний [17].

Характерною рисою сучасної STEM-освіти є активне використання ігрових, проблемних та кейсових методик. Ігрові технології, попри складність їх підготовки, демонструють високий мотиваційний потенціал: учні із зацікавленістю долучаються до симуляцій, рольових ігор, змагань, у межах яких

необхідно застосувати знання для досягнення ігрової мети. Технологія case-study (аналіз навчальних ситуацій) дозволяє моделювати реальні або наближені до реальних проблемні ситуації, де учні мають запропонувати дієвий вихід, спираючись на отримані теоретичні знання. Це сприяє розвитку навичок прийняття рішень, аргументації, роботи з неоднозначною інформацією. Використання інтерактивних застосунків та онлайн-ресурсів створює додаткові можливості для формування цифрових та комунікативних компетентностей, адже значна частина завдань виконується в малих групах [19].

Формування STEM-компетентностей відбувається також через опанування учнями наукового методу та основ інженерного дизайну. Науковий метод передбачає послідовність кроків: від постановки запитання і формулювання гіпотези до планування та проведення експерименту, аналізу отриманих даних, перевірки гіпотетичних припущень та узагальнення результатів. Інженерний дизайн, своєю чергою, зосереджується на пошуку конструктивного рішення для конкретної практичної проблеми: визначення вимог, аналіз уже наявних рішень, генерування ідей, створення прототипу, випробування та вдосконалення. Опанування цих двох логік діяльності формує у старшокласників дослідницький стиль мислення, вміння працювати з невизначеністю, планувати роботу та не боятися багаторазового повторення спроб у пошуку оптимального результату [50, с. 236-237].

З огляду на зазначене, до структури STEM-компетентності доцільно включати кілька взаємопов'язаних складових. Науково-дослідницька складова відображає рівень володіння методами наукового пізнання. Проектно-конструкторська характеризує здатність до створення технічних рішень і проектів із використанням сучасних технологій. Інформаційна складова пов'язана з вмінням знаходити, критично опрацьовувати, систематизувати й інтерпретувати дані. Організаційно-управлінська компонента проявляється в здатності планувати індивідуальну й групову діяльність, розподіляти обов'язки, контролювати проміжні результати. Технологічна складова відображає готовність застосовувати інноваційні засоби й інструменти для досягнення поставленої мети. Разом ці

компоненти забезпечують сформованість цілісної STEM-компетентності як інтегрованої якості особистості [56].

Важливим є й те, що формування STEM-компетентностей здійснюється на різних рівнях освітньої системи. На початковому й базовому рівнях головним є пробудження інтересу до досліджень і технічної творчості, формування первинних навичок спостереження, експериментування та простого проектування. У старшій школі, на профільному рівні, акцент переноситься на поглиблене опанування природничо-математичних дисциплін, роботу з більш складними проектами, що потребують інтеграції знань із різних галузей. На рівні вищої та професійної освіти STEM-компетентності переходять у площину конкретної спеціалізації. Паралельно функціонують педагогічний і післядипломний рівні, де формуються компетентності вчителів, здатних організувати STEM-навчання й безперервно оновлювати власні професійні вміння [55, с. 207-208].

У цій багаторівневій системі особлива роль належить педагогу. Саме STEM-орієнтований учитель стає ключовою фігурою, від якої залежить, чи перетвориться концепція на реальну практику. Він має не тільки знати свій предмет, а й уміти інтегрувати його з іншими дисциплінами, конструювати міжпредметні завдання, добирати адекватні методи й інструменти, організувати дослідницьку й проектну діяльність.

У сучасній системі загальної середньої освіти STEM-компетентності розглядаються як інтегрований результат навчальної діяльності, який забезпечує здатність учня ефективно застосовувати природничі, математичні, інженерні та цифрові знання в реальних або наближених до реальних умовах [76, с. 13-14]. Вони формуються в процесі спеціально організованої дослідницької, проектної та практико орієнтованої діяльності, що вимагає інтеграції різних видів мислення - аналітичного, критичного, інженерного й креативного. STEM-компетентності мають комплексний характер, охоплюючи як когнітивні, так і практичні та соціально-комунікативні складові [77].

В основі формування STEM-компетентностей лежить здатність учня сприймати навколишній світ як систему взаємопов'язаних явищ, що не можуть

бути пояснені в межах однієї дисципліни. Тому важливою умовою є міжпредметна інтеграція, яка дозволяє поєднувати фізичні, математичні, біологічні, хімічні та інформатичні знання при виконанні завдань різного рівня складності. Такий підхід сприяє поступовому переходу від простого відтворення інформації до самостійного дослідження, аналізу даних, створення моделей і побудови технічних рішень [75].

Для забезпечення системності аналізу доцільно узагальнити структуру STEM-компетентностей учнів старшої школи. Подаємо її у вигляді таблиці 1.1, яка відображає ключові компоненти та їх змістові характеристики.

Таблиця 1.1

Структурні компоненти STEM-компетентностей учнів старшої школи

Компонент	Характеристика змісту
Науково-дослідницький	Уміння формулювати гіпотези, планувати експеримент, проводити вимірювання, аналізувати похибки та робити науково обґрунтовані висновки.
Інженерно-технологічний	Здатність створювати моделі, прототипи, технічні конструкції; оптимізувати рішення, користуватися технічними інструментами та обладнанням.
Математично-аналітичний	Навички оперування формулами, графіками, статистичними методами та математичними моделями для розв'язання реальних задач.
Цифровий	Використання симуляцій, цифрових лабораторій, програмування, моделювання та аналізу даних з використанням інформаційних технологій.
Комунікативний	Уміння працювати в команді, презентувати результати, аргументувати позицію, дотримуватися принципів академічної доброчесності.
Ціннісно-мотиваційний	Позитивне ставлення до науки, технологій і творчого пошуку; готовність до самонавчання та відповідальність за результати роботи.

Джерело: створено за [6; 22; 39]

Сформованість STEM-компетентностей залежить не лише від змісту навчального матеріалу, а й від умов, у яких відбувається навчання. Важливо враховувати комплекс педагогічних, організаційних та технологічних чинників, що визначають можливість ефективної реалізації STEM-підходу у старшій школі.

Одним із ключових аспектів є доступ до сучасного матеріально-технічного забезпечення, що включає лабораторне обладнання, сенсори, робототехнічні набори, 3D-принтери, цифрові моделі та спеціалізоване програмне забезпечення. Водночас не менш суттєвими є методичні умови: компетентність вчителя у використанні STEM-технологій, його готовність до командної роботи та організації проєктної діяльності.

З метою систематизації основних умов формування STEM-компетентностей доцільно представити їх у таблиці 1.2, що демонструє взаємозв'язок між організаційними факторами та навчальними результатами.

Таблиця 1.2

Умови формування STEM-компетентностей старшокласників

Група умов	Змістове наповнення
Матеріально-технічні	STEM-лабораторії, робототехніка, інструменти цифрового моделювання, сучасні вимірювальні комплекси, доступ до онлайн-симуляцій.
Методичні	Інтегровані модулі, проблемно-орієнтоване навчання, проєктно-дослідницькі методи, діяльнісний підхід, дидактичні матеріали STEM-спрямування.
Організаційні	Можливість виконання колективних проєктів, STEM-тижні, співпраця з університетами та ІТ-компаніями, проведення шкільних наукових заходів.
Педагогічні	Професійна компетентність учителя, розвиток цифрової грамотності педагога, готовність до впровадження інноваційних технологій.

Психолого-педагогічні	Створення мотиваційного середовища, розвиток інтересу до технічної творчості, підтримка учнів у ситуації труднощів, формування позитивного досвіду успіху.
-----------------------	--

Джерело: створено за [14; 24; 45]

Отже, STEM-компетентності учнів старшої школи формуються на перетині знань, умінь, технологічних інструментів і педагогічних стратегій, що забезпечують інтегрованість, практичність та проблемно-дослідницький характер навчання.

Висновки першого розділу

У першому розділі було здійснено комплексний теоретичний аналіз особливостей STEM-підходу в сучасній системі навчання фізики та з'ясовано ключові засади його реалізації у старшій школі. Розгляд сутності STEM-освіти дав змогу встановити, що вона постає як інтегрована модель, спрямована на поєднання природничих, математичних, технічних і технологічних знань для формування в учнів здатності застосовувати наукові підходи та інженерні рішення у різних життєвих ситуаціях. STEM-підхід орієнтований не лише на засвоєння змісту, а передусім на розвиток критичного мислення, креативності, уміння працювати з інформацією, приймати рішення та здійснювати дослідження.

Аналіз можливостей інтеграції фізики з іншими освітніми галузями дав підстави стверджувати, що міжпредметні зв'язки є необхідною умовою ефективного впровадження STEM-освіти. Вивчення фізики в поєднанні з інформатикою, математикою, хімією, біологією чи технічними дисциплінами створює цілісне бачення наукової картини світу та дозволяє учням усвідомлювати практичну значущість навчального матеріалу. Різні організаційні форми - інтегровані уроки, модулі, проєктно-дослідницька діяльність, робота в STEM-лабораторіях та участь у тематичних заходах забезпечують варіативність навчання та сприяють розвитку пізнавальної активності.

Розгляд структури STEM-компетентностей старшокласників дав змогу визначити їх як багатокомпонентне утворення, що поєднує науково-дослідницькі, інженерні, математично-аналітичні, цифрові, комунікативні та ціннісно-мотиваційні компоненти. Установлено, що формування таких компетентностей можливе лише за умови системного поєднання сучасного навчального середовища, діяльнісно орієнтованих методів, відповідної матеріально-технічної бази та високого рівня педагогічної майстерності вчителя. Значну роль відіграють також позашкільні форми роботи, які розширюють можливості учнів щодо участі в реальних або наближених до реальних інженерних і дослідницьких практиках.

Отримані теоретичні результати підтверджують, що STEM-підхід у навчанні фізики є ефективним інструментом модернізації природничо-математичної освіти, підвищує мотивацію учнів, розширює спектр їхніх пізнавальних можливостей та сприяє підготовці до актуальних професій майбутнього. Розділ 1 закладає необхідне науково-методичне підґрунтя для подальшого аналізу методичних особливостей використання STEM-підходу та розробки практичних прикладів STEM-уроків у наступному розділі.

РОЗДІЛ II. МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ STEM-ПІДХОДУ НА УРОКАХ ФІЗИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ

2.1. Організація STEM-орієнтованого уроку фізики

Упровадження STEM-освіти в Україні здійснюється відповідно до нормативно-правових актів Міністерства освіти і науки України, зокрема наказу від 17 травня 2017 року, що визначив стратегічні засади розвитку даного напрямку в національній системі освіти. У міжнародному розумінні STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) означає освітню модель, орієнтовану на інтеграцію природничих наук, технологій, інженерії та математики з метою формування комплексу компетентностей, необхідних для професійного становлення особистості в умовах інтенсивного науково-технологічного прогресу.

Сутність STEM-підходу полягає не лише у засвоєнні теоретичних знань у

межах навчальної аудиторії, а й у широкому залученні здобувачів освіти до практико-орієнтованої діяльності: лабораторних експериментів, інженерно-конструкторських завдань, командних проєктів та моделювання реальних проблемних ситуацій. Така організація освітнього процесу сприяє розвитку креативності, логічного й алгоритмічного мислення, здатності до співпраці, а також формуванню навичок, які є визначальними для успішності людини у високотехнологічному суспільстві [77].

З огляду на глобальні тенденції STEM-освіта виконує ключову функцію у забезпеченні наукового та інноваційного розвитку держави. Вона сприяє підготовці висококваліфікованих фахівців у сферах науки, техніки, інженерії та математики, що, у свою чергу, підвищує конкурентоспроможність країни на світовому ринку та стимулює економічне зростання. В Україні цю діяльність підтримують спеціалізовані інституції та мережі - Центр STEM-освіти, Асоціація STEM-освіти України, регіональні лабораторії, гуртки та класи, орієнтовані на сучасні технологічні напрями [78].

Мета впровадження STEM-освіти є багатокомпонентною і включає: підготовку фахівців нової генерації; формування критичного та проблемно-орієнтованого мислення; розширення участі різних груп учнів у науково-технічній діяльності; розвиток технічних компетентностей; створення основ для формування дослідницької культури та інженерного способу мислення.

Навчальний курс фізики у старшій школі має високий потенціал для застосування STEM-підходу, оскільки практично кожна тема дає можливість розробити повноцінний міждисциплінарний проєкт [78].

У науково-методичній літературі подано низку прикладів STEM-проєктів, які можуть бути інтегровані в освітній процес. Зокрема, у темі кінематики ефективним є дослідження швидкості руху за допомогою пульсометра; під час вивчення динаміки - проєкти, пов'язані з простими механізмами; у межах законів збереження - аналіз роботи фізичних іграшок. Теми молекулярної фізики можна доповнити дослідженнями із застосуванням симуляцій PhET, а розділи електродинаміки - створенням моделей альтернативних джерел струму, у тому

числі двигуна Стірлінга чи радіоприймача [80].

Показовим прикладом є проєкт «Альтернативні джерела електричного струму». Учні самостійно обирають вид джерела струму, вивчають його конструктивні характеристики за доступними інформаційними ресурсами, створюють його інтерактивну модель у середовищі «PhETInteractiveSimulations» та аналізують її роботу. Далі вони проводять математичні розрахунки електричних параметрів (зокрема ЕРС), критично оцінюють варіанти конструкцій і визначають оптимальне рішення. На завершальному етапі учні переходять до створення фізичної моделі, що дозволяє перевести теоретичні висновки у практичну площину.

Проєктна діяльність такого типу не лише активізує пізнавальний інтерес, а й сприяє розвитку в учнів самостійності, відповідальності, здатності до командної взаємодії та прийняття рішень. Важливо, що в процесі роботи школярі отримують можливість застосовувати теоретичні знання на практиці, що значно поглиблює розуміння фізичних закономірностей і підсилює внутрішню мотивацію до вивчення предмета.

Аналіз досвіду впровадження STEM-елементів у навчання фізики засвідчує, що така діяльність забезпечує:

- формування стійкого інтересу до природничих наук;
- оволодіння практичними навичками шляхом реального дослідження, а не пасивного заучування;
- інтеграцію математичних, технологічних, інженерних і природничих компетентностей;
- створення умов для розвитку творчості та критичного мислення;
- формування в учнів навичок, необхідних для майбутнього професійного становлення в наукоємних галузях [81].

Сучасний STEM-орієнтований урок фізики виходить за межі традиційного подання матеріалу та ґрунтується на діяльнісному, інтегративному й проблемно-дослідницькому підходах. Його ключова особливість полягає в тому, що учні отримують не лише теоретичні знання, а й відразу вчаться застосовувати їх для

розв'язання реальних або наближених до реальних практичних завдань. Така організація навчання формує в старшокласників здатність працювати з міждисциплінарними проблемами, що в сучасному світі потребують одночасного залучення фізики, математики, технологій, інженерії та цифрових інструментів.

STEM-урок розглядається не лише як форма навчальної діяльності, а як спосіб мислення і моделювання професійних процесів. Учні привчаються сприймати проблему комплексно, співпрацювати в команді, пропонувати альтернативні рішення, аргументувати власні висновки й оцінювати ризики. У такий спосіб формується не лише предметна, а й метапредметна компетентність, що відповідає вимогам Нової української школи та загальним тенденціям світової освіти [83].

Організація STEM-орієнтованого уроку передбачає дотримання низки принципів:

Інтегративність змісту – включення компонентів не менше ніж трьох дисциплін (наприклад, фізика + математика + технології або фізика + інформатика + хімія).

Проблемність – урок будується навколо реальної проблеми або ситуації, що вимагає аналізу, дослідження та оцінювання рішень.

Проектно-дослідницький характер – значна частина часу відводиться експериментам, моделюванню, вимірюванням, конструктивним рішенням.

Командна взаємодія – учні працюють у малих групах, що наближує процес навчання до професійної діяльності інженерів і дослідників.

Використання цифрових технологій – симуляції, датчики, мобільні застосунки для вимірювань, електронні лабораторії, інтелектуальні конструктори.

Оцінювання процесу, а не лише результату – важливим є обґрунтування рішень, якість командної роботи, дотримання алгоритму дослідження [77].

Усі ці компоненти забезпечують створення динамічного, інтелектуально насиченого середовища, у межах якого учні розвивають навички аналізу, планування, критичного мислення й творчого підходу до задач.

У шкільній практиці STEM-підхід реалізується через різні організаційні

форми, кожна з яких має свої дидактичні можливості. Їх можна узагальнити у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Організаційні форми STEM-навчання фізики та їх характеристика

Форма	Сутність та дидактичні можливості
STEM-урок	Змішана діяльність: пояснення + дослідження + інженерні завдання; інтеграція 3 і більше STEM-дисциплін; орієнтація на створення фізичних моделей, проведення вимірювань, цифрових експериментів.
STEM-проект	Групова діяльність, у межах якої учні проходять повний цикл від постановки проблеми до створення прототипу; сприяє розвитку командної роботи, інженерного мислення та навичок презентації.
STEM-курс	Інтегрована навчальна дисципліна (наприклад, «Природничі науки»), що об'єднує зміст фізики з хімією, біологією та географією; забезпечує системне формування наукової картини світу.
STEM-квест	Послідовне виконання логічних, експериментальних і творчих завдань у командній грі; сприяє розвитку критичного мислення та вмінню швидко застосовувати знання.
STEM-хакатон	Інтенсивна колективна робота над розв'язанням складної фізичної або технічної задачі; наближена до реальних інженерних змагань; формує навички пошуку інноваційних рішень.

STEM-орієнтований урок фізики у старшій школі характеризується поєднанням дослідницької діяльності, інженерної творчості та використання сучасних цифрових технологій, що забезпечує принципово іншу якість навчання порівняно з традиційною моделлю. Такий урок ґрунтується на проблемно-дослідницькій основі, коли початковим етапом стає постановка конкретного

питання або ситуації, яка вимагає міждисциплінарного аналізу. Типовими є завдання, пов'язані з реальними природними процесами, наприклад: визначення енергетичного потенціалу вітру, створення моделі альтернативного джерела енергії або пояснення стійкості конструкцій під дією зовнішніх навантажень. Така постановка проблеми створює умови для активної пізнавальної діяльності й формування навичок наукового мислення [83].

У контексті STEM-підходу учні не отримують готових рішень, а самостійно проходять повний дослідницький цикл: формулюють гіпотезу, добирають інструменти та методики, проводять експериментальні вимірювання, здійснюють аналіз похибок і на основі отриманих даних формують аргументовані висновки. Подібна організація діяльності сприяє розвитку відповідальності за власний результат, умінню критично оцінювати дані та здійснювати наукову аргументацію.

Важливим складником STEM-уроку є інженерно-проектна діяльність. Учні залучаються до створення прототипів фізичних моделей та технічних конструкцій, що може передбачати проектування мостів, датчиків, ланцюгів електричних кіл або інших технічних систем. Проектна робота нерідко включає застосування елементів 3D-моделювання для візуалізації фізичних процесів, проведення обчислень та оптимізації конструкцій відповідно до заданих параметрів. Завдяки цьому школярі здобувають первинний досвід інженерного проектування та вчаться оцінювати ефективність запропонованих рішень [84].

Суттєвою рисою STEM-уроку є комплексне використання цифрових технологій. Для моделювання фізичних процесів застосовуються віртуальні лабораторії та симулятори, такі як PhET, CrocodilePhysics чи Algodoo. Реальні експерименти доповнюються використанням цифрових датчиків температури, освітленості, переміщення, прискорення, а також різноманітних мікроконтролерів, зокрема Arduino, які дають змогу створювати інтерактивні фізичні моделі та автоматизовані вимірювальні системи. Мобільні додатки й онлайн-інструменти розширюють можливості експерименту та спрощують оброблення результатів.

Організація навчання в такому форматі вимагає від учителя нової професійної ролі. Педагог не лише передає знання, а й виконує функції модератора дослідницької діяльності, консультанта у виконанні експериментальних завдань, координатора командної роботи та експерта, який оцінює якість запропонованих розв'язань. Крім того, учитель виступає технологічним наставником, допомагаючи учням опанувати цифрові інструменти, необхідні для дослідження та моделювання [77].

STEM-урок має чітку структурну логіку. Першим етапом є проблематизація, коли перед учнями формулюється задача, що потребує інтеграції знань різних галузей. На мотиваційному етапі використовуються відеодемонстрації, експериментальні факти або життєві приклади, які підсилюють інтерес до теми. Подальшим кроком є планування дослідження, у межах якого визначають гіпотезу, добирають прилади, розробляють алгоритм дій. Центральним компонентом є практичний блок, що включає дослідницькі, інженерні або конструкторські завдання. Після отримання емпіричних даних проводиться їх аналітична обробка, зокрема побудова графіків, узагальнення результатів, порівняння з гіпотезою. Окрему увагу приділяють презентації та захисту проектних рішень, де учні мають обґрунтувати власний підхід та продемонструвати здатність працювати в команді. Завершальною складовою є рефлексія, що передбачає оцінювання якості командної взаємодії, труднощів, шляхів їх подолання та отриманого досвіду [19].

Розгортання STEM-освіти в старшій школі передбачає не лише оновлення методичного інструментарію, а й перебудову самого навчального середовища. Одним із ключових чинників ефективного STEM-уроку фізики є формування стійкого пізнавального інтересу до технічних наук та інженерної діяльності. Інтегровані заняття, що поєднують дослідницьку роботу, експерименти, моделювання та командну взаємодію, створюють умови для розвитку мислення нового типу - аналітичного, гнучкого та орієнтованого на практичне розв'язання задач.

Зауважимо, проведення STEM-уроків фізики сприяє формуванню в старшокласників здатності аналізувати умови задач, висувати гіпотези, порівнювати конкуруючі пояснення та перевіряти їх експериментально. Учні залучаються до тестування альтернативних рішень, проектування моделей та інтерпретації отриманих результатів. Такий досвід дозволяє школярам адаптуватися до складних, неструктурованих проблем реального життя, де стандартні алгоритми часто не працюють.

STEM-орієнтоване заняття має виражений кооперативний характер. Учні працюють у малих групах, спільно планують дослідження, обмінюються ідеями, презентують результати та критично оцінюють напрацювання інших команд. Вчитель у цій моделі виступає фасилітатором, який координує діяльність, ставить уточнювальні запитання й допомагає учням будувати науково обґрунтовані міркування. Такий підхід активізує комунікативні компетентності, включно зі здатністю аргументувати позицію, вести діалог та узгоджувати рішення.

Організація STEM-уроків фізики створює місток між навчальною діяльністю та майбутньою професійною реалізацією. Завдяки роботі з сучасними технологіями, цифровими платформами, сенсорними пристроями та інженерними конструкторами, учні отримують уявлення про сфери діяльності, пов'язані з енергетикою, робототехнікою, екологічним аналізом, матеріалознавством та інформаційними технологіями.

Старшокласники не просто відтворюють фізичні закономірності, а моделюють реальні проблеми: зменшення викидів CO₂, оптимізацію конструкцій, дослідження ефективності матеріалів, підвищення енергоощадності тощо. Це стимулює мотивацію до вибору професій технічного спрямування та сприяє розвитку компетентностей, необхідних для сучасного ринку праці.

STEM-урок потребує чіткої структури, що забезпечує логічний перехід від мотивації до рефлексії. На відміну від традиційних форм, тут ключову роль відіграє активна діяльність учнів

Етапи STEM-орієнтованого уроку:

1. Актуалізація проблеми - створення ситуації, що потребує міждисциплінарного аналізу (приклад - проєктування системи очищення повітря).
2. Початкова підготовка - ознайомлення з відео, моделями, кейсами або експериментальними демонстраціями.
3. Пошуково-дослідницький етап - формування гіпотез, відбір інструментів, планування досліду.
4. Інженерно-проєктувальна діяльність - створення моделей, прототипів, схем або цифрових симуляцій.
5. Аналітичний блок - обробка отриманих даних, оцінка похибок, порівняння з теоретичними передбаченнями.
6. Презентація результатів - груповий захист інженерних рішень та обґрунтування вибраної стратегії.
7. Рефлексія - самооцінювання, взаємооцінювання та визначення шляхів удосконалення моделі.

Успішна організація STEM-діяльності ґрунтується на таких принципах:

- інтегративності, що передбачає поєднання знань із фізики, математики, технологій та інженерії;
- свідомої активності, коли учні не отримують готових рішень, а створюють їх самостійно;
- наочності, що забезпечується експериментами, симуляціями та цифровими моделями;
- системності та послідовності, які дозволяють поступово формувати компетентності;
- доступності й варіативності, що враховують рівень підготовки учнів;
- співпраці, яка розвиває соціальну та комунікативну компетентності.

У процесі роботи над проєктами учні опановують універсальні навчальні дії: планування, пошук інформації, тестування гіпотез, оцінювання результатів, конструювання моделей. Вони стають учасниками освітнього процесу, а не пасивними спостерігачами.

STEM-підхід формує здатність до навчання впродовж життя, аналітичну гнучкість, творчість, уміння працювати в команді, а також готовність до використання цифрових технологій та інженерних рішень.

Завдяки такій організації STEM-орієнтований урок фізики не лише забезпечує глибоке засвоєння предметного матеріалу, а й формує ключові компетентності XXI століття: уміння співпрацювати, здійснювати комунікацію, критично осмислювати інформацію, застосовувати інженерні підходи до розв'язання проблем і створювати інноваційні рішення. Це перетворює урок фізики на інструмент підготовки учнів до сучасного технологічного середовища та професій, пов'язаних з наукою, технікою та інженерією.

2.2. Методичні інструменти та технології STEM-навчання з фізики

У сучасних умовах трансформації освітнього процесу та переходу до компетентнісної моделі навчання особливої актуальності набуває інтеграція STEM-технологій у викладання фізики. Залучення учнів до дослідницької, конструкторської та аналітичної діяльності створює умови для формування комплексних пізнавальних умінь, розвитку критичного мислення та опанування навичок інженерного моделювання. Методичні інструменти STEM-навчання забезпечують поєднання традиційного фізичного експерименту з цифровими платформами, мобільними технологіями, симуляційними середовищами та інженерними засобами.

Одним із ключових компонентів є використання цифрових технологій. Віртуальні лабораторії та симуляційні середовища дозволяють відтворювати фізичні явища, що в реальних умовах потребують складного обладнання або створюють потенційну небезпеку. Інтерактивні середовища на зразок PhETInteractiveSimulations, CrocodilePhysics чи Algodoo забезпечують можливість багаторазового повторення експериментів, дослідження параметрів моделей, зміни умов проведення досліджень та аналізу поведінки систем. Залучення

мікроконтролерів Arduino, Micro:bit, цифрових датчиків руху, температури й освітленості підвищує точність вимірювань та формує в учнів навички роботи з сучасними засобами інструментального контролю.

Важливе місце у STEM-орієнтованому навчанні займає інженерно-конструкторська складова. Використання засобів 3D-моделювання, проєктування та створення прототипів формує в учнів розуміння того, як фізичні закономірності реалізуються в технічних рішеннях. Застосування середовищ для цифрового моделювання (Tinkercad, Fusion 360, FreeCAD) забезпечує можливість створення точних моделей механізмів, електричних схем та елементів конструкцій. Подальший перехід від цифрового моделювання до збирання робочого прототипу сприяє формуванню технологічних, інженерних та організаційних компетентностей.

Проєктний компонент у STEM-навчанні відіграє роль інтеграційного механізму. Саме проєкти забезпечують міждисциплінарне поєднання фізики з математикою, інформатикою, екологією, технічною творчістю та робототехнікою. Під час виконання проєктів учні навчаються формулювати проблему, добирати необхідні дані, працювати з інформаційними ресурсами, планувати етапи роботи, проводити вимірювання, здійснювати математичну обробку результатів, інтерпретувати похибки та аргументовано захищати власні висновки.

Використання хмарних сервісів є важливою умовою організації командної роботи. Мережеві платформи на кшталт GoogleWorkspace, Padlet, Miro забезпечують можливість одночасної роботи кількох учасників над спільним проєктом, обміну файлами, створення інтерактивних схем, візуалізацій та спільного редагування звітів. Така форма взаємодії наближає освітній процес до умов реальної наукової та інженерної діяльності, що в сучасному суспільстві нерозривно пов'язана з цифровими комунікаціями.

Застосування STEM-підходу в навчанні фізики неможливе без якісно організованих практичних завдань. Прикладом є створення альтернативних джерел електричного струму, моделювання теплових втрат у приміщеннях, розроблення простих радіоприймачів, вимірювання прискорення за допомогою

смартфона або побудова паперових мостів з урахуванням норм навантаження. Такі завдання відображають реальні ситуації, що дозволяє учням бачити зв'язок фізичних законів з актуальними проблемами техніки, енергетики, екології та повсякденного життя.

Методично важливим є те, що всі ці форми діяльності забезпечують формування в учнів навичок XXI століття: уміння працювати з даними, аналізувати, порівнювати моделі, висувати гіпотези, оцінювати ефективність технічних рішень, аргументувати власні пропозиції, презентувати результати досліджень, працювати в команді та знаходити оптимальні шляхи розв'язання проблеми. Реалізація STEM-технологій у процесі вивчення фізики сприяє переходу від репродуктивного засвоєння знань до творчої, дослідницької та інженерної діяльності, що є необхідним для підготовки учнів до технічно орієнтованого сучасного суспільства.

Приклади дають змогу простежити, як інтеграція фізики з математикою, інформатикою, технологіями та екологічними науками забезпечує формування в учнів комплексних практичних умінь (табл. 2.1).

Ці теми дають змогу реалізувати повний цикл дослідницької діяльності від формулювання проблеми до створення інженерного рішення.

Таблиця 2.1.

Приклади STEM-тем для вивчення фізики у старшій школі

Фізична тема	STEM-інтеграція	Орієнтовний продукт / результат
Механіка	Інженерія, математика	Модель мосту з розрахунком навантаження; вимірювання прискорення смартфоном
Закони збереження	Робототехніка, технології	Моделювання «фізичних іграшок», аналіз енергоефективності механізмів
Електродинаміка	Електроніка, Arduino	Побудова альтернативного джерела струму; вимірювання параметрів з допомогою датчиків
Термодинаміка	Екологія, інженерія	Створення моделі теплових втрат будинку; проект «Ефективна теплоізоляція»
Коливання і	Інформатика,	Створення простого радіоприймача;

хвилі	сенсорні технології	цифровий аналіз звукових хвиль
Оптика	ІТ-технології, дизайн	Проект «Смарт-мікроскоп» або дослідження спектрів з допомогою смартфона
МКТ і газові закони	Віртуальні лабораторії	Моделювання ізопроесів у PhET; проєкт «Повітряна турбіна»

Фрагмента уроку із тема: «Визначення прискорення тіла за допомогою цифрових датчиків і смартфона»*

Мотивація. Учитель демонструє відео з рухом автомобіля та ставить проблемне запитання: *«Як точно зафіксувати зміну швидкості за короткі проміжки часу без лабораторного стенда?»*

Дослідницький етап. Учні працюють у групах і використовують:

- мобільні додатки (Phyphox, Accelerometer),
- датчики руху,
- таблиці для фіксації часових проміжків.

Учні записують дані прискорення, будують графік « $a(t)$ », інтерпретують похибки. Кожна група порівнює отримані результати та обґрунтовує розбіжності.

Фрагмент уроку із теми: «Створення моделі альтернативного джерела електричної енергії».

Проблемне питання: *«Яке джерело струму є найбільш ефективним у домашніх умовах?»*

Інженерна частина. Учні:

- досліджують електрохімічні джерела у PhETSimulation;
- проводять власні вимірювання ЕРС;
- порівнюють конструкції «лимонної батарейки», «соляного елемента», «гальванічного елемента з міддю та цинком» (рис. 2.1).

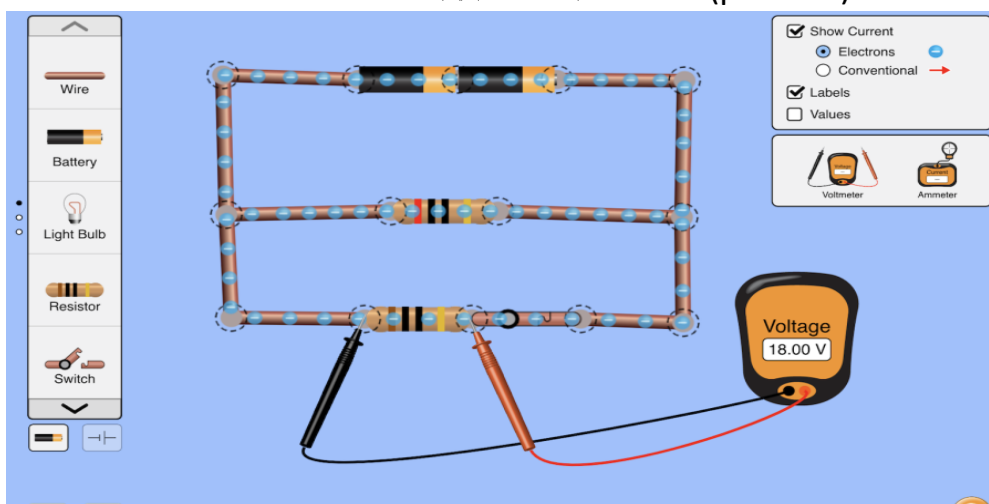


Рис. 2.1. Лабораторія електрики: постійний струм

Практичний продукт: виготовлений прототип джерела енергії + технічний паспорт.

У межах моделювання міжпредметної взаємодії фізики та інформатики було підготовлено серію STEM-орієнтованих уроків для 9, 10 і 11 класів профільного рівня. Як основний інструмент для практичної діяльності обрано апаратно-програмний комплекс Arduino, що дає можливість поєднати вивчення фізичних процесів з основами мікроконтролерної інженерії.

1. STEM-урок «Вібрації, шуми, ультра- та інфразвукові хвилі» (9 клас)

Клас: 9

Рівень: профільне навчання

Тема уроку: Вібрації та шуми. Інфразвукові та ультразвукові хвилі та сфери їхнього застосування

Мета уроку:

- навчальна: формувати в учнів цілісне уявлення про природу звукових хвиль, розкрити фізичні характеристики інфразвуку та ультразвуку; ознайомити учнів із принципом роботи ультразвукового сенсора Arduino та навчити збирати базові вимірювальні схеми;

- розвивальна - сприяти формуванню початкових навичок програмування мікроконтролерів і аналізу експериментальних даних; розвивати здатність до технічної творчості та алгоритмічного мислення;

- виховна - формувати відповідальність під час роботи з технічним обладнанням, акуратність у виконанні вимірювань, уміння працювати послідовно й самостійно.

Дидактичне забезпечення:

1. Засекіна Т. М., Засекін Д. О. *Фізика: підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти з поглибленим вивченням фізики*. Київ: Оріон, 2017. - 272 с.

2. Інші джерела з методики викладання фізики та програмування мікроконтролерів.

Методичне забезпечення. Навчальна програма з фізики, календарно-тематичне планування, методичні рекомендації до теми, інструкційні матеріали щодо роботи з Arduino.

Тип уроку: комбінований

Програмне забезпечення: Arduino IDE

Апаратне забезпечення: ПК, ArduinoUno, USB-кабель, з'єднувальні дроти, ультразвуковий сенсор HC-SR04

Структура уроку (45 хв)

1. Організаційний етап – 1 хв
2. Опрацювання нового матеріалу – 10 хв
3. Практична діяльність – 30 хв
4. Рефлексія – 3 хв
5. Домашнє завдання – 1 хв

Хід уроку

I. Організаційний етап

Учитель вітає клас, оголошує тему й коротко окреслює значущість звукових хвиль у сучасних технологіях від медицини до систем навігації.

II. Вивчення нового матеріалу

1. Природа звукових хвиль

Звукові явища є наслідком розповсюдження механічних коливань у пружних середовищах. Звуком називають повздовжні хвилі з частотами приблизно від 16 до 20 000 Гц, які здатні сприйматися людським слухом.

2. Швидкість звуку

Швидкість поширення звуку залежить від агрегатного стану речовини та її температури: у твердих тілах вона найбільша, в газах найменша.

3. Відбивання хвиль. Ехолокація

На межі двох середовищ виникає часткове відбивання хвилі. Саме цей ефект лежить в основі ехолокації та роботи ультразвукових сенсорів.

4. Інфра- та ультразвукові коливання

- Інфразвук: частота < 16 Гц
- Ультразвук: частота $> 20\ 000$ Гц

Ці коливання широко застосовуються у медицині, навігації, дефектоскопії.

5. Ультразвуковий сенсор HC-SR04

Основні параметри:

- Напруга живлення: 5 В
- Кут розповсюдження хвилі: до 15°
- Робочий діапазон: 2–450 см

На рисунку 2.2 наведено зовнішній вигляд датчика та приклади застосування ультразвуку у техніці.

Принцип роботи сенсора

1. На пін Trig подається короткий імпульс, що активує передавач.
2. Сенсор випромінює пакет ультразвукових хвиль.
3. Приймач фіксує відбитий сигнал та генерує імпульс на пині Echo, тривалість якого пропорційна пройденому відстанню.



Рис. 2.2. а) Вигляд ультразвукового датчика HC-SR04; б) Приклади застосування ультразвуку

III. Практичне завдання

1. Схема підключення

Учні з'єднують елементи відповідно до схеми (рис. 2.3):

- GND → GND
- Vcc → 5V
- Trig → цифровий пін 12
- Echo → цифровий пін 11

Підключення виконується лише при знеструмленому Arduino.

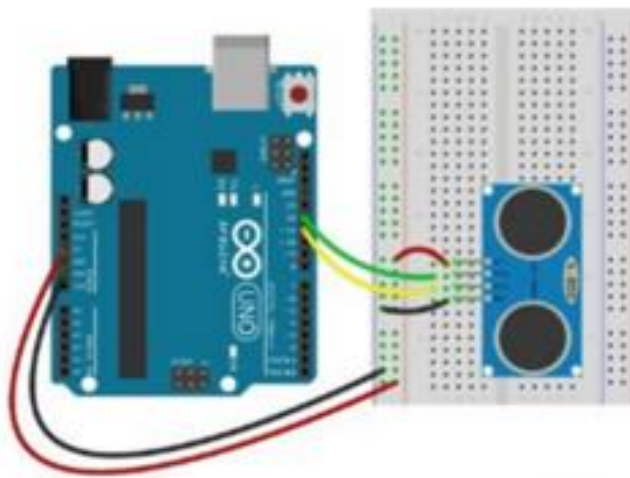


Рис. 2.3. Схема підключення ультразвукового датчика

Додаткові дослідницькі запитання

1. Визначити мінімальну та максимальну дистанцію, яку може фіксувати сенсор.
2. Порівняти відбивання сигналу від гладких, пористих і текстурованих поверхонь.

IV. Рефлексія

Учні відповідають на запитання:

1. Які фізичні процеси лежать в основі роботи ультразвукового датчика?
2. Чому зміна поверхні об'єкта впливає на точність вимірювань?
3. Що нового вони навчилися робити під час роботи з Arduino?

V. Домашнє завдання

Опрацювати параграф № 26; підготувати письмові відповіді на контрольні

запитання та запропонувати власний варіант практичного застосування ультразвукового сенсора.

2. STEM-урок «Механічна хвиля» (10 клас)

Клас: 10

Рівень навчання: профільний

Тема: Механічні хвилі

Урок: 2 із 2

Мета уроку:

- навчальна - формувати в учнів системне уявлення про механічні хвилі, їх природу та основні параметри хвильового процесу; ознайомити учнів з можливостями програмно-апаратного комплексу Arduino у дослідженні хвильових явищ, зокрема з принципами підключення та застосування динаміка як випромінювача механічних коливань;

- розвивальна - розвивати здатність працювати з технічними пристроями, аналізувати фізичні залежності, здійснювати пошук причинно-наслідкових зв'язків; формувати просторове та алгоритмічне мислення;

- виховна - формувати уважність, дисциплінованість під час практичної діяльності, вміння взаємодіяти в групі та відповідально поводитися з електронними компонентами.

Дидактичне забезпечення

1. Засєкіна Т. М., Засєкін Д. О. *Фізика (профільний рівень): підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти*. Київ: Оріон, 2018. 304 с.

2. Методичні рекомендації, програма з фізики, навчально-методичні матеріали з використання Arduino в освітньому процесі.

Тип уроку: комбінований

Програмне забезпечення: Arduino IDE

Апаратне забезпечення: ПК, ArduinoUno, USB-кабель, динамік (п'єзоелектричний або стандартний), резистори, монтажні проводи

Структура уроку (45 хв)

1. Організаційний етап - 1 хв

2. Опрацювання нового матеріалу - 10 хв
3. Практичне завдання - 30 хв
4. Рефлексія - 3 хв
5. Домашнє завдання - 1 хв

Хід уроку

I. Організаційна частина

Привітання учнів та короткий вступ, у якому підкреслюється роль хвильових процесів у техніці, природі та сучасних цифрових технологіях.

II. Пояснення нового навчального матеріалу

1. Поняття механічної хвилі. Механічною хвилею називають процес перенесення коливань у просторі за допомогою пружного середовища. Поширення хвилі не супроводжується перенесенням речовини, відбувається лише передача енергії.

2. Фронт хвилі. Фронтом хвилі називають сукупність точок середовища, у які до певного моменту часу вже дійшло збурення. Розташування фронту дозволяє визначити межі поширення коливань.

3. Швидкість поширення хвилі. Швидкість хвилі характеризує темп переміщення фронту хвилі. Вона залежить від властивостей середовища: густини, пружності, температури (для газів).

4. Довжина хвилі. Довжина хвилі - це відстань, яку проходить хвиля за один період коливань джерела:

$$\lambda = vT, \text{ де}$$

v - швидкість хвилі,

T - період власних коливань джерела.

Рівняння хвильового процесу описує положення точки середовища, що коливається та розташована на відстані l від джерела, у будь-який момент часу t . Якщо джерело створює гармонічні коливання, які задаються виразом $x = X_{\max} \sin(\omega t)$, тоді відхилення цієї точки від стану рівноваги визначається відповідною хвильовою функцією, що враховує просторовий зсув і часову фазу коливання.

$$x = x_{\max} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{vT} \right) \text{ або } x = x_{\max} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right)$$

5. Стоячі хвилі. Стояча хвиля утворюється при накладанні двох когерентних хвиль однакової частоти та амплітуди, що рухаються назустріч одна одній. Характерною рисою є вузли (точки без коливань) та пучності (точки з максимальною амплітудою).

6. Інтерференція. Явище, за якого хвилі можуть підсилювати або послаблювати одна одну залежно від різниці фаз.

7. Дифракція. Відхилення хвилі від прямолінійної траєкторії при проходженні вздовж краю перешкоди або через вузький отвір.

III. Практичне завдання

1. Робота з резисторами

Учням демонструються умовні графічні позначення резисторів:

- прямокутне (європейське);
- ламана лінія (американське).

Також розглядається реальний вигляд резисторів та їхнє кольорове маркування, що дає можливість визначити номінал опору. Наголошено на важливості правильного добору резистора, оскільки невідповідний опір може призвести до пошкодження інших елементів електричної схеми (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Позначення резистора на схемах

Зовнішній вигляд резистора подано на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Зовнішній вигляд резистора

Знання системи кольорового маркування резисторів (див. рис. 2.6) є принципово важливим, оскільки помилка у виборі номіналу опору може спричинити перевантаження та вихід з ладу інших компонентів електричного кола.



Рис. 2.6. Маркування резисторів

2. Підключення динаміка. Учні здійснюють монтаж схеми, у якій динамік керується мікроконтролером через резистор. На рисунку (аналог рис. 2.7) подано зразок схеми підключення.

Учитель пояснює:

- необхідність використання резистора для захисту піну Arduino;
- принцип роботи динаміка як перетворювача електричних сигналів у механічні коливання;
- залежність частоти генерованого звуку від вхідного сигналу.

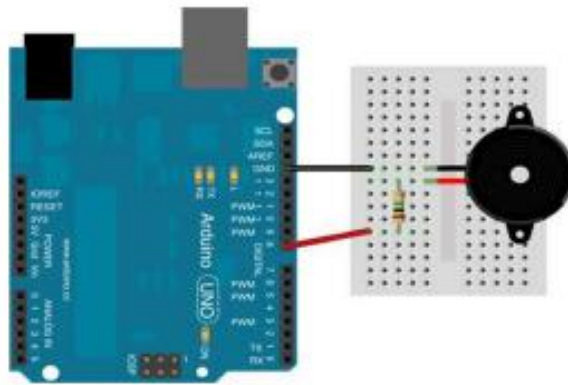


Рис. 2.7. Схема підключення динаміка

3. Приклад роботи з динаміком

Учні завантажують програму, яка дає можливість відтворити серію звукових сигналів різної частоти.

Після цього групи виконують аналіз:

- як впливає значення опору резистора на гучність;
- як змінюється сприйняття звуку при зміні частоти;
- чому динамік здатний відтворювати лише механічні хвилі, але не електромагнітні.

Додаткові дослідницькі завдання

1. Замінити резистор на інший номінал і порівняти зміну гучності. На основі закону Ома визначити мінімальний допустимий опір для забезпечення безпечного рівня струму ($I \leq 40 \text{ mA}$).

2. Реалізувати поєднання звуку та світла: запускати звук одночасно з вмиканням світлодіода.

3. Оцінити, як зміна частоти електричних імпульсів впливає на висоту тону.

IV. Рефлексія

Учні відповідають на запитання:

1. Які фізичні процеси лежать в основі утворення механічних хвиль?
2. Що нового вдалося опанувати під час роботи з Arduino?
3. Як резистор впливає на роботу динаміка?

V. Домашнє завдання. Опрацювати § 26; письмово відповісти на контрольні запитання; підготувати приклад практичного використання механічних хвиль у

техніці або природі (коротке повідомлення).

2.3. Експериментальна перевірка ефективної методичної системи та технологій

Експериментальне дослідження було спрямоване на перевірку результативності впровадження STEM-орієнтованої методики викладання фізики у 10-му класі. Основною метою етапу було визначення того, наскільки застосування інтегрованих технологій, цифрових інструментів, робототехнічних елементів та проєктної діяльності впливає на навчальні результати, пізнавальну активність і сформованість STEM-компетентностей учнів.

До участі в дослідженні було залучено два 10-ті класи закладу загальної середньої освіти.

Експериментальний клас ($n = 25$) – навчання здійснювалося з використанням STEM-технологій: цифрових лабораторій, Arduino-модулів, симуляторів PhET, інтегрованих завдань, проєктних робіт, елементів інженерного мислення.

Контрольний клас ($n = 24$) – навчання проводилося традиційними методами відповідно до чинної програми.

Навчальні групи були співставними за рівнем успішності попереднього семестру, що дозволило забезпечити валідність експериментальних висновків.

Експеримент складався з трьох послідовних етапів:

1. Діагностичний етап

Метою було визначення вихідного рівня: розуміння базових фізичних понять (хвилі, механічні коливання, параметри хвильового руху); уміння застосовувати знання в практичних ситуаціях; навичок роботи з вимірювальними приладами; рівня готовності до проєктної, дослідницької та командної діяльності.

Для цього були використані:

- вхідне тестування (12 завдань різного рівня складності);
- спостереження за роботою в мікрогрупах;
- коротка анкетна діагностика навчальної мотивації.

Результати показали, що різниця між класами не перевищувала 5–7 %, що

засвідчило однорідність вибірки.

2. Формувальний етап

Цей етап охоплював 6 тижнів роботи в межах теми «Хвильові процеси та механічні хвилі». Для експериментальної групи були впроваджені такі дидактичні рішення: STEM-лабораторії; вимірювання швидкості хвилі за допомогою датчика руху; моделювання інтерференції та дифракції у PhET; створення хвильових моделей із використанням Arduino.

Інженерно-проектні завдання: розроблення макета «датчика вібрацій»; побудова моделі хвильового маятника; створення цифрової схеми для генерації синусоїдальних коливань.

Інтегровані міні-проекти: «Як змінюється хвильовий фронт у різних середовищах?» (фізика + інформатика); «Аналіз енергетичної ефективності хвильових систем» (фізика + математика).

Командна діяльність і захист результатів. Учні презентували:

- графіки отриманих залежностей;
- цифрові моделі;
- відеозаписи експериментів.

Контрольний клас працював за типовими інструкціями до лабораторних робіт і розв'язував задачі з підручника.

3. Контрольно-результативний етап. По завершенню формувального етапу було проведено:

- підсумкове тестування;
- виконання практичної роботи «Визначення характеристик хвильового руху»;
- анкетування щодо ставлення до фізики та STEM-активностей.

Результати опрацьовано статистичними методами: визначення середніх значень, відсоткового співвідношення рівнів навчальних досягнень, зіставлення динаміки змін у групах.

Для комплексної оцінки впливу STEM-орієнтованої методики на навчальні результати учнів 10 класу було проаналізовано кілька груп показників: когнітивні

результати, практичні уміння, інженерно-технічні компетентності, мотивація, динаміка роботи в команді та здатність до самооцінювання.

Порівняння результатів вхідного та підсумкового тестування засвідчило суттєву позитивну динаміку в експериментальному класі (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Порівняння середнього балу до та після експерименту

Показник	Експериментальний клас	Контрольний клас
Середній бал (до експерименту)	6,1	6,3
Середній бал (після експерименту)	8,7	7,0
Приріст	+2,6 бала	+0,7 бала

Відповідно до результатів зростання середнього балу в експериментальному класі є у **3,7 рази більшим**, ніж у контрольному. Це свідчить про те, що **практико-орієнтовані методи**, цифрові лабораторії й проєктні завдання значно сприяли глибшому розумінню матеріалу.

Учні експериментального класу виконували вимірювання за допомогою Arduino, датчиків, віртуальних лабораторій PhET та цифрових лінійок.

Оцінювання практичних навичок проводилося за чотирма критеріями:

1. Техніка виконання експерименту
2. Уміння аналізувати похибки
3. Побудова та інтерпретація графіків
4. Застосування формул для розрахунків.

У таблиці 2.3 подано результати опрацювання практичних навичок у контрольному та експериментальному класі.

Таблиця 2.3

Рівень сформованості експериментальних умінь

Рівень	Експериментальний	Контрольний
--------	-------------------	-------------

сформованості	клас	клас
Високий	52 %	21 %
Достатній	36 %	34 %
Середній	12 %	33 %
Низький	0 %	12 %

Понад половини учнів експериментальної групи демонструють високий рівень володіння лабораторними навичками. У контрольному класі високий рівень виявили лише 21 %, а третина працює на рівні репродукції.

Оцінювання STEM-компетентностей охоплювало:

- здатність моделювати процеси;
- використання цифрових інструментів;
- інженерне та алгоритмічне мислення;
- роботу в команді під час проекту;
- усну презентацію результатів.

Кількісний аналіз подано у діаграмі рис. 2.7

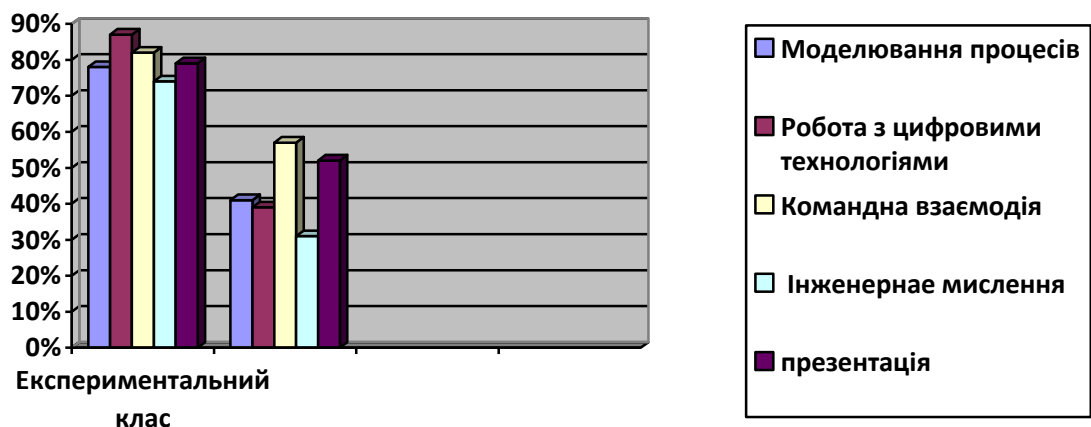


Рис. 2.7. Сформованість STEM-компетентностей

Найбільші розриви спостерігаються у вмінні працювати з технічними системами (Arduino, датчики, симулятори).

Це пояснюється тим, що в контрольному класі учні майже не працювали з цифровим обладнанням. Анкетування після експерименту показало суттєві зміни у ставленні учнів до предмета (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Динаміка навчальної мотивації

Показник	Експериментальний клас	Контрольний клас
«Фізика цікава»	було 36 % → стало 84 %	було 39 % → стало 48 %
«Хочу продовжувати STEM-проекти»	— → 76 %	— → 29 %
«Хочу пов'язати майбутню професію з технікою»	було 18 % → стало 44 %	було 15 % → стало 21 %

Аналізуючи дані таблиці 2.4 зазначимо, що мотивація в експериментальному класі зросла у 2,3 раза.

Учні стали впевненіше обирати технічні спеціальності та виявили інтерес до програмування, інженерії, робототехніки.

Відповідно до результатів експерименту у контрольному класі домінує середній рівень (54 %), у експериментальному класі домінують достатній і високий рівні (68 %).

Отже, якість знань у експериментальній групі - 68 %, у контрольній - 37 %. Це свідчить, що застосування STEM-методів майже подвоює кількість учнів, які глибоко засвоюють матеріал.

Опрацювання даних дозволило зробити такі науково обґрунтовані висновки: STEM-методика суттєво підвищує результативність навчання з теми «Хвильові процеси». Учні демонструють **кращі експериментальні навички**, вміння працювати з технічними засобами, моделювати процеси. Значно зростає **мотивація до технічних дисциплін**, що прямо пов'язано з практичним застосуванням знань. Учні експериментального класу виявили **вищу готовність до інженерної та дослідницької діяльності**. STEM-орієнтоване навчання позитивно впливає на формування компетентностей XXI століття: креативності, критичного мислення, цифрової грамотності, командної взаємодії.

Висновки другого розділу

У розділі 2 було комплексно проаналізовано ключові аспекти упровадження STEM-підходу у шкільний курс фізики, визначено організаційні умови його ефективної реалізації, окреслено методичні інструменти та виконано експериментальну перевірку результативності розробленої системи навчання. Отримані результати дають підстави для формування таких узагальнених висновків.

Встановлено, що STEM-орієнтований урок фізики має іншу логіку та структуру порівняно з традиційним заняттям. Він ґрунтується на проблемно-дослідницькому підході, активному використанні цифрових технологій, конструкторсько-інженерних елементів та міжпредметної інтеграції. Саме така організація уроку забезпечує формування в учнів ключових компетентностей XXI століття: аналітичного мислення, уміння працювати в команді, вирішувати нестандартні задачі, застосовувати знання в практичних ситуаціях.

Проведений аналіз дозволив визначити провідні методичні інструменти STEM-навчання з фізики: цифрові лабораторії, симулятори, робототехнічні платформи, Arduino-компоненти, проєктно-орієнтовані завдання, інтерактивні онлайн-сервіси, технології доповненої віртуальної реальності та моделювання. У розділі було доведено, що застосування таких засобів сприяє підвищенню наочності навчання, розвитку дослідницьких навичок і залученню учнів до активної пізнавальної діяльності.

Експериментальне дослідження, проведене в 10 класах, підтвердило результативність розробленої методичної системи. Учні експериментальної групи, які навчались за STEM-орієнтованою моделлю уроку, продемонстрували істотно вищі показники навчальних досягнень порівняно з учнями контрольного класу.

Частка учнів із високим і достатнім рівнем навчальних досягнень становила 68 % проти 37 % у контрольній групі.

Загальна успішність та якість знань в експериментальній групі були помітно вищими, що підтверджує ефективність дослідницько-проєктного підходу.

Відзначено більшу навчальну мотивацію, інтерес до технічних дисциплін, підвищення рівня самостійності та уміння застосовувати знання в нестандартних ситуаціях.

Результати спостережень засвідчили, що ефективність STEM-підходу значною мірою залежить від організаційних умов: наявності технічного обладнання, доступу до цифрових ресурсів, підготовленості вчителя та можливостей міждисциплінарної взаємодії.

Загалом виконаний аналіз і результати експерименту підтверджують, що STEM-підхід є дієвим засобом модернізації шкільного курсу фізики, який дозволяє поєднати теоретичний зміст предмета з практичними інженерними завданнями та реальними життєвими ситуаціями. Створені методичні розробки уроків, інтегровані проєкти та використані цифрові інструменти можуть бути впроваджені у практику роботи вчителів для підвищення якості фізичної освіти старшокласників.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена розв'язанню складної, багатогранної та різноаспектної проблеми використання STEM-підходу у навчанні фізики у старшій школі, що виступає ключовим елементом у підвищенні якості освітнього процесу в сучасних освітніх умовах. Важливість вирішення даної проблеми підтверджується вимогами національних нормативних документів у галузі фізичної освіти, рівнем теоретичної обґрунтованості, а також реальними результатами у навчанні та формуванні світогляду сучасних школярів у галузі

1. Проаналізовано теоретичні засади STEM-освіти та окреслено її ключові характеристики. У дослідженні розкрито сутність STEM як інноваційної педагогічної концепції, спрямованої на інтеграцію природничих наук, технологій, інженерії та математики. Установлено, що STEM-освіта базується на діяльнісному, проблемно-дослідницькому та конструктивістському підходах. Її ключовими характеристиками є практична спрямованість, міжпредметність, технологічність, орієнтація на реальні життєві задачі та формування компетентностей XXI століття.

2. Висвітлено можливості міжпредметної інтеграції у навчанні фізики на основі STEM-підходу. Доведено, що фізика має надзвичайно високий потенціал інтеграції з математикою, інформатикою, технологіями, хімією, біологією та інженерними дисциплінами. Визначено, що STEM-інтеграція може реалізовуватися через інтегровані уроки, міжпредметні модулі, проєктну діяльність, STEM-лабораторії, цифрові моделювальні середовища, робототехніку та інженерні завдання. Показано, що така інтеграція сприяє глибшому і більш усвідомленому засвоєнню фізичних понять.

3. Обґрунтовано методичні принципи, форми, інструменти та технології впровадження STEM у викладанні фізики. З'ясовано, що ефективна реалізація STEM-навчання базується на принципах інтегративності, науковості, практикоорієнтованості, проєктності, свідомої активності й діяльності. Визначено оптимальні організаційні форми STEM-уроків: дослідницькі заняття,

інженерні майстерні, лабораторні практикуми з цифровим обладнанням, міні-проекти, моделювальні заняття, хакатони та STEM-тижні. Окреслено коло інструментів Arduino, віртуальні лабораторії, датчики, симулятори, 3D-моделювання, цифрові платформи типу PhET, Wordwall, LearningApps, Rebus тощо.

4. Розроблено навчально-методичні матеріали та представлено приклади STEM-орієнтованих фрагментів уроків з фізики. У роботі представлено повноцінні методичні розробки уроків для 9–10 класів з використанням Arduino, ультразвукових датчиків, динаміків та інших цифрових компонентів. Описано структуру уроків, дидактичне забезпечення, діяльнісні етапи, практичні завдання, приклади інтегрованих проєктів та інженерних рішень. На основі створених матеріалів доведено можливість систематичного впровадження STEM-підходу навіть за умов обмежених ресурсів, шляхом використання симуляцій, кейс-методу та цифрових платформ.

5. Висвітлено педагогічні умови, що забезпечують ефективність використання STEM-підходу у старшій школі. До ключових умов віднесено: наявність матеріально-технічної бази (або її цифрових аналогів), підготовленість учителя, міжпредметну координацію, доступ до цифрових ресурсів, використання діяльнісних технологій, організацію колективної роботи учнів. Експериментально підтверджено, що систематичне застосування STEM-завдань підвищує рівень навчальних досягнень, мотивацію, здатність до самостійного дослідження, уміння розв'язувати практичні задачі та працювати в команді.

Отже, застосування STEM-підходу виступає дієвим сучасним інструментом підвищення якості знань, мотивації до вивчення фізики та сформованості ключових компетентностей.

Застосування на уроках фізики пропонованих навчально-методичних матеріалів, на думку автора, значно збагачує методичний арсенал учителя фізики, робить навчання більш осмисленим, сучасним та практично значущим.

Розкриття факту делегування завдань генеративному ШІ

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:

- Оцінювання новизни дослідження та виявлення прогалин
- Вичитування та редагування
- Аналіз упередженості та потенційної дискримінації
- Моніторинг дотримання етичних стандартів

Використаний інструмент генеративного ШІ: ChatGPT-5, Gemini 1.5.

Повну відповідальність за фінальний рукопис несуть автори.

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

Декларацію подав(ла): Зульфія Овчаренко

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Балик Н. Р. та ін. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи» 9–10 листопада 2017, № 1 URL: <https://core.ac.uk/download/222804601.pdf> (дата звернення: 13.11.2025).
2. Бойчук О. Ю. STREAM – освіта як ефективний спосіб формування професійної комунікативної компетентності майбутнього кваліфікованого робітника в закладі професійної (професійно-технічної) освіти. Вінниця, Україна 2019 р.
3. Бургун І. В. Розвиток навчально-пізнавальних компетенцій учнів основної школи в навчанні фізики: монографія. 2014. 528 с.
4. Вітенко, І & Oleksiuk, Olesia & Кучер, Л. (2022). Реалізація концепції STEM-освіти в системі підвищення кваліфікації педагогічних працівників. ScientificNotesofJuniorAcademyofSciencesofUkraine. DOI: 10.51707/2618-0529-2022-25-05. (дата звернення: 13.11.2025).
5. Владика Л. Р., Печерська Т. В. STEM-освіта як напрям модернізації методики навчання фізики / Людина у світі високих технологій : збірник праць XVII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Світоглядне значення наукової картини світу» (23 квітня 2019 р., Київ). Київ, 2019. С. 157- 159.
6. Волкова С. Г., Фонарюк О. В., Кравченко Т. В.. Підвищення професійної кваліфікації педагогічних працівників в умовах модернізації освіти / *Інноваційна педагогіка*. 2021. Випуск 35. С. 168-174.
7. Гончарова Н.О. Підготовка вчителів природничих наук до реалізації ідей STEM-освіти. Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук у контексті вимог Нової української школи : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 14 травня 2020 р., м. Тернопіль. Тернопіль, 2020. С. 95–98.
8. Гончарова Н. О. Понятійно-категоріальний апарат з проблеми дослідження аспектів STEM-освіти. Наукові записки Малої академії наук України. Серія :

Педагогічні науки : зб. наук. праць. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. Вип. 10. С. 104–114.

9. Данчук І. А. Застосування STEM-технологій у процесі навчання фізики в старших класах закладів середньої освіти фізики : кваліфікаційна робота магістра спеціальності 014 "Середня освіта (Фізика)" / наук. керівник Ю. П. Мінаєв. Запоріжжя: ЗНУ, 2021. 74 с.

10. Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти.– URL: [http://mon.gov.ua/content/Освіта/postderzh-stan-\(1\).pdf](http://mon.gov.ua/content/Освіта/postderzh-stan-(1).pdf) (дата звернення 10.11.2025).

11. ДНУ Інститут Модернізації Освіти. STEM-освіта <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/> (дата 17.11.2025)

12. Закон України «Про загальну середню освіту» <https://zakon.rada.gov.ua/go/651-14> (дата 17.11.2025)

13. Закон України «Про освіту» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 38-39, ст.380) {Закон визнано таким, що відповідає Конституції України (є конституційним), згідно з Рішенням Конституційного Суду № 10- р/2019 від 16.07.2019} {Із змінами, внесеними згідно із Законами № 2657-VIII від 18.12.2018, ВВР, 2019, № 5, ст.33 № 2661-VIII від 20.12.2018, ВВР, 2019, № 5, ст.35 № 2704-VIII від 25.04.2019, ВВР, 2019, № 21, ст.81 № 2745-VIII від 06.06.2019, ВВР, 2019, № 30, ст.119}.

14. Засекіна Т.М. Фізика для загальноосвітніх навчальних закладів з поглибленим вивченням фізики: підруч. Для 9 кл. загальноосвіт. Навч. Закладів / Т.М. Засекіна, Д.О. Засекін. К.: УОВЦ «Оріон», 2017. 272 с.

15. Засекіна Т.М. Фізика (профільний рівень): підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. К.: УОВЦ «Оріон», 2018. 304 с.

16. Засекіна Т.М. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. К.: УОВЦ «Оріон», 2019. 304 с.

17. Застосування 3D принтерів в навчальних закладах. Електронний ресурс. URL: <https://dixi.education/using-3d-printers> (дата звернення 15.11.2025).
18. Значення FabLab'ів на базі ВНЗ у STEM та STEAM освіті. STEM та STEAM: науково-практичні тенденції розвитку цифровізації в умовах євроінтеграції : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 4 грудня – 14 січня 2024 року. Львів Торунь: Liha-Pres, 2024. С. 12-15.
19. Іваник. Н., Колток Л. Упровадження STEM-освіти в освітній процес нової української школи. 2020. URL: <https://op.ua/images/common/3/6/0/8/5f82e1dbedd70.pdf> 17.08.2022 (дата звернення: 13.11.2025)
20. Іванченко Н. М. Принципи впровадження та переваги STEM-освіти. URL: <http://timso.koippo.kr.ua/hmura13/ivanchenko-nataliya-mykolajivnapryntsuyuvprovadzhennyata-perevahy-stem-osvity> (дата звернення 15.11.2025).
21. Іванюк Т.Г. STEM як освітній ресурс XXI століття // STEMосвіта та шляхи її впровадження в навчально-виховний процес: збірник матеріалів І регіональної науково-практичної веб-конференції Тернопіль, 24 травня 2017 р.
22. Інноваційний освітній проєкт «STEM-школа». Електронний ресурс. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-shkola/> (дата звернення 12.11.2025).
23. Коваленко О. STEM-освіта: досвід упровадження в країнах ЄС та США / О. Коваленко, О. Сапрунова / *Рідна школа*. 2016/ №4/ с.46-49.
24. Концепція «Нової Української Школи» <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/nova-ukrainskashkola-compressed.pdf> (дата 17.11.2025).
25. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEMосвіти) : розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 р. № 960-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/903-2017-%D1%80#Text> (дата звернення 15.11.2025).

26. Коршунова О. В. К70 STEM-освіта. Професійний розвиток педагога: збірник спецкурсів / О. В. Коршунова, Н. І. Гущина, І. П. Василяшко, О. О. Патрикєєва. К.: Видавничий дім «Освіта», 2018. 80 с.
27. Кузьменко О.С. Організація самостійної роботи з фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі stem-технологій / *Загальна педагогіка та історія педагогіки*. Випуск 33. Т. 2. 2021. С. 67-71.
28. Лимарева Ю.М., Лойко С.О., Іванов С.Ю. Використання елементів Stem-освіти на уроках фізики в старшій школі / *Збірник наукових праць фізико-математичного факультету ДДПУ*. 2023. Вип. 13. С. 167-171.
29. Мартинюк О. Тривимірне прототипування у STEM-навчанні майбутніх учителів природничо-технологічних дисциплін. *Фізика та освітні технології*, 2021. 1, 14–21. DOI: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-1-3> (дата звернення 15.11.2025).
30. Мельник Ю С., Сіпій В. В. Формування предметної компетентності старшокласників у процесі навчання фізики. К: ТОВ « КОНВІ ПРІНТ», 2018. 136 с.
31. Методичні рекомендації щодо викладання фізики та астрономії у 2022/2023 навчальному році URL: <https://drive.google.com/file/d/1rJBf5rICbUN21IlzTUZ6FR4UYuY7OIiw/view> (дата звернення: 11.11.2025)
32. Методичні рекомендації щодо розвитку STEM-освіти в закладах загальної середньої та позашкільної освіти у 2025/2026 навчальному році: лист ІМЗО № 22.1/10- 2876 від 22 серп. 2025 р. URL: https://osvita.ua/legislation/Ser_osv/65463 (дата звернення: 13.11.2025)
33. Можливості використання 3D-друку під час навчання фізики у загальноосвітній та вищій школі. Електронний ресурс. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/123456789/15553/1/Krivtsov.pdf>. (дата звернення: 13.11.2025)
34. Наказ МОН № 1456 від 21.10.13 року Про затвердження Концепції профільного навчання у старшій школі Освіта.ua 21.10.2013 URL: https://osvita.ua/legislation/Ser_osv/37784/ (дата звернення: 11.11.2025).

35. Патрикеева О., Лозова О., Горбенко С. STEM-освіта: умови впровадження у навчальних закладах України / *Управління освітою*. 2017. № 1. С. 28–31
36. Пелагейченко М.Л. Метод проектів. Структура та типологія шкільних проектів./ *Педагогічна майстерня*. 2012. №7 (19). С. 16-25.
37. Поліхун Н. І. Упровадження STEM-освіти в умовах інтеграції формальної і неформальної освіти обдарованих учнів: методичні рекомендації / Н. І. Поліхун, К. Г. Постова, І. А. Сліпухіна, Г. В. Онопченко, О. В. Онопченко: К Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 80 с.
38. Практичні STEAM-кейси з інструментами Edpro URL: <http://c.edpro.ua/m29k214-3-122ab.pdf> (дата звернення 10.11.2025).
39. Про затвердження плану заходів на 2017–2029 роки із запровадження Концепції реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа» :розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.12.2017 р. № 903-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/903-2017-%D1%80#Text> (дата звернення 15.11.2025).
40. План заходів щодо реалізації концепції розвитку STEM-освіти до 2027 року. URL:<https://mon.gov.ua/ua/news/oprilyudneno-plan-zahodiv-shodorealizaciyi-konserciji-rozvitku-stem-osviti-do-2027-roku> (дата звернення 10.11.2025)
41. Поліхун Н І, Постова К. Г., Сліпухіна І. А., Г. В., Онопченко О. В. // Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 80 с.
42. Приклад виконання застосування деяких ігор на уроках фізики. Закони Ньютона («Знайди пару»). URL: <https://wordwall.net/ru/resource/1111370>
Електричні явища (лабіринт). URL: <https://wordwall.net/ru/resource/962755>,
Паралельне з'єднання провідників. URL: <https://wordwall.net/ru/resource/9589834>.
(дата звернення 10.11.2025).
43. Проект концепції STEM - освіти в Україні. URL: http://mkkor.at.ua/STEM/STEM_2017.pdf (дата звернення 10.11.2025).
44. Розвиток педагогічної майстерності майбутнього педагога в умовах освітніх трансформацій: матеріали Всеукраїнської науковопрактичної конференції (2 квітня 2021 р.) / Глухівський НПУ ім. О. Довженка. Глухів, 2021. 216 с.

45. Розвиток STEM-освіти URL:
<https://sites.google.com/site/stemcentr657/rozvitok-stem-osviti> (дата звернення 10.11.2025)
46. Розпорядження про затвердження плану заходів щодо реалізації Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) до 2027 66 року. URL:
<https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-planu-zahodiv-sha131r> (дата звернення 10.11.2025).
47. Савченко І. М. Реалізація ідей STEM-освіти Національним центром «Мала академія наук України» / *Наукові записки Малої академії наук України*. № 7. 2015. С. 148-157.
48. Семерня О. М. Основи методології дієвого навчання майбутніх учителів фізики: монографія // Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. 2012. 376 с.
49. Семерня О.М. Формування методичних компетентностей майбутніх учителів на різних кваліфікаційних рівнях обізнаності з методики навчання фізики // *Фізико-математична освіта : науковий журнал*. 2016. Випуск 1(7). С. 135- 149.
50. Сліпухіна І. А., Чернецький І. С., Меньяйлов С. М. та ін. Сучасний фізичний експеримент у дидактиці STEM орієнтованого навчання / І. А. Сліпухіна, І. С. Чернецький, С. М. Меньяйлов, Ж. О. Рудницька, Матеїк Г. Д. // *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка*. 2016. Вип. 22. С. 325–328.
51. Стрижак О. Є., Сліпухіна І. А., Поліхун Н. І. STEM-освіта: основні дефініції / О. Є. Стрижак, І. А. Сліпухіна, Н. І. Поліхун, І. С. Чернецький // *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2017. Т. 62. № 6. С. 16–33.
52. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. Електронний ресурс.URL:
<http://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/123456789/21883/1/Strutynska.pdf> (дата звернення 15.11.2025).

53. Типові навчальні плани загальноосвітніх навчальних закладів для основної та старшої школи // *Інформ. зб. Міністерства освіти і науки України*. 2004. № 6. С. 3–32.
54. Трушкова Т.С. Використання міжпредметних зв'язків для розвитку пізнавальних інтересів учнів / *Фізика в школах України. Позакласна робота*. 2016. №2. С. 23-28.
55. Туренко В.Е. До питання про сутність і значення інновацій в контексті модернізації сучасної філософської освіти / В.Е. Туренко, Т.В. Соболев, Н.В. Ярмоліцька. // *Молодий вчений*. 2016. № 9 (36), С. 207-211.
56. Фасилітація в STEM-освіті – потужний інструмент розвитку креативної особистості. URL: <https://naurok.com.ua/post/fasilitaciya-v-stemosviti-potuzhniy-instrument-rozvitku-kreativno-osobistosti> (дата звернення: 15.11.2025).
57. Фізика. Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів / навчальні програми для 10-11 класів Локтев В.М. та ін URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva-vm.pdf> (дата звернення: 18.11.2025)
58. Фізика як навчальний предмет загальноосвітньої школи. URL: <https://helpiks.org/4-113239.html> (дата звернення: 03.11.2025).
59. Чирук О. М., Печерська Т. В. Навчальні проекти як спосіб STEMнавчання учнів на уроках фізики / Людина у світі високих технологій : збірник праць XVI Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції, присвяченої 120-річчю «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (19 квітня 2018 р., Київ). Київ, 2018. С. 194-196.
60. Шулікін Д. STEM-освіта. URL: <http://iteach.com.ua/news/mass-media/?pid=2621/> (дата звернення: 12.11.2025)
61. Що таке STEAM-освіта і чому вона така популярна URL: <https://life.pravda.com.ua/columns/2019/03/26/236224/> (дата звернення: 10.11.2025)
62. Як стати дослідником : посіб. для учнів / Н. І. Поліхун. Київ: Інформ. сист, 2010. 224 с.

63. 3D технології в освіті. Електронний ресурс. URL: http://eprints.zu.edu.ua/24846/1/Polishchuk_APSI2017.pdf (дата звернення: 12.11.2025)
64. 5 питань про STEM-освіту: що воно таке і чому змінює долю наших дітей URL: <https://hobbytech.com.ua/5-%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%8C-%D0%BF%D1%80%D0%BE-stem-%D0%BE%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%83/> (дата звернення: 14.11.2025)
65. Canva. URL: https://www.canva.com/ru_ru/ (дата звернення 11.11.2025). 38. Crello. URL: <https://crello.com/uk/> (дата звернення 09.11.2025).
66. Camilli, G., &Hira, R. Introductiontospecialissue—STEM workforce: STEM educationandthepost-scientificsociety. *JournalofScienceEducationandTechnology*, 2019. 28(1), 1–8.
67. Cyberslug [Arduino. Огляд. Коротка інформація.] URL: <http://ra4fjv.org/nachinayushchim/что-такое-arduino-uno-due-istoriya-massimo-banzi> (дата звернення: 11.11.2025).
68. Cyberslug [Переваги і недоліки використання Arduino URL: <http://tim4dev.com/2016/07/arduino-advantages-disadvantages/>. (дата звернення: 11.11.2025)
69. Davydova S. A comparativeanalysisoftheprofessionalcompetenceleveloffutureteachersoffineartoftheZaporizhzhia regionintheconditionsoftheconceptof a NewUkrainianSchool. *EUREKA : SocialandHumanities*, 2019. № 6. P. 43–51. DOI: 10.21303/2504-5571.2019.001078.21 (дата звернення: 11.11.2025)
70. *InternationalJournalof STEM Education* URL: <https://stemeducationjournal.springeropen.com/> (дата звернення: 15.11.2025).
71. EDU_FEST-Dnipro-2021. Номінація «Від STEM-освіти до STEMкар'єри // *Фестиваль педагогічних інноваційних освітан.* URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1BhBlbJATxkfmAx-uu0TWVdJIsSDzNf9t>

72. MariaNorriswhyisstemimportant? TheimpactofstemeducationonsocietyStudyinthe USA., 2022 URL: <https://www.studyusa.com/en/a/2157/why-is-stem-important-the-impact-of-stem-education-on-society> (дата звернення: 17.11.2025).
73. Microsoft: Shortageoftechworkersinthe US becoming «genuinecrisis» // TheHill. 2012. URL: <http://thehill.com/blogs/hilliconvalley/technology/258985-microsoft-lack-of-tech-workers-approaching-genuine-crisis> (дата звернення 10.11.2025).
74. M.Ya. Rudysh, P.A. Shchepansky, G.L. Myronchuk, M. Piasecki, O.S. Martyniuk. Vibrational, thermodynamicandacousticpropertiesof AgAlS₂ crystal. Physica B: CondensedMatter. Volume 654, 1 April 2023, 414731 <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.414731>.
75. STEM – освіта. Специфіка та переваги URL: <https://intboard.ua/pressluzhba/blog/stem-osvta-spetsifika-ta-perevagi/> (дата звернення: 10.11.2025).
76. STEM-освіта: стан впровадження та перспективи розвитку: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (9–10 листопада 2017 року, м. Київ). Київ: ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти», 2017. 160 с. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/10120/1/Barna_Kyiv.pdf (дата звернення 12.11.2025).
77. STEM-education URL: <https://teach.com/what/teachers-know/stem-education> (дата звернення: 16.11.2025).
78. STEM-проект у школі: від ідеї до втілення. URL: <https://naurok.com.ua/prezentaciya-vprovadzhennya-innovaciyno-tehnologij-steamosviti-v-osvitniy-proces-na-urokah-informatiki-za-dopomogou-obladnannyaarduino-raspberry-pi-ta-naboriv-sensoriv-14824.html> (дата звернення: 12.11.2025).
79. STEM-освіта як перспективна форма інноваційної освіти в Україні // Матеріали обласної науково-практичної інтернет-конференції. / Авторупорядник Ю. М. Зоря. Черкаси: ЧОПОПП, 2018. 117 с.
80. TheFiveBenefitsof STEM Education URL: <https://laurelsprings.com/blogs/five-benefits-stem-education> (дата звернення: 17.11.2025).

81. ToontasticbyGoogle 2017. URL: <https://toontastic.withgoogle.com/> (дата звернення 10.11.2025).
82. UniversalJournalofEducationalResearch 6(11): 2404-2412, 2018 <http://www.hrpub.org> DOI: 10.13189/ujer.2018.061102 STEM EducationResearch: ContentAnalysisDevkanKaleci, ÖzgeKorkmazDepartmentofComputerandInstructionTechnology, FacultyofEducation, İnönüUniversity, Turkey
83. Web - STEM - школа - 2020 // Український проєкт «Якість освіти» URL: <http://yakistosviti.com.ua/uk/testuvannia-sertifikat> (дата звернення 12.11.2025).
84. Web-STEM-школа-2021 // Український проєкт «Якість освіти». URL: http://yakistosviti.com.ua/userfiles/pdf/Rezultaty_test_2021lito.pdf. (дата звернення 30.11.2021). 8. STEM-освіта. Інститут модернізації змісту освіти. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/> (дата звернення 12.11.2025).