

Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка

Фізико-математичний факультет

Кафедра математики, фізики та методик їх навчання

Тітова Олена Миколаївна

**ОСОБЛИВОСТІ STEM-НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ
У СТАРШІЙ ШКОЛІ**

Спеціальність: 014 Середня освіта (Математика)

Галузь знань: 01 Освіта/Педагогіка

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра

Науковий керівник:

Шищенко Інна Володимирівна,

доктор педагогічних наук,

доцент, доцент кафедри

математики, фізики та методик їх

навчання

«___» _____ 2025 року

Виконавець:

Тітова Олена Миколаївна

студент групи М-6

«___» _____ 2025 року

Суми 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ STEM- НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ.....	7
1.1. Поняття «STEM-навчання» та «STEM-технологій»	7
1.2. Приклади успішних практик STEM-навчання.....	15
1.3. Проблеми та перспективи впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі.....	20
Висновки до першого розділу	27
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ STEM-НАВЧАННЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ В СТАРШІЙ ШКОЛІ	29
2.1. Аналіз навчальних програм з математики та природничих наук (фізика, хімія, біологія) для 10-11 класів	29
2.2. Шляхи реалізації STEM-навчання на уроках математики у старшій школі.....	36
Висновки до другого розділу.....	67
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

Актуальність дослідження. У сучасному освітньому просторі STEM навчання (Science, Technology, Engineering, Mathematics) посідає ключове місце як стратегічний напрям, спрямований на формування у старшокласників критичного мислення, наукової грамотності, здатності до міждисциплінарного аналізу та практичного застосування знань у реальних життєвих та професійних ситуаціях. Особливістю STEM-навчання у старшій школі є його орієнтація не лише на засвоєння окремих дисциплін, а й на інтеграцію їх змісту в єдину систему знань, яка моделює складність сучасних науково-технічних викликів. Даний підхід передбачає активне залучення учнів старших класів до дослідницької, проектної та проблемної діяльності, що сприяє не лише глибшому розумінню принципів функціонування природничих та технологічних систем, але й вихованню навичок співпраці, комунікації, інноваційного мислення та готовності до неперервного саморозвитку.

Загальновизнано, що акцент в освіті необхідно перенести з виконання рутинних механічних завдань, запам'ятовування інформації для підготовки до різноманітних тестів на формування навичок XXI ст.: ефективної співпраці, творчого розв'язання проблем, ухвалення важливих рішень, керування проектами, визначення та досягнення цілей, рішучості й наполегливості, спрямування своїх талантів і захоплень на покращення світу та інших. У даному контексті STEM-освіта, впровадження якої на державному рівні розпочато у США з програми «Educate to Innovate» з 2009 р., є педагогічною інновацією початку XXI ст. Нині ідеї STEM-підходу в навчанні підтримано багатьма освітніми системами в усьому світі.

Дана наукова проблема знайшла відображення у численних дослідженнях Н. Балик, О. Барна, І. Василяшко, А. Гаращенко, О. Гриб'юк, Ю. Кравченко, Ф. Левченко, О. Пилипенко, Н. Сороко, О. Стрижак, М. Швардак та ін.

Формула Нової української школи містить дев'ять ключових компонентів, які також покладено до цільових орієнтирів STEM-підходу в

навчанні. Так, ядром STEM-навчання є вирішення здобувачами освіти складного питання чи реальної проблеми, розглянути які можна лише в контексті декількох дисциплін. Це, з одного боку, потребує покращення якості й ефективності первинної природничо-наукової освіти, а з іншого – STEM-освіта виходить за межі освітнього закладу, оскільки передбачає встановлення й розвиток партнерських зв'язків між учнями/студентами, учителями, дослідниками, новаторами, фахівцями з виробництв та іншими зацікавленими сторонами.

STEM-навчання у старшій школі спрямоване на інтеграцію дисциплін з науки (Science), технологій (Technology), інженерії (Engineering) та математики (Mathematics) з метою формування міжпредметної компетентності. Воно реалізується через проєктне та дослідницьке навчання, що сприяє розвитку критичного мислення, креативності та навичок вирішення складних реальних проблем. У старшій школі STEM-підхід активно використовує цифрові інструменти, робототехніку, моделювання та програмування, що підготовлює учнів до сучасних викликів у вищій освіті та професійному середовищі. Ефективна реалізація STEM-освіти потребує відповідної матеріально-технічної бази, підготовки педагогічних кадрів та адаптації навчальних програм до сучасних освітніх стандартів.

Отже, актуальність проблеми та потреба в її подальшому вивченні зумовили вибір теми магістерської роботи: *«Особливості STEM-навчання математики у старшій школі»*.

Метою дослідження є виявлення та систематизація особливостей STEM-навчання у старшій школі, а також розробка науково обґрунтованих підходів до його ефективної організації з урахуванням сучасних освітніх реалій та потреб учнів і педагогів.

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

- 1) з'ясувати теоретичні засади дослідження STEM-навчання математики у старшій школі;

- 2) визначити проблеми та перспективи впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі;
- 3) обґрунтувати практичні аспекти реалізації STEM-навчання на уроках математики в старшій школі;
- 4) представити розробки реалізації STEM-навчання на уроках математики у старшій школі.

Об'єкт дослідження – процес навчання математики у старшій школі.

Предмет дослідження – особливості організації, змісту, методів та засобів STEM-навчання математики у старшій школі.

Для досягнення мети магістерської роботи було використано **комплекс методів**:

- *теоретичні*: аналіз наукової, психолого-педагогічної та методичної літератури з проблеми дослідження; вивчення та узагальнення нормативних документів, що регулюють математичну освіту; моделювання методичних підходів до реалізації STEM-навчання на уроках математики;

- *емпіричні*: спостереження за процесом навчання на STEM-заняттях.

Практична значущість дослідження полягає у розробці рекомендацій щодо удосконалення змісту, організації та педагогічного супроводу STEM-навчання математики у старшій школі.

Апробація результатів роботи. Основні теоретичні та практичні результати дослідження висвітлено у двох публікаціях «STEM-освіта – як інтегрований підхід до освітнього процесу в НУШ» (Студентська звітна конференція: матеріали результатів наукових досліджень молодих науковців) та «Принципи реалізації STEM-освіти в НУШ» (Збірник праць студентів фізико-математичного факультету СумДПУ імені А.С. Макаренка).

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, двох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел (всього 55).

У першому розділі представлено теоретичні засади дослідження: розкрито поняття «STEM-навчання» та «STEM-технологій», досліджено

приклади успішних практик STEM-навчання, висвітлено проблеми та перспективи впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі

Другий розділ присвячений методичним особливостям реалізації STEM-навчання на уроках математики в старшій школі. У розділі проведено аналіз навчальних програм з математики та природничих наук (фізика, хімія, біологія) для 10-11 класів з метою виявлення спільних тем для побудови STEM-навчання та висвітлено шляхи реалізації STEM-навчання на уроках математики у старшій школі.

У висновках подано узагальнення теоретичних і методичних результатів дослідження та визначено перспективи подальшої роботи.

Загальний обсяг роботи 77 сторінок друкованого тексту. Список використаних джерел включає 55 одиниць. Текст містить 2 рисунки.

Робота буде корисною студентам педагогічних спеціальностей та вчителям математики закладів загальної середньої освіти.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ STEM-НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ

1.1. Поняття «STEM-навчання» та «STEM-технологій»

Сучасний світ характеризується стрімким розвитком технологій і наукових знань, що ставить перед освітою нові виклики та вимоги. У даному контексті поняття «STEM» набуває особливого значення. STEM-навчання та STEM-технології стали основою для формування нових підходів до освіти, які сприяють розвитку критичного мислення, креативності та практичних навичок школярів. STEM-навчання передбачає інтеграцію предметів у єдину систему, що дозволяє учням бачити зв'язки між різними науковими дисциплінами та застосовувати отримані знання на практиці [44; 45]. STEM-технології, в свою чергу, включають в себе різноманітні інструменти та платформи, які використовуються для реалізації STEM-навчання. Власне це можуть бути як програмні засоби, так і фізичні пристрої, які допомагають учням візуалізувати та реалізувати свої ідеї. Вони стають потужними засобами для стимуляції інтересу до науки та технологій, забезпечуючи здобувачам середньої освіти можливість експериментувати, досліджувати та створювати.

Сучасний тренд «STEM-освіта» представляє собою концепцію інтегрованого навчання учнів, яка охоплює чотири основні дисципліни в міждисциплінарному та практичному контексті. Це власне є надзвичайно важливим явищем для молоді, оскільки забезпечує їй конкурентні переваги в різних сферах діяльності [45]. Важливо розуміти, які професії будуть затребувані в майбутньому. STEM-освіта сприяє підготовці кваліфікованих спеціалістів для високотехнологічних галузей, що, у свою чергу, підвищує науковий потенціал держави. Акронім STEM вказує на популярний напрям в освіті, що об'єднує природничі науки (Science), технології (Technology), інженерію (Engineering) та математику (Mathematics). STEM визначає основні

характеристики дидактичних підходів, які полягають у поєднанні міждисциплінарних практик та орієнтованих методів вивчення природничо-математичних предметів [5; 7]. Крім того, в рамках STEM активно інтегруються і творчі дисципліни, які об'єднуються загальним терміном Arts (що позначає підхід STEM and Arts). Серед актуальних напрямів STEM and Arts можна виділити промисловий дизайн, архітектуру та індустріальну естетику.

Як вже зазначалося, основною метою STEM-освіти є підготовка нових поколінь фахівців, здатних вирішувати складні проблеми, що виникають у глобалізації, технологічних змінах та економічних викликах. STEM-технології передбачають не лише навчання теоретичних основ, але й практичне застосування знань, що є важливим аспектом професійної підготовки. Однією з ключових характеристик STEM-технологій є їхня інтеграція. Традиційно наука, технології, інженерія та математика викладалися як окремі предмети. Однак реальний світ вимагає більш комплексного підходу, де ці дисципліни переплітаються [5]. Наприклад, розробка нового технологічного пристрою вимагає знань з інженерії (для проектування), математики (для моделювання) та науки (для розуміння принципів роботи).

На даному етапі STEM-технології стали не лише важливими, але й необхідними для розвитку економіки. Країни, які інвестують у STEM-освіту, мають конкурентні переваги на світовій арені. В умовах швидкої автоматизації та цифровізації багато професій вимагають навичок, пов'язаних із STEM-дисциплінами. Тому підготовка фахівців у цих галузях стає ключем до успішного розвитку суспільства.

Варто зазначити, що у європейському науковому дискурсі підкреслюється значущість усіх навчальних дисциплін, а також необхідність використання міждисциплінарних підходів, таких як STEAM, які інтегрують природничі науки з іншими предметами, що викладаються у закладах загальної середньої освіти [4]. STEM-освіта являє собою категорію, яка

описує педагогічний процес (технологію) формування і розвитку розумових, пізнавальних та творчих здібностей молоді. Дані здібності є визначальними у процесі навчання і включають в себе вміння та готовність розв'язувати складні задачі, критично мислити, проявляти творчість, мати когнітивну гнучкість, співпрацювати, управляти та реалізовувати інноваційні проєкти.

Основні ключові компетентності, що визначають концепцію «Нової української школи», такі як спілкування державною та іноземними мовами, математична грамотність, знання в природничих науках і технологіях, інформаційно-цифрова грамотність, здатність до навчання протягом життя, соціальні та громадянські компетентності, підприємливість, культурна, екологічна грамотність та здоровий спосіб життя, органічно вписуються в систему STEM-освіти [24]. Запровадження STEM-освіти залежить від креативних педагогів, які здатні зробити дані програми та методи навчання привабливими, використовуючи свої знання та вміння.

Зауважимо, що структура методичної системи навчання визначається трьома основними питаннями: «навіщо навчати?» (цілі), «чого навчати?» (зміст) і «як навчати?» (методи, засоби, форми навчання). Згідно з системним підходом, всі елементи навчального процесу – цілі, зміст, методи та прийоми, засоби та організаційні форми навчання – утворюють єдину цілісну систему, яка має внутрішні зв'язки [44;45]. Власне сукупність компонентів, що відповідають на питання «як навчати?», можна розглядати як підсистему – технології навчання у вузькому сенсі. Структуру з підсистемою «технологія навчання» можна уявити як триєдине ціле, яке включає цільовий, змістовий та технологічний компоненти МСН. Важливими є цільовий та змістовий компоненти. Перехід до компетентнісної моделі навчання та впровадження нових методичних підходів вимагають зміни в цілепокладанні в педагогічному процесі, зосередження уваги на загальнодидактичних аспектах замість вузькопредметних.

Реалізація природничо-математичної освіти (STEM-освіти) здійснюється згідно з такими принципами, як особистісний підхід, що

враховує вікові та індивідуальні особливості учнів, їх інтереси та здібності, а також спеціальні освітні потреби; наступність – забезпечення формування необхідних компетентностей на всіх рівнях освіти; використання технологій розвивального та проблемного навчання; активізація мотивації учнів до науково-дослідницької та проєктної діяльності, а також винахідництва; патріотизм та громадянська спрямованість; спонукання до формування та розвитку «гнучких навичок» (роботи в групі, уміння презентації, комунікації). Один з найважливіших принципів, що забезпечують розвиваюче навчання, – це профільна та рівнева диференціація, а також індивідуалізація навчання [7].

Залучення учнів до STEM-освіти може суттєво впливати на розвиток таких навичок, як співробітництво (для досягнення інноваційних результатів та розв'язання складних завдань, де в команді повинні працювати особи з різним науковим та технічним бекграундом), комунікативність (STEM-навчання створює можливості для спілкування «один на один» і «один-до-багатьох»), творчість (креативні навички можуть покращити науковий і технологічний проєкт, виводячи на поверхню його приховані можливості), а також критичне мислення (здатність осмислити, вдумливо і обґрунтовано проаналізувати та застосувати знання) та ефективне використання інформаційно-комунікаційних технологій [47]. Важливо, щоб методологія STEM-навчання сприяла переходу від традиційного передавання знань від вчителя до учня до самостійного конструювання учнем власної системи знань у процесі навчання, базуючись на дослідницьких підходах. Педагог має виконувати роль «менеджера», створюючи умови для успіху та підтримуючи учнів у пошуку нових знань. На етапі навчання в основній школі впровадження STEM-підходів має закріпити стійкий інтерес учнів до природничо-математичних наук; у старшій профільній школі – сприяти вибору STEM-професії або STEM-профілю вищої освіти; в професійних коледжах – підтвердити вибір обраної професії.

Під час проведення STEM-занять варто дотримуватись кількох ключових рекомендацій. По-перше, слід формулювати практичні завдання,

які мають безпосереднє відношення до реального світу, що оточує учнів. По-друге, кожне заняття повинно включати етап конструювання, який спонукає учасників до експериментування та пошуку рішень практичних задач. Третім важливим аспектом є комунікація: учасники мають можливість обмінюватись знаннями, ділитися враженнями та досвідом під час заняття. Четверте – вдосконалення: кожне заняття слугує продовженням попереднього, і кожне завдання завершується формулюванням нового, яке базується на вже набутих компетенціях учнів [5]. Якщо у дослідженні використовується програмне забезпечення, важливо, щоб учні могли уявити логічний ланцюг творчого процесу його застосування на практиці, який включає: вивчення явища, розробку моделі, вирішення задач за допомогою програмного забезпечення, інтерпретацію отриманих результатів та їх практичне використання.

І. Василяшко визначив ключові вимоги до змісту навчання учнів, які ефективно реалізуються в педагогічних підходах і методах STEM-освіти :

- використання міждисциплінарного підходу, який відповідає всебічній допитливості учнів, їх творчим здібностям та світоглядним запитам, що дозволяє інтегрувати STEM-предмети з соціально-гуманітарними і мистецькими дисциплінами;
- інтеграція тем і проблем у навчанні, що передбачає встановлення внутрішніх зв'язків між змістом одного або кількох предметів;
- високий рівень проблемності навчального матеріалу, який базується на відкритих задачах;
- формування змістових модулів з глобальним характером тем і проблем, які слугують основою для різноманітного навчального матеріалу та мають незалежність від віку і часу;
- гнучкість, що забезпечує можливість адаптації та трансформації змісту [7].

Різнноманітні гаджети, а також відповідні мобільні додатки, повинні стати ефективними інструментами в STEM-освіті для вивчення математики

та розвитку навичок розв'язування математичних задач через практикуми з дослідницькими завданнями. Важливими також є демонстрації експериментів з їх аналізом, що допомагає систематизувати отримані знання, а також участь у навчальних проєктах. Серед засобів STEM-навчання можна виділити пристрої для 3D-моделювання, верстати та обладнання для шиття, програмовані електронні модулі, фото-відео студії, мехатронні системи зі спеціальними витратними матеріалами, комплекти для моделювання та конструювання, тренувальні поля для занять з робототехніки, мультимедійне обладнання, а також різноманітні набори для експериментів [47]. Власне серед найбільш популярних навчальних засобів для реалізації STEM-освіти можна виділити конструктори, робототехнічні системи, моделі, вимірювальні комплекси та датчики, лабораторні прилади, електронні пристрої (такі як 3D-принтери, комп'ютери, цифрові проєктори, проєкційні екрани різних моделей, оверхед-прожектори, копії-дошки, інтерактивні дошки, документ-камери, проєкційні столики та інші). Використання даних засобів дозволяє учням займатися проєктною та дослідницькою діяльністю, реалізувати моделювання різних процесів і явищ тощо.

Форма організації навчального процесу – це власне визначений зразок структурування навчальної діяльності, який передбачає характер взаємодії між педагогом і учнями, групування учнів для занять, типи їх діяльності, а також місце та способи проведення занять. Позашкільну STEM-освіту доцільно реалізовувати через різноманітні гуртки, конкурси, заходи, олімпіади, хакатони тощо, мета яких – заохочення учнів і поглиблення їх знань [5]. Залучення учнів до дослідницько-експериментальної та конструкторської діяльності вимагає впровадження нових форм і методів організації освітнього процесу, таких як STEM-проєкти, хакатони, квести, STEM-екскурсії, музеї науки тощо.

STEM-квест – це перспективна педагогічна технологія, яка включає набір проблемних завдань з елементами рольової гри. Він поєднує в собі мініпроєкт, інтелектуальне змагання, ділову гру та групову роботу. Під час

проведення квесту учасники використовують і розвивають різноманітні знання та навички. Методика проведення STEM-квесту сприяє навчанню розробки плану або проєкту на основі заданих умов, аналізу та використанню матеріалів з різних джерел інформації, проведенню наукових досліджень, формуванню самостійних висновків, обґрунтуванню і відстоюванню своєї точки зору, а також роботі як індивідуально, так і в команді. Освітній хакатон – це формат навчального заняття, під час якого команди вирішують певну тематичну чи соціальну проблему в обмежений час. У ході хакатону команди працюють над створенням, проєктуванням або розробкою плану/рішення, а потім представляють свої результати перед журі. Під час хакатону можна розробити стратегії впровадження онлайн-курсів дистанційного навчання, нові методології профорієнтації чи інші корисні ідеї з освітньою цінністю [4.].

Використання навчальних STEM-проєктів повинно забезпечувати комплекс дослідницьких, пошукових, проблемних і творчих підходів. Залучення до досліджень та винахідництва, організація тематичних тижнів, наукових «пікніків», навчальних практик, реалізація міждисциплінарних проєктів та участь у спеціалізованих гуртках, конкурсах і фестивалях – все це також є прикладами актуальних форм STEM-освіти. Метод проєктів не є строгим алгоритмом, а є моделлю творчого мислення та прийняття рішень. Основна ідея сучасного розуміння методу проєктів полягає в тому, що «все, що я дізнаюся, я знаю, для чого це мені потрібно, де і як я можу використати ці знання».

STEM-проєкт – це спосіб досягнення мети через детальний аналіз проблеми, що завершується реальним практичним результатом. Педагог супроводжує проєкт, заохочуючи учнів до пошукової діяльності, допомагає визначити мету та завдання проєкту, орієнтовні методи дослідження та шляхи знаходження інформації для вирішення навчально-пізнавальних завдань [7]. Учні самостійно або за допомогою вчителя обирають форму презентації та захисту отриманих результатів.

Варто зазначити, що особливою формою наскрізного STEM-навчання є інтегровані уроки або заняття, які націлені на встановлення міжпредметних зв'язків. Це сприяє формуванню в учнів цілісного, системного світогляду та актуалізації особистісного ставлення до тем, що обговорюються на уроці. Інтегровані заняття можуть бути організовані як об'єднання тематики кількох навчальних предметів, так і шляхом створення інтегрованих курсів або спеціальних програм, які поєднують навчальні програми різних курсів/предметів. Проведення інтегрованих уроків математики в поєднанні з іншими навчальними дисциплінами є одним із способів досягнення цілісного сприйняття учнями навколишнього світу, а також розвитку загальнонаукових знань, умінь і навичок [5]. Завдяки інтегрованим урокам математики можна забезпечити комплексне вивчення дисципліни, різнобічний та детальний аналіз об'єктів, а також розв'язання актуальних завдань.

STEM-урок повинен відповідати таким дидактичним вимогам:

- чітке визначення дидактичної, виховної та розвивальної мети уроку, а також мети використання конкретного педагогічного програмного забезпечення і завдань уроку;
- правильний підбір навчального матеріалу, включаючи той, який найкраще можна представити за допомогою обраного програмного засобу;
- вибір найефективніших методичних прийомів і навчальних засобів;
- поєднання колективної, групової та індивідуальної роботи під час уроку;
- реалізація принципів і умов, що сприяють успішному навчанню [44;45].

Таким чином, STEM-освіта визначається як інтегрований підхід до навчання, який поєднує науку, технології, інженерію та математику в єдину навчальну систему. На відміну від традиційного підходу, де кожен предмет вивчається окремо, STEM-навчання акцентує увагу на міждисциплінарності та практичному застосуванні знань. STEM-технології охоплюють широкий спектр інструментів та ресурсів, які використовуються для підтримки

навчального процесу. Це можуть бути як програмні рішення, так і фізичні пристрої, такі як: програмування та робототехніка, 3D-друк; віртуальна та доповнена реальність, онлайн-платформи для навчання тощо.

1.2. Приклади успішних практик STEM-навчання

STEM-освіта сприяє розвитку критичного мислення, креативності учнів, а також вміння працювати в команді. Успішні практики STEM-навчання демонструють, як інтеграція цих дисциплін може підвищити інтерес учнів до навчання, зробити процес більш інтерактивним та захоплюючим. Проєкти, дослідження та практичні заняття, що поєднують теоретичні знання з реальними викликами, дозволяють учням не лише засвоювати інформацію, але й застосовувати її на практиці [28;29]. Проєктне навчання є однією з найефективніших практик в STEM-освіті. Даний метод базується на активній участі учнів у створенні продукту або вирішенні проблеми, що, у свою чергу, сприяє глибшому розумінню предметів, розвитку критичного мислення та практичних навичок. Проєктне навчання має кілька ключових характеристик. По-перше, воно є учнівсько-центрованим, що означає, що учні беруть активну участь у плануванні, виконанні та оцінюванні своїх проєктів. По-друге, проєктне навчання зазвичай орієнтоване на вирішення реальних проблем, що робить навчання більш значущим і актуальним. По-третє, воно інтегрує знання з різних дисциплін, що є важливим аспектом STEM-освіти [44;45].

Однією з основних переваг проєктного навчання є розвиток критичного мислення та навичок співпраці. Учні навчаються працювати в командах, розподіляти обов'язки, слухати один одного та враховувати різні точки зору. Це важливі навички, які необхідні в сучасному світі, де колективна робота є запорукою успіху. Крім того, проєктне навчання сприяє розвитку практичних навичок. Учні не просто вивчають теорію, а реалізують свої знання на

практиці, що підвищує їхню мотивацію та інтерес до навчання. Вони бачать результати своєї роботи, що стимулює їх до подальшого навчання.

Існує безліч прикладів успішного впровадження проєктного навчання в STEM-освіті. Один із них – програма FIRST Robotics, яка залучає учнів до створення роботів та участі в змаганнях. Учасники проєкту вчаться програмуванню, механіці та електроніці, а також розвивають навички командної роботи. Цей проєкт не лише сприяє розвитку технічних навичок, але й формує у молоді інтерес до STEM-дисциплін. Власне іншим прикладом є програма Eco-Schools, яка заохочує учнів досліджувати екологічні проблеми у своїх громадах і реалізовувати проєкти, спрямовані на збереження довкілля. Участь у таких проєктах допомагає учням зрозуміти важливість сталого розвитку та екологічної свідомості. Вони вчаться проводити дослідження, аналізувати дані та розробляти стратегії для вирішення екологічних проблем [47].

Сучасні технології, такі як програмування, робототехніка та 3D-друк, відкривають нові можливості для учнів, надаючи їм практичний досвід, який є важливим для їхнього професійного розвитку. Так, програмування стало основою сучасних технологій. Знання мов програмування, таких як Python, Java або C++, дозволяє учням створювати програмне забезпечення, автоматизувати процеси та вирішувати складні задачі. Так, участь у конкурсах з програмування, таких як Hackathon, допомагає учням розвивати креативність, критичне мислення та здатність працювати в команді. Програмування також сприяє розвитку алгоритмічного мислення, що є важливим для розуміння складних систем [7].

Робототехніка є ще одним важливим аспектом STEM-освіти. Проєкти з робототехніки, такі як створення роботів для виконання певних завдань, дозволяють учням застосовувати знання з математики, фізики та технологій на практиці. Наприклад, участь у змаганнях з робототехніки, таких як FIRST Robotics Competition, сприяє розвитку навичок програмування, інженерного

дизайну та командної роботи. Учні навчаються проєктувати, будувати та програмувати роботів, що стимулює їхній інтерес до науки і техніки.

3D-друк відкриває нові можливості для навчання в STEM-сфері, дозволяючи учням створювати прототипи своїх ідей. Використання 3D-принтерів у навчальному процесі допомагає учням вивчати основи дизайну, інженерії та виробництва. Так, вони можуть розробити та надрукувати деталі для своїх проєктів, що дає їм можливість втілити свої ідеї в реальність.

Власне однією з найперспективніших практик у STEM-освіті є інтеграція різних дисциплін, зокрема поєднання математики, фізики та мистецтва. Це дозволяє учням не лише поглибити свої знання, але й розвинути креативні здібності [4]. Інтеграція STEM-дисциплін має на меті створення єдиного навчального середовища, де учні можуть застосовувати знання з різних предметів для вирішення реальних проблем. Наприклад, під час створення проєктів, що поєднують математику, фізику та мистецтво, учні можуть досліджувати, як фізичні принципи впливають на художні твори, або ж використовувати математичні моделі для створення візуально привабливих графіків та інсталяцій. Одним із яскравих прикладів інтеграції STEM-дисциплін є проєкт «Анімація за допомогою математики». Учні можуть створювати анімаційні фільми, використовуючи математичні концепції, такі як геометричні трансформації, симетрія та фрактали. Так, під час створення анімації, що ілюструє рух об'єктів, учні використовують знання з фізики про силу, швидкість і прискорення, а також математичні формули для розрахунку траєкторій. У результаті, вони не лише вчаться застосовувати математику в практиці, але й розвивають свої творчі здібності. Ще одним прикладом інтеграції STEM-дисциплін є проєкт, що досліджує архітектурні конструкції. Учні можуть вивчати, як фізичні принципи, такі як статичне і динамічне навантаження, впливають на дизайн будівель. Вони можуть створити моделі різних архітектурних споруд, застосовуючи знання з математики для розрахунків площі, об'єму та інших характеристик. Під час цього процесу

учні вивчають також естетичні аспекти дизайну, що дозволяє їм поєднати науковий підхід з креативністю [5].

Як вже зазначалося, одним із найважливіших напрямків сучасної освіти є STEM-навчання, яке об'єднує науки, технології, інженерію та математику. У даному контексті співпраця між закладами загальної середньої освіти та ЗВО може стати потужним механізмом, що сприяє ефективному впровадженню STEM-підходів у навчальний процес. Співпраця між даними освітніми установами може реалізовуватися на різних рівнях: від спільних проєктів до обміну ресурсами та педагогічними практиками. Дана взаємодія має кілька ключових переваг:

- обмін знаннями та досвідом. ЗВО мають доступ до новітніх досліджень та технологій, що можуть бути інтегровані в навчальний процес шкіл. Викладачі університетів можуть проводити лекції, семінари або практичні заняття для учнів, що дозволяє перенести теоретичні знання у практичну площину;
- розвиток мотивації. Для учнів важливо бачити застосування своїх знань на практиці. Спільні проєкти, в яких беруть участь студенти університетів та учні, можуть стати потужним мотиватором для молоді, спонукаючи їх до глибшого вивчення STEM-дисциплін;
- інноваційні підходи до навчання. Співпраця дозволяє впроваджувати нові методики та технології, такі як проєктне навчання, проблемно-орієнтоване навчання та інші активні форми навчання, які сприяють більш глибокому засвоєнню матеріалу [28].

Прикладом успішної співпраці між ЗЗСО та ЗВО є програми «STEM-літні табори», де учні працюють над реальними проєктами під керівництвом викладачів університетів. Такі табори не лише розвивають навички, а й допомагають учням визначитися з майбутньою професією. Іншим прикладом є програми дуальної освіти, що реалізуються в ряді країн. У рамках таких програм учні отримують можливість проходити стажування в університетах,

де вони можуть працювати над науковими проєктами або дослідницькими роботами, що дозволяє їм на практиці використовувати отримані знання.

Незважаючи на численні переваги, співпраця між ЗЗСО та ЗВО стикається з певними викликами. Це може бути недостатня фінансова підтримка, відсутність чітких механізмів взаємодії або нерозуміння значення STEM-освіти серед педагогів [44; 45]. Проте, вирішення цих проблем може призвести до значного покращення якості освіти. У перспективі можна очікувати, що співпраця між ЗЗСО та ЗВО стане більш структурованою та систематизованою.

Перспективи подальших досліджень можуть бути пов'язані з розвідками впливу різних підходів до STEM-навчання на успішність учнів, зокрема порівняння традиційних та інноваційних методів; аналізом того, як STEM-освіта впливає на вибір кар'єри та підготовку до професій у технологічних і наукових сферах; дослідженнями, як інтеграція STEM у навчальний процес може сприяти розвитку цих навичок в учнів; дослідженнями впливу нових технологій, таких як віртуальна реальність, на залучення учнів до STEM-навчання; порівняльним аналізом STEM-освіти в різних країнах для виявлення кращих практик та можливостей для адаптації у власних освітніх системах.

Отже, однією з найуспішніших практик у STEM-освіті є проєктне навчання, яке передбачає активну участь учнів у вирішенні реальних проблем через створення проєктів. Даний підхід не лише розвиває технічні навички, але й сприяє розвитку командної роботи, управлінських навичок та креативності. Учні навчаються планувати, аналізувати та оцінювати результати своєї роботи, що є важливими навичками у будь-якій професії. Власне ще однією успішною практикою є інтеграція різних дисциплін у процесі навчання. Цей підхід дозволяє учням бачити зв'язок між різними науковими дисциплінами та їх практичним застосуванням у житті, що підвищує мотивацію до навчання. Сучасні технології також відіграють важливу роль у STEM-навчанні. Використання віртуальної та доповненої

реальності, симуляцій та онлайн-платформ для навчання дозволяє учням отримувати нові знання у захоплюючій формі. Даний підхід не лише робить навчання більш доступним, але й сприяє розвитку самостійності та відповідальності учнів.

1.3. Проблеми та перспективи впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі

Впровадження STEM-технологій у навчальний процес, зокрема на уроках математики в старшій школі, є важливим етапом у підготовці учнів до викликів сучасного світу, де критичне мислення, творчість та вміння працювати в команді стають основними навичками. Проте, незважаючи на очевидні переваги, процес впровадження STEM-технологій у навчання математики стикається з низкою проблем. Це можуть бути як організаційні труднощі, так і недостатня підготовка вчителів, брак необхідних ресурсів, а також нерозуміння важливості інтеграції STEM-дисциплін. У даному параграфі буде розглянуто основні проблеми, з якими стикаються освітні установи під час впровадження STEM-технологій, а також перспективи, які відкриває цей підхід для розвитку математичних компетенцій учнів, формування їхньої готовності до майбутньої професійної діяльності та інтеграції в сучасне суспільство.

Варто зазначити, що впровадження STEM-підходів вимагає від педагогів нових знань і навичок. Традиційні методи викладання математики в старшій школі часто не відповідають вимогам сучасності. Вчителі повинні не лише володіти глибокими знаннями з математики, а й уміти інтегрувати ці знання з науковими та технічними дисциплінами. Крім того, педагоги потребують навичок роботи з новітніми технологіями, такими як програмування, робототехніка, 3D-моделювання тощо. На жаль, система підготовки вчителів часто не забезпечує необхідного рівня компетентності в цих сферах, що ускладнює впровадження STEM-підходів [1;2].

Відсутність підготовлених кадрів призводить до нерівномірного впровадження STEM-технологій. У ЗЗСО, де вчителі мають більший досвід і знання в цій галузі, учні отримують можливість більш глибоко зануритися в STEM-дисципліни. Натомість ЗЗСО, які не можуть залучити кваліфікованих фахівців, доводиться обмежуватися традиційними методами навчання, що призводить до відставання учнів у порівнянні з їхніми однолітками. Крім того, проблема відсутності підготовлених кадрів має негативні наслідки для мотивації учнів. Учні, які не отримують якісну освіту в STEM-дисциплінах, можуть втратити інтерес до математики.

Обмеженість матеріально-технічного забезпечення. Так, для успішного впровадження STEM-технологій в навчальний процес на уроках математики в старшій школі, необхідні відповідні ресурси. На жаль, в багатьох навчальних закладах, особливо в сільській місцевості, існує серйозна недостача матеріально-технічного забезпечення. Це може бути пов'язано з кількома факторами: недостатнє фінансування, застаріла техніка, брак сучасних навчальних матеріалів та відсутність доступу до Інтернету [12]. Відсутність належної технічної бази обмежує можливості педагогів у реалізації інтерактивних методів навчання, які є важливими для STEM-освіти. Наприклад, використання комп'ютерних програм для моделювання математичних задач або проведення експериментів на уроках математики в старшій школі вимагає наявності відповідного обладнання. Без цього учні можуть залишатися в рамках традиційного навчання, що не відповідає сучасним вимогам. Крім того, обмеженість матеріально-технічного забезпечення впливає на мотивацію учнів. Якщо навчання не відповідає їхнім очікуванням, учні старших класів можуть втратити інтерес до предмета, що, в свою чергу, знижує ефективність навчального процесу [46].

Мотивація є ключовим чинником, що впливає на успішність навчання. У старшій школі багато учнів втрачають інтерес до математики через її абстрактність, відсутність зв'язку з реальним життям та невідповідність навчальної програми їхнім інтересам. Мотивація може бути зовнішньою

(оцінки, нагороди) і внутрішньою (внутрішнє бажання вчитися, цікавість). Зростаючий рівень складності навчального матеріалу може призводити до зниження самооцінки учнів і, як наслідок, до зменшення їхньої мотивації. STEM-освіта пропонує інтеграцію науки, технології, інженерії та математики, що дозволяє учням бачити практичне застосування математичних знань. Використання проєктного навчання, інтерактивних технологій, робототехніки та інших інноваційних методів на уроках математики в старшій школі може суттєво підвищити зацікавленість учнів. Наприклад, проведення експериментів, розробка власних проєктів або участь у конкурсах з робототехніки можуть допомогти учням усвідомити, як математика використовується в реальному житті.

Методичні рекомендації є важливими інструментами для педагогів, оскільки вони забезпечують структуру та послідовність у викладанні матеріалу. У випадку STEM-освіти, яка передбачає інтеграцію різних предметів, недостатня кількість конкретних методичних порад може призвести до нерівномірного впровадження цих технологій у навчальний процес [8]. Відсутність методичних рекомендацій може привести до хаотичного та неефективного викладання. Без чітких вказівок вчителі можуть покладатися на власний досвід і інтуїцію, що часто призводить до непослідовності в навчальному процесі. Це може стати причиною того, що учні не отримують систематизованих знань, які необхідні для усвідомленого розуміння математичних концепцій у контексті STEM. Більш того, відсутність методичних рекомендацій може ускладнити інтеграцію міжпредметних зв'язків, які є основою STEM-освіти [35]. Наприклад, вчитель математики може не знати, як ефективно поєднати математику з наукою або технологією, що обмежує можливості учнів у розвитку критичного мислення та творчості на уроках математики в старшій школі.

Зауважимо, що в умовах війни з росією впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі постає як одна з нагальних потреб, але також і як значна проблема, що потребує комплексного

вирішення. По-перше, війна призвела до руйнування інфраструктури та зниження фінансування освітніх установ. Багато ЗЗСО, особливо в зонах бойових дій, зазнали значних втрат: від знищення будівель до втрати навчальних матеріалів. Це ускладнює впровадження сучасних технологій, які потребують відповідних умов для навчання. По-друге, стрес і психологічні травми, викликані війною, негативно впливають на учнів і вчителів. Дослідження показують, що емоційний стан учнів може суттєво впливати на їхню мотивацію до навчання, а також на здатність сприймати нові технології. У такій атмосфері впровадження нових методик, зокрема STEM, може зустрічати опір як з боку учнів, так і з боку педагогів [15]. По-третє, нестача кваліфікованих кадрів є ще однією перепорою. Війна спричинила міграцію фахівців, а також призвела до скорочення програм підготовки вчителів з використання сучасних технологій. Це призводить до того, що вчителі математики не завжди мають достатні знання та навички для ефективного впровадження STEM-методик.

Незважаючи на глобальні виклики, які постають перед системою освіти в Україні, війна також може стати каталізатором змін. Потреба в адаптації до нових умов вимагає перегляду традиційних методів навчання. STEM-освіта, яка акцентує увагу на практичних навичках і критичному мисленні, може стати відповіддю на ці виклики. Впровадження STEM-технологій в уроки математики може допомогти учням розвивати логічне мислення, аналітичні здібності та креативність, що є надзвичайно важливими в умовах швидко змінюваного світу. Залучення проектної діяльності, роботи в команді та використання сучасних технологій може мотивувати учнів до навчання, навіть у складних умовах [1; 2].

Розробка чітких і доступних методичних рекомендацій є важливим кроком для успішного впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі. Це дозволить вчителям отримати необхідні інструменти для створення інтегративних уроків, які б сприяли розумінню учнями зв'язків між різними науковими дисциплінами. Методичні

рекомендації повинні містити приклади уроків, завдання, які стимулюють критичне мислення, а також поради щодо використання сучасних технологій. Крім того, важливо залучати педагогів до процесу розробки даних рекомендацій, адже вони мають безпосередній досвід роботи з учнями і можуть поділитися своїми спостереженнями та потребами. Співпраця між педагогами, методистами та науковцями може призвести до створення більш ефективних інструментів, які враховують різноманітність учнівських потреб на уроках математики в старшій школі [8].

Інноваційні підходи до навчання є ключовими для ефективної реалізації STEM-технологій у викладанні математики в старшій школі. По-перше, важливим аспектом впровадження STEM-технологій є інтеграція знань з різних предметів. Математика, як фундаментальна наука, відіграє ключову роль у STEM-освіті. Використання міждисциплінарного підходу дозволяє учням зрозуміти, як математичні концепції застосовуються в реальних ситуаціях, наприклад, у фізиці, біології тощо. Це сприяє розвитку критичного мислення та здатності до аналізу, що є невід'ємними складовими сучасної освіти [18].

По-друге, інноваційні методи навчання, такі як проєктне навчання, проблемно-орієнтоване навчання та використання цифрових технологій, створюють умови для активної участі учнів у процесі навчання. Проєктне навчання стимулює учнів до дослідження та вирішення комплексних задач, що відповідають реальному життю. Так, учні можуть розробити проєкт, у якому вони використовують математичні моделі для аналізу екологічних проблем, таких як забруднення повітря чи зміна клімату. Це не лише покращує їх математичні навички, але й формує відповідальність за навколишнє середовище. Крім того, інтеграція цифрових технологій, таких як програмування, комп'ютерне моделювання та використання онлайн-інструментів, відкриває нові можливості для викладання математики у старшій школі. Учні можуть використовувати програмування для створення алгоритмів, які розв'язують математичні задачі, що допомагає їм зрозуміти

абстрактні поняття на практиці [46]. Так, учні можуть вивчати статистику, аналізуючи великі обсяги даних за допомогою програмних засобів, що робить процес навчання більш цікавим.

Критичне мислення визначається як здатність аналізувати, оцінювати та синтезувати інформацію з метою прийняття обґрунтованих рішень. У свою чергу, творчі навички передбачають генерування нових ідей та рішень, що є важливими для інноваційного розвитку особистості. Обидва ці аспекти є ключовими для успішної адаптації до швидко змінюваного світу, де традиційні підходи до навчання часто виявляються недостатніми. STEM-освіта спрямована на інтеграцію науки, технологій, інженерії та математики в навчальний процес, що дозволяє створити більш цілісний підхід до вивчення предметів. Уроки математики у старшій школі, що реалізують STEM-концепцію, можуть включати використання сучасних технологій, таких як комп'ютерні моделювання, робототехніка та інші інтерактивні інструменти [28]. Дані технології не лише підвищують мотивацію учнів, але й створюють можливості для розвитку критичного мислення та творчих здібностей.

Впровадження STEM-технологій на уроках математики у старшій школі може сприяти розвитку критичного мислення через:

- проблемно-орієнтоване навчання. Постановка учням реальних задач, які потребують аналізу та оцінки ситуацій, сприяє розвитку їхньої здатності мислити критично. Наприклад, розв'язання кейсів з використанням математичних моделей допомагає учням вчитися оцінювати різні варіанти рішень;
- співпраця та командна робота. Проекти в команді, що вимагають спільного розв'язання математичних задач, заохочують учнів ділитися думками, слухати одне одного та аргументувати свої рішення, що зміцнює їхнє критичне мислення;
- зворотний зв'язок та самоаналіз [15]. Використання цифрових платформ для надання зворотного зв'язку дозволяє учням старших класів

аналізувати свої помилки та шукати шляхи їх усунення, що є важливим елементом критичного мислення.

Творчі навички учнів старших класів на уроках математики можна розвивати за допомогою STEM-технологій завдяки: інноваційним проектам. Заохочення учнів до створення власних проектів, які вимагають креативного підходу до використання математичних знань, сприяє розвитку їхньої творчості; експериментальному навчанні. Використання фізичних моделей або віртуальних середовищ для проведення експериментів дозволяє учням старших класів візуалізувати математичні концепції, що може стимулювати їхню креативність; інтеграції з іншими предметами [8]. Залучення елементів науки, технологій та інженерії на уроках математики в старшій школі не лише робить навчання більш захопливим, але й відкриває нові можливості для творчого мислення.

Таким чином, актуальною проблемою впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі є недостатня підготовка вчителів до використання STEM-технологій. Значна кількість педагогів не мають належних знань та навичок для інтеграції сучасних технологій у процес навчання. Це може призвести до нерегулярного або неефективного використання технологій, що, в свою чергу, знижує якість освіти. Багато шкільних програм не враховують інтеграцію STEM-технологій у навчальний процес. Існуючі навчальні плани можуть бути занадто застарілими або не відповідати сучасним вимогам, що ускладнює впровадження нових підходів у викладання математики в старшій школі.

Попри існуючі проблеми, перспективи впровадження STEM-технологій у викладання математики в старшій школі виглядають досить обнадійливо. Так, використання сучасних технологій може суттєво підвищити інтерес учнів до математики. Інтерактивні платформи, симуляції, програмування, проекти на основі реальних проблем – все це робить навчання більш захоплюючим і актуальним. STEM-підходи сприяють розвитку критичного

мислення, аналітичних навичок та вміння учнів старших класів працювати в команді.

Висновки до першого розділу

Впровадження STEM-навчання та STEM-технологій у сучасну освітню практику, зокрема на уроках математики в старшій школі, є стратегічно важливим кроком у підготовці учнів до викликів цифрової, інноваційної та глобалізованої реальності. Інтеграція науки, технологій, інженерії та математики дозволяє формувати цілісне розуміння світу, сприяючи розвитку критичного мислення, креативності, когнітивної гнучкості та здатності вирішувати складні, міждисциплінарні задачі. Ключовими чинниками ефективності STEM-освіти є проєктне та проблемно-орієнтоване навчання, використання сучасних цифрових інструментів, а також активна роль педагога як фасилітатора пізнавального процесу.

Разом із тим, реалізація STEM-підходів стикається з істотними бар'єрами: недостатньою професійною підготовкою вчителів, обмеженим матеріально-технічним забезпеченням, відсутністю уніфікованих методичних рекомендацій та зниженням мотивації учнів через абстрактність традиційного викладання математики. Особливо гостро дані проблеми проявляються в умовах воєнного часу, коли руйнується інфраструктура, зростає психологічне навантаження та погіршується доступ до ресурсів. Однак саме кризові реалії підкреслюють актуальність STEM-освіти як механізму формування стійкості, адаптивності та інноваційного потенціалу молодого покоління.

Перспективи подальшого розвитку пов'язані зі створенням системи підвищення кваліфікації педагогів, розробкою гнучких та практико-орієнтованих навчальних модулів, активізацією співпраці між ЗЗСО, ЗВО, а також цифровізацією освітнього середовища. Особливу роль має відігравати інтеграція мистецтва (STEAM), яка допомагає збалансувати технічний та

гуманітарний виміри освіти, роблячи її більш особистісно орієнтованою та ціннісно насиченою.

fizmat@sspu.edu.ua
суворо дотримуйтесь
правил академічної
добросовісності

РОЗДІЛ 2

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ STEM-НАВЧАННЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ В СТАРШІЙ ШКОЛІ

2.1. Аналіз навчальних програм з математики та природничих наук (фізика, хімія, біологія) для 10-11 класів

У сучасному світі інтегроване навчання природничо-математичних дисциплін стає не просто бажаним, а й необхідним. STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics) – це підхід, який поєднує навчання природничих наук, технологій, інженерії та математики через міждисциплінарні проекти, практичні завдання та реальні проблеми, що дозволяє учням розуміти зв'язки між різними галузями знань, розвивати критичне мислення, творчість, навички розв'язання проблем та командної роботи [4]. У даному контексті аналіз чинних навчальних програм з математики, фізики, хімії та біології для старшої школи (10–11 класи) дає змогу виявити потенційні тематичні перетини, які можуть стати основою для створення інтегрованих STEM-модулів, що забезпечують більш глибоке розуміння матеріалу та підвищують мотивацію учнів.

На даному етапі в Україні діють чинні навчальні програми для 10–11 класів, затверджені Міністерством освіти і науки України, які реалізуються згідно з Державним стандартом повної загальної середньої освіти. Дані програми побудовані на компетентнісному підході, орієнтовані на розвиток ключових та предметних компетентностей, передбачають диференціацію навчання (рівень стандарту, академічний рівень, профільний рівень), що дає можливість адаптувати зміст освіти до індивідуальних нахилів та професійних планів учнів. Особливо важливим є те, що учні старших класів мають змогу обирати профільні курси, що створює передумови для більш глибокого вивчення предметів і, відповідно, для їх інтеграції в межах STEM-підходу. У 10–11 класах вивчаються наступні предмети: математика (алгебра

і початки аналізу, геометрія), фізика, хімія, біологія – кожен із яких має власну логіку побудови змісту, але при цьому містить багато спільних концепцій, понять, методів дослідження та математичних інструментів, які можуть бути використані для створення інтегрованих навчальних досвідів.

Розглянемо спочатку навчальну програму з математики для 10–11 класів. Математика в цих класах вивчається як єдиний предмет, але з розподілом на алгебру і початки аналізу та геометрію. У 10 класі в рамках алгебри і початків аналізу учні вивчають степеневі функції, корені n -го степеня, степені з раціональним показником, показникові та логарифмічні функції, тригонометричні функції, похідну та її застосування. У геометрії розглядаються стереометрія – взаємне розміщення прямих і площин у просторі, многогранники, тіла обертання, координати і вектори у просторі [18]. У 11 класі продовжується вивчення інтегралів, елементів комбінаторики, теорії ймовірностей і математичної статистики. Особливу увагу приділено моделюванню реальних процесів за допомогою функцій, рівнянь, нерівностей, похідних та інтегралів. Математика виступає як універсальний інструментарій для опису природних явищ, що робить її основою для інтеграції з природничими науками. Наприклад, поняття похідної використовується у фізиці для визначення швидкості та прискорення, інтеграл – для обчислення роботи, шляху, заряду, а функціональні залежності – для моделювання хімічних реакцій, біологічних процесів.

Перейдемо до аналізу навчальної програми з фізики. У 10 класі учні вивчають механіку (кінематику, динаміку, закони збереження), молекулярну фізику та термодинаміку. У 11 класі – електродинаміку (електростатику, постійний струм, магнітне поле, електромагнітну індукцію), коливання та хвилі, оптику, основи теорії відносності та квантової фізики. Фізика характеризується високим рівнем математизації: майже кожен розділ базується на використанні математичних моделей, графіків, рівнянь, векторних величин, похідних та інтегралів. Так, при вивченні рівномірного та

рівноприскореного руху активно використовуються лінійні та квадратичні функції, графіки яких аналізуються в курсі алгебри. У темі «Механічні коливання» використовуються тригонометричні функції, що вивчаються в 10 класі. При вивченні електричних кіл застосовуються рівняння, системи рівнянь, закони Ома, які потребують навичок розв'язування алгебраїчних задач. У розділі «Термодинаміка» розглядаються графіки процесів у координатах (p,V) , (V,T) , (p,T) , що вимагає розуміння функціональних залежностей.

У навчальній програмі з хімії для 10–11 класів передбачено вивчення органічної хімії (вуглеводні, кисневмісні, азотовмісні сполуки, високомолекулярні сполуки) у 10 класі та неорганічної хімії (періодичний закон, будова атома, хімічний зв'язок, окисно-відновні реакції, електроліз, корозія металів) у 11 класі. Хоча хімія менш математизована, ніж фізика, вона також містить багато тем, що можуть бути інтегровані з математикою та іншими науками. Наприклад, розрахунки за хімічними рівняннями (стехіометрія) потребують вміння працювати з пропорціями, відсотками, рівняннями, одиницями вимірювання. При вивченні швидкості хімічних реакцій використовуються поняття похідної (швидкість реакції – це похідна концентрації за часом), що безпосередньо пов'язує хімію з математичним аналізом. У темі «Розчини» використовуються відсоткові розрахунки, концентрації, графіки розчинності. У 11 класі при вивченні електролізу застосовуються закони Фарадея, які мають математичну формулу та вимагають обчислень. Крім того, хімія тісно пов'язана з біологією (біохімічні процеси, метаболізм, ферменти, ДНК), що відкриває можливості для інтеграції з біологією у межах STEM-проектів, присвячених біотехнологіям, лікарським засобам, харчуванню тощо.

Варто зазначити, що біологія в 10–11 класах вивчається як профільний предмет і охоплює такі теми: рівні організації живої матерії, клітина як основа життя, обмін речовин і перетворення енергії, розмноження та розвиток організмів, генетика, селекція, еволюція, екологія, людина та її

здоров'я. Біологія характеризується великим обсягом описового матеріалу, але також містить багато кількісних аспектів, які можуть бути пов'язані з математикою та іншими науками. Наприклад, при вивченні генетики використовуються закони Менделя, які базуються на комбінаториці, ймовірностях, діаграмах Пеннета, що є прямою відповідністю до тем з математики (комбінаторика, теорія ймовірностей). У темі «Екологія» аналізуються популяційні криві, трофічні рівні, енергетичні піраміди, що передбачає побудову графіків, розрахунки енергетичних втрат, моделювання динаміки популяцій (наприклад, за допомогою експоненціальних або логістичних функцій). При вивченні фізіології людини розглядаються процеси, які можуть бути описані математично: робота серця (періодичні коливання), дихання, обмін речовин. Крім того, біологія тісно пов'язана з хімією (біохімія), фізикою (біофізика, медичні технології – УЗД, МРТ, рентген) та технологіями (генна інженерія, біосенсори, біополімери). Дані зв'язки створюють широкі можливості для побудови інтегрованих STEM-проектів, таких як «Розробка біосенсора для виявлення цукру в крові», «Моделювання передачі генів у популяції», «Аналіз енергетичного балансу людини» та ін.

Порівняльний аналіз навчальних програм з математики, фізики, хімії та біології дозволяє виявити ряд спільних тем, які можуть стати основою для побудови STEM-навчання. Перш за все, це теми, пов'язані з моделюванням природних процесів за допомогою математичних функцій. Так, показникові та логарифмічні функції використовуються в математиці для опису зростання, розпаду, складних відсотків. У фізиці – для опису радіоактивного розпаду, згасання коливань, зарядження конденсатора. У хімії – для опису кінетики реакцій першого порядку. У біології – для моделювання зростання популяцій, розподілу речовин у організмі. Ця спільна тема може бути реалізована у вигляді STEM-проекту «Математичне моделювання природних процесів», де учні старших класів досліджують різні явища, збирають дані, будують графіки, підбирають функції, аналізують точність моделей.

Інша важлива спільна тема – використання похідної та інтеграла в природничих науках. У математиці похідна вводиться як швидкість зміни функції, а інтеграл – як площа під кривою. У фізиці похідна використовується для визначення швидкості (похідна координати за часом) та прискорення (похідна швидкості). Інтеграл – для обчислення шляху (інтеграл від швидкості), роботи (інтеграл сили за шляхом), заряду (інтеграл струму за часом). У хімії швидкість реакції – це похідна концентрації реагентів за часом. У біології швидкість росту популяції також є похідною. Це власне дозволяє створити інтегрований модуль «Похідна в природознавстві», де учні 10–11 класів розуміють, що похідна – це не лише математичне поняття, а потужний інструмент для аналізу динамічних процесів у різних науках.

Енергетичні процеси. У фізиці вивчаються різні форми енергії, закон збереження енергії, перетворення енергії. У хімії – енергетика хімічних реакцій (екзо- та ендотермічні реакції), тепловий ефект реакцій, енергія зв'язку. У біології – обмін речовин та перетворення енергії (фотосинтез, дихання, АТФ). У математиці – розрахунки енергії, потужності, ККД, використання формул, одиниць вимірювання. Це власне дає змогу реалізувати проєкт «Енергія в природі та техніці», де учні 10–11 класів досліджують, як енергія перетворюється в різних системах, розраховують ККД, пропонують способи енергозбереження, моделюють енергетичні процеси.

Будова речовини та матеріалознавство. У фізиці вивчається атомно-молекулярна будова речовини, агрегатні стани, властивості твердих, рідких та газоподібних речовин. У хімії – будова атома, періодична система, хімічний зв'язок, кристалічні ґратки. У біології – біополімери (білки, ДНК, целюлоза), структура клітини. У математиці – геометрія тіл, об'єми, площі поверхонь, симетрія. Це дозволяє створити STEM-проєкт «Нанотехнології та нові матеріали», де учні 10–11 класів досліджують властивості матеріалів,

моделюють їхню структуру, розробляють гіпотетичні матеріали для конкретних застосувань.

Технології та інженерія. Хоча в чинних програмах з математики та природничих наук для 10-11 класів немає окремого курсу інженерії, багато тем передбачають інженерне мислення. Наприклад, у фізиці – будова електричних кіл, двигунів, генераторів. У хімії – промислові процеси (виробництво амоніаку, сірчаної кислоти). У біології – біотехнології, генна інженерія. У математиці – оптимізація, моделювання. Це певним чином дозволяє реалізувати проєкт «Розробка екологічного пристрою» або «Створення біореактора», де учні старших класів працюють у командах, використовуючи знання з усіх наук, щоб запропонувати рішення реальної проблеми.

Окрім тематичних перетинів, важливим є збіг методології навчання. Усі природничі науки використовують науковий метод: спостереження, формулювання гіпотез, експеримент, аналіз даних, висновки. Математика також передбачає логічне мислення, моделювання, перевірку гіпотез [18]. Це дозволяє формувати єдиний підхід до дослідницької діяльності в рамках STEM. Учні 10-11 класів можуть виконувати проєкти, які передбачають постановку проблеми, збір даних, побудову моделі, експеримент, математичну обробку результатів, презентацію. Наприклад, проєкт «Вплив температури на швидкість хімічної реакції» може включати: постановку мети (фізика/хімія), проведення експерименту (хімія), вимірювання температури та часу (фізика), побудову графіка (математика), визначення швидкості як похідної (математика), висновки про енергетику реакції (хімія).

Аналіз навчальних програм з математики та природничих наук для 10-11 класів показує, що потенціал для побудови STEM-навчання в старших класах ЗЗСО є значним. Існують чіткі тематичні, концептуальні та методологічні перетини між математикою та природничими науками, які можуть бути використані для створення інтегрованих навчальних досвідів. Проте для реалізації даного потенціалу потрібні певні зміни в організації

освітнього процесу. По-перше, необхідно розробити інтегровані STEM-модулі, які б поєднували зміст різних предметів та були збалансовані за навантаженням. По-друге, потрібна підготовка вчителів до роботи в міждисциплінарному середовищі – курси підвищення кваліфікації, майстер-класи, командна робота вчителів різних предметів. По-третє, важливо забезпечити матеріально-технічну базу: лабораторне обладнання, цифрові інструменти (датчики, ПЗ для моделювання, 3D-принтери), доступ до наукових баз даних. По-четверте, потрібно змінити підхід до оцінювання – замість тестів на відтворення знань використовувати критерії оцінювання проєктів, досліджень, презентацій. Крім того, слід враховувати, що STEM-навчання має бути орієнтоване на реальні проблеми суспільства: енергозбереження, екологія, здоров'я, харчування, транспорт, інформаційні технології.

У міжнародній практиці (наприклад, у США, Фінляндії, Сінгапурі) STEM-освіта активно розвивається саме у старших класах, де учні мають достатній рівень знань для глибокого аналізу складних проблем. Україна має всі передумови для впровадження подібного підходу: чинні програми містять необхідний зміст, педагоги мають високу кваліфікацію, є приклади успішних STEM-ініціатив (наприклад, проєкти «STEM-освіта в Україні», «Юні дослідники», олімпіади). Проте для масштабування необхідна підтримка на державному рівні: розробка типових інтегрованих програм, методичних рекомендацій, навчальних матеріалів, включення STEM-компонентів до державної підсумкової атестації та ЗНО (наприклад, у вигляді практичних завдань, проєктів).

Також слід відзначити роль цифрових технологій у STEM-навчанні. Використання симуляторів (PhET, GeoGebra та ін.), датчиків для збору даних (Vernier, Arduino), програм для моделювання (MATLAB, Python), 3D-моделювання (Tinkercad) значно поглиблює розуміння матеріалу, робить навчання більш інтерактивним і прикладним. Наприклад, учні 10-11 класів можуть моделювати рух планет (фізика + математика), аналізувати ДНК

(біологія + інформатика), будувати роботів (інженерія + програмування). Цифрові інструменти стирають межі між предметами та дозволяють реалізовувати справжнє інтегроване навчання.

Отже, аналіз чинних навчальних програм з математики, фізики, хімії та біології для 10–11 класів ЗЗСО свідчить про наявність значного концептуального, змістового та методологічного потенціалу для інтеграції природничо-математичних дисциплін у межах STEM-освіти. Міжпредметні зв'язки, зокрема використання математичного апарату для моделювання природних явищ, створюють міцну основу для формування цілісного наукового світогляду. Єдність наукового методу – спостереження, гіпотезування, експериментальна перевірка, аналіз даних – дозволяє формувати в учнів 10–11 класів дослідницькі компетентності в єдиному методологічному полі. Для ефективної реалізації STEM-підходу необхідно розробити структуровані інтегровані навчальні модулі, що враховують логіку побудови окремих предметів та забезпечують баланс між теоретичною та практичною складовими.

2.2. Шляхи реалізації STEM-навчання на уроках математики у старшій школі

Математика, як одна з ключових дисциплін у STEM-освіті, виконує не лише функцію базового інструменту для моделювання та аналізу, а й стає містком між абстрактними теоріями та їх прикладним застосуванням у фізиці, інформатиці, економіці, інженерії тощо. Реалізація STEM-підходу на уроках математики в старшій школі передбачає переорієнтацію навчального процесу від пасивного сприйняття формул до активного дослідження, проєктної діяльності, міждисциплінарних зв'язків та вирішення складних, нестандартних завдань [10]. Для ефективної реалізації даного підходу необхідно враховувати кілька ключових аспектів: цілісність навчального змісту, активну роль учня у навчальному процесі, автентичність завдань,

інтеграцію технологій, а також оцінювання, спрямоване на формування, а не лише на констатування знань. Зміст математичного навчання має бути структурований не за принципом ізольованих тем, а за логікою проблемних ситуацій, які вимагають застосування математичного апарату для їх вирішення.

Важливим моментом є інтеграція математики з іншими предметами STEM-циклу. Математика має бути не ізольованою, а постійно пов'язаною з фізикою (наприклад, через векторний аналіз, диференціальні рівняння, теорію ймовірностей у квантовій механіці), з інформатикою (через алгоритми, структури даних, обчислювальну складність), з хімією (через стехіометрію, кінетику реакцій, термодинаміку), з біологією (через популяційні моделі, генетичні алгоритми, біоінформатику) [18]. Така інтеграція вимагає координації між педагогами різних дисциплін, розробки спільних навчальних модулів, синхронізації тематичних планів. Наприклад, вивчення показникових функцій у математиці може супроводжуватися дослідженням радіоактивного розпаду у фізиці, зростання бактерій у біології та складних відсотків у фінансовій грамотності. Такий підхід формує в учнів цілісне розуміння світу, де математика виступає як універсальна мова опису природних та соціальних явищ.

Реалізація даного підходу вимагає зусиль не лише від окремих вчителів, а й від освітньої системи в цілому: адміністрації шкіл, методичних служб, органів управління освітою, університетів, батьків, громадськості. Необхідно створити умови, які сприятимуть інноваціям: гнучкі навчальні плани, автономія шкіл, фінансування STEM-ініціатив, професійна підтримка педагогів, визнання досягнень учнів. Успішні приклади STEM-навчання вже існують у багатьох країнах світу: від проєктів FIRST Robotics у США до фінських шкільних лабораторій, від сінгапурських математичних олімпіад до естонських програмувальних ініціатив. Нова українська школа також має потенціал для розвитку STEM-освіти, особливо з урахуванням сильних традицій у математичній освіті, наявності талановитих педагогів, активної

громадської підтримки освітніх ініціатив. Ключ до успіху – системність, послідовність, залучення всіх зацікавлених сторін, орієнтація на потреби учнів та виклики сучасного світу [15].

У майбутньому STEM-навчання має стати не окремим елементом, а невід’ємною частиною освітнього процесу, де математика виступає як фундамент для розуміння світу, інструмент для його перетворення та мова для спілкування між дисциплінами. Це вимагає постійного оновлення змісту, методів, технологій, але головне – зміни мислення: від «навчати математиці» до «навчати за допомогою математики». Тому реалізація STEM-навчання на уроках математики – це не лише педагогічна задача, а й соціальна відповідальність, яка визначатиме майбутнє суспільства. Для досягнення цієї мети необхідно поєднати науковий підхід, педагогічну майстерність, технологічну грамотність, громадянську активність та віру в здатність кожного учня до навчання, творчості, змін.

2.2.1. STEM-проекти. STEM-проекти як шляхи реалізації STEM-навчання на уроках математики у старшій школі є не просто дидактичним інструментом, а системним підходом, який трансформує зміст, методику та цілі математичної освіти, роблячи її більш прикладною, міждисциплінарною та орієнтованою на розв’язання реальних проблем [35]. У контексті сучасної освітньої парадигми, яка вимагає від учнів старших класів не лише володіння абстрактними знаннями, а й здатності застосовувати їх у складних, динамічних та нестандартних ситуаціях, STEM-проекти стають ключовим механізмом інтеграції науково-технічного, інженерного та математичного мислення.

STEM-проект в освіті – це інноваційна форма дослідницької діяльності, яка базується на міждисциплінарному підході, в процесі якої учні самостійно знаходять інформацію з теми проекту, вивчають та аналізують її, роблять висновки, презентують проект, реалізують в освітньому процесі [4]. STEM-проект – це групова навчально-пізнавальна, творча або ігрова діяльність учнів, яка має загальну ціль, методи, засоби діяльності передбачає інтеграцію

трьох і більше STEM-дисциплін та спрямована на досягнення загального результату [8]. Реалізація STEM-проектів на уроках математики у старшій школі передбачає не лише додавання прикладних завдань до традиційної програми, а переосмислення самої природи математичного навчання – від репродуктивного до дослідницького, від ізольованого до контекстного, від пасивного до активного. Це вимагає від вчителя математики нових професійних компетентностей: здатності проєктувати міждисциплінарні завдання, організовувати командну роботу, використовувати цифрові технології, оцінювати не лише результат, а й процес навчання, а також гнучко адаптувати навчальний матеріал під інтереси та потреби учнів.

STEM-проекти дозволяють учням старших класів побачити математику не як набір формул і теорем, а як живий інструмент для розуміння світу, прогнозування подій, прийняття рішень та створення інновацій. Так, проєкт з моделювання поширення епідемії за допомогою диференціальних рівнянь інтегрує знання з біології, інформатики та соціології, а математика виступає як об'єднуючий каркас, що дозволяє кількісно описати динаміку процесу. Такий підхід не лише підвищує мотивацію учнів старших класів, а й розвиває їхні навички критичного мислення, аналізу даних, алгоритмічного підходу та наукової аргументації.

У старшій школі, де учні вже мають достатній теоретичний базис з алгебри, геометрії, математичного аналізу, теорії ймовірностей та статистики, STEM-проекти можуть бути значно складнішими та глибшими, ніж у молодших класах. Вони можуть включати розробку комп'ютерних моделей, аналіз великих даних, оптимізацію реальних систем, дослідження фінансових ринків, моделювання фізичних процесів, створення інженерних конструкцій з математичним обґрунтуванням параметрів тощо [28]. Ключовим є те, що кожен такий проєкт має чітку проблемну ситуацію, яка вимагає від учнів конструювання нових підходів, поєднання знань з різних галузей, тестування гіпотез, інтерпретації результатів та презентації висновків. Крім того, STEM-проекти сприяють розвитку soft skills –

командної роботи, лідерства, комунікації, презентаційних навичок, що є важливими не лише для академічного, а й для життєвого успіху. У процесі реалізації STEM-проектів учні старших класів вчаться працювати з невизначеністю, помилками, неоднозначними даними, що формує в них стійкість, креативність та здатність до самоорганізації. Математика в такому контексті стає не метою, а засобом досягнення більш широких освітніх і життєвих цілей.

Оцінювання в STEM-проектах має бути комплексним та формативним: воно повинно враховувати не лише кінцевий продукт (звіт, модель, презентація), а й процес його створення – розподіл ролей у команді, внесок кожного учасника, якість дослідження, глибину аналізу, оригінальність підходу, здатність до рефлексії [8]. Використання рубрик, портфолію, самооцінки та оцінки однолітків дозволяє зробити оцінювання більш об'єктивним, прозорим та педагогічно ефективним. STEM-проекти також дозволяють індивідуалізувати навчання: учні старших класів можуть обирати теми, що відповідають їхнім інтересам та кар'єрним орієнтаціям – від розробки ігор з використанням векторної алгебри до аналізу кліматичних даних за допомогою статистичних методів. Це підвищує внутрішню мотивацію та залученість до навчання. Крім того, такі проекти можуть стати основою для участі в наукових конкурсах, олімпіадах, що додає навчанню конкурентної та професійної складової.

Успішні приклади впровадження STEM-проектів у різних країнах світу (США, Фінляндія, Сінгапур, Естонія) показують, що даний підхід не лише підвищує якість математичної освіти, а й сприяє формуванню конкурентоспроможної національної інноваційної системи, оскільки готує молодь до роботи в галузях, що вимагають високого рівня STEM компетентностей [4]. В Україні, де триває реформа освіти та активізація цифрової трансформації, STEM-проекти на уроках математики можуть стати потужним каталізатором модернізації шкільної освіти, зближення її з потребами сучасного ринку праці та глобальними освітніми трендами.

Особливо актуальним є використання STEM-проектів для розвитку цифрової грамотності, оскільки більшість сучасних проектів передбачає роботу з програмним забезпеченням, базами даних, алгоритмами, графічними інтерфейсами. Наприклад, проект з прогнозування курсу валют за допомогою регресійного аналізу вимагає від учнів старших класів не лише знання статистики, а й уміння працювати з Excel, Python або R, інтерпретувати графіки, робити висновки на основі даних. Це формує в них навички data literacy, які є ключовими для XXI ст. Ще одним важливим аспектом є етичний вимір STEM-проектів: учні старших класів повинні розуміти, що математичні моделі не є нейтральними, вони можуть впливати на суспільство, економіку, навколишнє середовище, тому важливо обговорювати межі застосування моделей, їхню точність, можливі наслідки використання, відповідальність дослідника.

У процесі реалізації STEM-проектів учні старших класів вчаться працювати з первинними даними – проводити вимірювання, опитування, експерименти, що розвиває в них емпіричне мислення, увагу до деталей, здатність до систематизації інформації. Математика в цьому випадку стає мостом між емпіричними даними та теоретичними узагальненнями. Наприклад, проект з дослідження залежності між тривалістю сну та успішністю у навчанні вимагає від учнів старших класів зібрати дані серед однолітків, побудувати діаграми розсіювання, обчислити коефіцієнт кореляції, перевірити гіпотезу про значущість зв'язку – це цілісний дослідницький цикл, який формує наукову грамотність [20]. Важливим моментом є те, що STEM-проекти не повинні замінювати систематичне вивчення математичної теорії, а доповнювати його, створюючи мотиваційний та прикладний контекст. Тому вчитель математики повинен грамотно поєднувати проектну діяльність з традиційними формами навчання – лекціями, семінарами, тренувальними вправами. Так, перед початком проекту з моделювання руху тіла під дією сили опору можна провести серію уроків з диференціальних рівнянь, щоб учні мали необхідний інструментарій.

Після завершення проєкту доцільно провести рефлексію, узагальнення, систематизацію знань, щоб закріпити навчальний ефект. STEM-проєкти також сприяють профорієнтації: учні старших класів отримують уявлення про реальні професії, які вимагають математичних знань – інженер-конструктор, фінансовий аналітик, криптограф тощо. Це допомагає їм зробити обґрунтований вибір майбутньої професії, усвідомити цінність математичної освіти.

Важливо також враховувати, що STEM-проєкти вимагають гнучкості в організації навчального процесу: може знадобитися більше часу, ніж передбачено програмою, можуть виникати непередбачені труднощі, може знадобитися консультація фахівців з інших галузей. Тому вчитель математики повинен бути готовий до імпровізації, адаптації, пошуку нестандартних рішень [7]. Успішність STEM-проєктів значною мірою залежить від створення культури помилки: учні старших класів повинні розуміти, що невдача – це частина навчального процесу, що помилки дають цінний досвід, що важливо аналізувати причини невдач, а не уникаючи їх.

STEM-проєкти також сприяють розвитку критичного мислення: учні старших класів вчать аналізувати, перевіряти достовірність даних, оцінювати обмеження моделей, робити обґрунтовані висновки. Наприклад, проєкт з аналізу статистики злочинності вимагає від учнів розуміти, які фактори можуть впливати на показники, як уникнути хибних кореляцій, як інтерпретувати результати обережно. Це формує в них наукову обережність, здатність до об'єктивного аналізу. STEM-проєкти також дозволяють реалізовувати принципи індивідуалізації та диференціації: учні старших класів можуть обирати рівень складності, тему, формат представлення результатів, що враховує їхні інтереси, здібності, навчальний стиль. Це підвищує ефективність навчання, зменшує навчальне навантаження, створює ситуацію успіху для кожного учня. STEM-проєкти також сприяють розвитку рефлексивної компетентності: учні старших класів вчать аналізувати власний навчальний процес, оцінювати свої сильні та слабкі сторони, ставити

цілі, планувати подальший розвиток. Так, після завершення проєкту можна провести рефлексію: що вдалося, що ні, що можна покращити, чого навчився, які навички розвинув. Це формує в них здатність до самоосвіти, саморозвитку.

Проект: «Моделювання поширення інформації в соціальних мережах: математичний підхід до вивчення інфодемії»

Проблемне завдання:

Як за допомогою математики зрозуміти та прогнозувати, чому деякі новини або фейки поширюються експоненціально в інтернеті, тоді як достовірна інформація залишається «непоміченою»? Чи можна створити математичну модель, подібну до епідемічних моделей (наприклад, SIR), для опису поширення інформації? Як це пов'язано з поведінкою користувачів, структурою мережі та психологічними факторами?

Інтегровані STEM-дисципліни:

Математика: диференціальні рівняння (модель SIR, SIS), теорія ймовірностей, графи, статистичний аналіз, регресійне моделювання.

Інформатика: збір даних через API соцмереж (Twitter/X або Telegram-канали), програмування на Python (бібліотеки networkx, matplotlib, pandas, scipy), візуалізація графів і динаміки поширення.

Біологія/Психологія/Соціологія: аналогія з епідеміями, когнітивні упередження (ефект підтвердження, страх), соціальна динаміка (кластери, інформаційні бульбашки).

Етика та цифрова грамотність: обговорення відповідальності за поширення інформації, меж моделей, ризиків «математичного детермінізму».

Етапи реалізації:

1. Дослідницький етап

Учні вивчають класичну модель SIR (Susceptible–Infected–Recovered) у контексті епідемій. Аналізують наукові публікації та медіа-кейси (поширення фейків під час війни чи пандемії). Формулюють гіпотези: «Чи залежить швидкість поширення інформації від емоційного забарвлення контенту?»

2. Збір та обробка даних

Команди збирають реальні дані:

Через опитування однолітків – як часто вони діляться новинами без перевірки?

Через аналіз публічних постів – трекінг поширення конкретного повідомлення (напр., #ПовітрянаТривога).

Будують графи соцмереж (вузли – користувачі, ребра – взаємодії).

3. Моделювання

Адаптують SIR-модель до інформаційного контексту:

S – користувачі, які ще не бачили повідомлення

I – активні поширювачі

R – ті, хто «вакцинований» критичним мисленням або втратив інтерес

Розв'язують систему диференціальних рівнянь чисельно (Euler, `scipy.integrate`).

Порівнюють модель з емпіричними даними.

4. Оптимізація та інтервенція

Моделюють вплив «вакцинацій»: наприклад, впровадження фактчекінгу, підвищення медіаграмотності.

5. Презентація та рефлексія

Презентація у форматі наукового доповіді або TED-стилю.

Демонстрація інтерактивної моделі (наприклад, через Jupyter Notebook або простий веб-інтерфейс).

Рефлексія: «Чи може математика зробити суспільство стійкішим до дезінформації? Які етичні обмеження використання таких моделей?»

Навчальні результати (відповідно до Держстандарту та компетентностей НУШ 2.0):

- застосування диференціальних рівнянь у реальному контексті;
- розвиток data literacy та цифрової грамотності;
- формування критичного мислення та етичної відповідальності;
- досвід міждисциплінарної командної роботи;

- підготовка до професій у сфері data science, соціальних наук, кібербезпеки.

Можливі розширення :

- участь у конкурсі МАН з теми «Математичне моделювання соціальних процесів»;
- співпраця з психологами/журналістами школи для проведення інформаційної кампанії на основі висновків проекту;
- порівняльний аналіз інфодемії в Україні та інших країнах (напр., через відкриті дані GDELT).

Отже, проєкт «Моделювання поширення інформації в соціальних мережах: математичний підхід до вивчення інфодемії» пропонує інтегрований STEM-підхід, що поєднує математичне моделювання, аналіз реальних даних із соцмереж та міждисциплінарне осмислення когнітивних, соціальних та етичних аспектів дезінформації. Учні старших класів не лише опановують інструменти диференціальних рівнянь, теорії графів і програмування на Python, а й розвивають критичне мислення, цифрову грамотність та відповідальність за вплив інформації в публічному просторі. Реалізація проєкту сприяє формуванню ключових компетентностей НУШ 2.0 та підготовці до сучасних професій у галузях data science, соціальних наук та кібербезпеки.

2.2.2. Інтегровані уроки. Інтегровані уроки є стратегічним педагогічним інструментом, що дозволяє не лише підвищити рівень математичної грамотності учнів старших класів, а й сформувати в них цілісне наукове світобачення, здатність до міждисциплінарного мислення, критичного аналізу, проєктування та вирішення реальних проблем [10]. Інтегрований урок – це урок, який проводиться з метою розкриття загальних закономірностей, законів, ідей, теорій, відображених у різних науках і відповідних їм навчальних предметах Його проведення забезпечує формування в учнів старших класів цілісної системи уявлень про діалектико-

матеріалістичні закони пізнання навколишнього світу в їх взаємозв'язку та взаємозумовленості; сприяє поглибленню та розширенню знань, діапазону їх практичного застосування до процесів та явищ оточуючої дійсності. Доцільність інтегрованих уроків зумовлена завданнями інтеграції знань, умінь і навичок учнів з основ наук [15].

Інтегровані уроки в рамках STEM-навчання передбачають органічне поєднання математики з природничими науками (фізика, хімія, біологія), технологіями (інформатика, робототехніка, програмування, CAD-моделювання), інженерією (проектування, конструювання, технічний аналіз) та, в деяких випадках, елементами гуманітарних дисциплін (економіка, соціологія, екологія). Це не просто тематичне об'єднання, а глибока синергія, де математичні поняття та методи використовуються для розв'язання задач, що виникають у контексті інших дисциплін, а зворотний зв'язок – проблеми з інших галузей стають мотивацією для вивчення нових математичних інструментів [8]. Наприклад, вивчення похідної у 11 класі може бути інтегроване з фізикою – як швидкість зміни фізичної величини (швидкість як похідна координати, прискорення як похідна швидкості), або з економікою – як граничний дохід або граничні витрати. Такий підхід не лише підвищує мотивацію, а й формує в учнів старших класів усвідомлення універсальності математичних законів, їхньої прикладної сили.

Одним із ключових аргументів на користь інтегрованих уроків є те, що вони відповідають природі самого STEM-підходу, який спрямований на вирішення реальних проблем, а не на вивчення ізольованих фактів. У реальному світі проблеми не розділені за шкільними предметами: проєкт будівництва моста вимагає знань з фізики (механіка, опір матеріалів), математики (розрахунки навантажень, геометрія конструкцій), інформатики (моделювання в CAD-середовищах), технологій (виробництво, матеріали), інженерії (проектування, тестування). Інтегрований урок дозволяє імітувати цей реальний контекст, створюючи для учнів старших класів ситуації, у яких вони змушені застосовувати знання з різних галузей для досягнення

конкретної мети [18]. Це формує не лише предметні компетентності, а й ключові навички XXI ст.: критичне мислення, креативність, співпрацю, комунікацію, вміння працювати з даними, проєктувати, тестувати, помилятися, аналізувати помилки та вдосконалювати рішення.

З методичної точки зору, інтегровані уроки вимагають від вчителя математики виходу за межі традиційної предметної парадигми. Він має не лише володіти глибокими математичними знаннями, а й розуміти основи суміжних дисциплін, вміти співпрацювати з колегами з інших предметів, проєктувати міждисциплінарні завдання, використовувати сучасні технології, організовувати дослідницьку та проєктну діяльність. Це вимагає від педагога нових професійних компетентностей: міждисциплінарного мислення, педагогічного дизайну, вміння працювати в команді, адаптивності, креативності. Водночас, це розширює професійні горизонти вчителя, робить його роботу більш цікавою, динамічною, значущою. Інтегровані уроки також передбачають зміну ролі вчителя – від транслятора знань до фасилітатора, організатора дослідницького середовища, консультанта, який супроводжує учнів старших класів у їхній пізнавальній діяльності, допомагає формулювати проблеми, шукати шляхи їх вирішення, аналізувати результати [35].

З точки зору учнів старших класів, інтегровані уроки створюють умови для більш глибокого, осмисленого засвоєння математичних знань. Коли учень бачить, що математика використовується для розрахунку траєкторії польоту дрона, для моделювання поширення епідемії, для оптимізації виробничого процесу, для аналізу фінансових ризиків – він усвідомлює її практичну цінність. Це знімає внутрішній опір, який часто виникає у старшокласників до «складної» математики, замінюючи його внутрішньою мотивацією, інтересом, бажанням розібратися. Крім того, інтегровані уроки сприяють розвитку когнітивних здібностей: учні старших класів вчаться переносити знання з однієї сфери в іншу, встановлювати міжпредметні зв'язки, будувати складні ментальні моделі, мислити системно. Це особливо

важливо для старшокласників, які готуються до вступу до вищих навчальних закладів, де від них вимагатиметься саме такий тип мислення – не фрагментарний, а цілісний, не репродуктивний, а продуктивний.

Н. Хараджян зазначає, що інтегровані уроки дозволяють ефективно використовувати сучасні цифрові технології, які є невід’ємною частиною STEM-освіти. Математичне моделювання, чисельні методи, візуалізація даних, робота з великими обсягами інформації – все це неможливо без застосування комп’ютерних інструментів. На інтегрованих уроках учні старших класів можуть використовувати програмне забезпечення для побудови графіків функцій (GeoGebra, Desmos), для статистичного аналізу (Excel, Python, R), для 3D-моделювання (Tinkercad, Fusion 360), для програмування (Scratch, Python, Arduino IDE). Це не лише полегшує виконання складних розрахунків, а й розвиває цифрову грамотність, вміння працювати з інструментами, які реально використовуються в науці, інженерії, бізнесі [47]. Так, при вивченні ймовірності та статистики учні старших класів можуть збирати реальні дані (наприклад, про погоду, транспортні потоки, соціальні мережі), аналізувати їх за допомогою програм, будувати регресійні моделі, робити прогнози – таким чином, математика стає інструментом для розуміння світу, а не просто набором формул.

Інтегровані уроки також сприяють розвитку дослідницької та проєктної компетентності. У межах STEM-підходу учні старших класів не просто виконують завдання, запропоновані вчителем математики, а самостійно формулюють проблеми, розробляють гіпотези, планують експерименти, збирають дані, аналізують результати, роблять висновки, презентують рішення. Це формує науковий стиль мислення, вміння працювати з невизначеністю, брати на себе відповідальність за результат [29]. Наприклад, проєкт «Оптимізація маршруту шкільного автобуса» може включати збір даних про місця проживання учнів, аналіз дорожньої мережі, побудову графів, застосування алгоритмів знаходження найкоротшого шляху, розрахунок вартості та часу, моделювання в програмному середовищі,

презентацію результатів перед адміністрацією школи. Такий проєкт інтегрує математику (теорія графів, оптимізація), інформатику (алгоритми, програмування), технології (картографічні сервіси, GPS), інженерію (логістика, планування), а також елементи соціальної відповідальності.

З педагогічної точки зору, інтегровані уроки вимагають чіткого планування, продуманої структури, збалансованого розподілу навчального часу між дисциплінами. Важливо, щоб математична складова не зводилася до формального застосування формул, а була органічно вплетена в загальний зміст уроку, мала логічне обґрунтування, сприяла глибшому розумінню як математичних, так і прикладних аспектів [15]. Необхідно також враховувати вікові та когнітивні особливості старшокласників: вони вже здатні до абстрактного мислення, аналізу, синтезу, але потребують чітких цілей, мотивації, зв'язку з реальністю. Тому теми інтегрованих уроків мають бути актуальними, соціально значущими, пов'язаними з життєвим досвідом учнів або з глобальними викликами (екологія, енергетика, медицина, фінанси, технології).

Важливо також враховувати, що інтегровані уроки не повинні повністю замінювати традиційні уроки математики. Є певні теми, які потребують глибокого, систематичного, предметного вивчення (наприклад, теорія границь, інтегральне числення, векторна алгебра). Інтеграція має бути органічною, методично обґрунтованою, а не формальною. Не кожен урок має бути інтегрованим – важливо знаходити баланс між глибиною предметного знання та шириною міждисциплінарного застосування [18]. Ідеальна модель – це поєднання традиційних уроків, на яких закладається теоретична база, з інтегрованими уроками-проєктами, на яких дана база застосовується на практиці.

Особливу увагу педагогу слід приділити підбору тем для інтегрованих уроків. Вони мають бути достатньо складними, щоб вимагати застосування знань з різних галузей, але доступними для розуміння старшокласників. Серед ефективних тем можна виділити: математичне моделювання фізичних

процесів (рух, коливання, теплопередача), аналіз фінансових ринків (відсотки, ризики, інвестиції), оптимізація виробничих процесів (лінійне програмування), аналіз даних (статистика, ймовірність), геометрія в архітектурі та дизайні, теорія графів у логістиці та мережах, диференціальні рівняння в біології (моделювання популяцій), фрактали та хаос у природі, криптографія та теорія чисел, математичні основи штучного інтелекту. Кожна з цих тем дозволяє глибоко інтегрувати математику з іншими STEM дисциплінами, створюючи багатовимірний навчальний досвід.

План інтегрованого уроку «Математичне моделювання поширення епідемії: диференціальні рівняння, біологія, інформатика та соціальна відповідальність»

Урок розрахований на 2 академічні години (90 хв) і проводиться в комп'ютерному класі за участі вчителя математики, біології та інформатики (можливо – у форматі спільного ведення або за попередньо узгодженим сценарієм одним педагогом з міждисциплінарною підготовкою).

Мета уроку – не лише закріпити знання про диференціальні рівняння (зокрема, рівняння з відокремлюваними змінними та логістичне рівняння), а й продемонструвати їхню силу як інструменту наукового прогнозування, зокрема в контексті глобальних викликів, таких як пандемії.

Учні отримують досвід моделювання реального біологічного процесу, аналізують вплив різних параметрів (репродуктивний індекс R_0 , карантинні заходи, вакцинація), використовуючи цифрові інструменти (Python через Google Colab або GeoGebra), і роблять висновки щодо ролі науки у прийнятті соціально відповідальних рішень.

На початку уроку вчитель біології коротко (10 хв) нагадує механізми передачі інфекційних захворювань, поняття R_0 , етапи епідемічного процесу (експоненційний ріст, пік, спад), а також значення імунітету (природного та вакцинного).

Потім вчитель математики вводить модель SIR (Susceptible – Infected –

Recovered) у спрощеному варіанті: система з трьох диференціальних рівнянь, де $S(t)$ – кількість сприйнятливих, $I(t)$ – інфікованих, $R(t)$ – одужавших (або вибулих), з початковими умовами $S(0) = N - 1$, $I(0) = 1$, $R(0) = 0$.

Акцент робиться не на аналітичному розв'язанні (що виходить за межі шкільної програми), а на інтерпретації рівнянь: $dS/dt = -\beta \cdot S \cdot I/N$ (швидкість зменшення сприйнятливих пропорційна контактам між S і I), $dI/dt = \beta \cdot S \cdot I/N - \gamma \cdot I$ (зростання інфікованих залежить від зараження та одужання), де β – інтенсивність передачі, γ – швидкість одужання, а $R_0 = \beta/\gamma$.

Учні в групах (по 3–4 особи) працюють з готовим Jupyter Notebook у Google Colab (або інтерактивною моделлю у GeoGebra), де реалізовано чисельне розв'язання системи методом Ейлера. Вони змінюють параметри (β , γ , початкову кількість вакцинованих у групі $R(0)$), спостерігають, як змінюється графік $I(t)$, визначають, за яких умов виникає епідемічний спалах ($R_0 > 1$), і моделюють вплив «пригнічення кривої» через зменшення β (соціальне дистанціювання) або збільшення γ (ефективніше лікування).

Під час практичної роботи вчитель інформатики консультує з інтерфейсом середовища, пояснює прості елементи коду (цикл, масиви, побудова графіків), підкреслюючи, що сучасна наука неможлива без обчислювального експерименту. На етапі рефлексії (20 хв) кожна група презентує свої знахідки: наприклад, «при $R_0 = 2.5$ пік епідемії досягається на 25-й день і охоплює 60% популяції, але при зменшенні β на 40% (через карантин) пік зсувається на 45-й день, а максимальна кількість хворих зменшується до 25% – це дає час на підготовку лікарень».

Учні обговорюють етичні аспекти: чи можна балансувати між економічними втратами та охороною здоров'я? Яка роль математичного моделювання в прийнятті рішень урядами? Як поширюються дезінформація та «математична безграмотність» під час криз?

Учитель підсумовує, що диференціальні рівняння – це не абстракція, а живий інструмент, який допомагає рятувати життя, і що сучасний науковець, інженер чи політик має вміти читати такі моделі, навіть якщо не будує їх сам.

Домашнє завдання: проаналізувати реальні дані поширення грипу в регіоні за останній рік (надані вчителем у вигляді таблиці), побудувати просту експоненційну та логістичну апроксимацію в Excel, порівняти їх точність (за середньоквадратичним відхиленням) та написати коротку аналітичну записку для «міського санепідцентру» з рекомендаціями.

Такий урок утілює всі принципи, описані у тексті: він міждисциплінарний (математика + біологія + інформатика + етика), проєктно-орієнтований, технологічно насичений, мотиваційно сильний (зв'язок із життям, кризами, майбутньою професією), розвиває критичне та системне мислення, цифрову грамотність, комунікативні навички, а також формує усвідомлення математики як універсальної мови науки та інструменту соціальної відповідальності.

Важливо, що математична складова (диференціальні рівняння, похідна як швидкість зміни, функціональні залежності) не присутня формально – вона є логічним каркасом моделі, що підтверджує тезу про органічну, а не формальну інтеграцію. Вчитель виступає фасилітатором: не дає готових відповідей, а ставить запитання, спрямовує дослідження, допомагає формулювати гіпотези, аналізувати аномалії в графіках (наприклад, коли $S(t)$ стає від'ємним при занадто великому кроці інтегрування – це стає приводом до обговорення обмежень моделей і важливості валідації).

2.2.3. Цифрові технології. Цифрові технології у процесі реалізації STEM-навчання на уроках математики у старшій школі виступають не лише як інструменти підтримки навчального процесу, а як системоутворюючий компонент, що трансформує саму методологію викладання, забезпечує інтеграцію дисциплін, активізує пізнавальну діяльність учнів старших класів і формує компетентності, необхідні для життя в цифровому суспільстві [31]. STEM-освіта, що поєднує науку (Science), технології (Technology), інженерію (Engineering) та математику (Mathematics), потребує міждисциплінарного підходу, де математика виступає як універсальна мова моделювання

реальних процесів, а цифрові технології як середовище, у якому дані процеси візуалізуються, аналізуються, оптимізуються та інтерпретуються. У старшій школі, де учні вже мають базові знання з алгебри, геометрії, початків аналізу, теорії ймовірностей та статистики, цифрові технології дозволяють перейти від абстрактних теоретичних конструкцій до прикладного моделювання, дослідницької діяльності та проектного навчання, що є сутністю STEM-підходу.

Використання цифрових інструментів на уроках математики дозволяє створювати динамічні, інтерактивні, адаптивні навчальні середовища, які сприяють глибокому розумінню математичних концепцій через їх застосування в реальних контекстах, пов'язаних з фізикою, економікою, біологією, програмуванням, робототехнікою, даними тощо. Серед найефективніших цифрових технологій, що реалізують STEM-навчання, можна виділити спеціалізовані математичні програми (наприклад, GeoGebra, Desmos, Wolfram Alpha, MATLAB Online), хмарні сервіси для спільної роботи (Google Classroom, Microsoft Teams, Notion), платформи для навчання програмуванню (Python, Scratch, Blockly), симулятори фізичних процесів (PhET, Algodoo), середовища для аналізу даних (Google Sheets, Excel, Tableau Public, Python з бібліотеками Pandas, NumPy, Matplotlib), а також засоби штучного інтелекту та машинного навчання (Teachable Machine, RunwayML, Google Colab). Кожен із цих інструментів дозволяє вирішувати конкретні навчальні завдання, але в сукупності вони формують єдине цифрове середовище, у якому математика перестає бути ізольованою дисципліною і стає мостом між теорією та практикою, між абстракцією та реальністю, між знанням та дією. Наприклад, використання GeoGebra дозволяє учням старших класів не лише будувати графіки функцій, а й досліджувати їх властивості в динаміці, змінюючи параметри, спостерігаючи за змінами перетинів, екстремумів, асимптот, що формує інтуїтивне розуміння математичного аналізу [10]. ДС Geogebra дає можливість учням проявити

свою творчість, ілюструючи розуміння властивостей об'ємних фігур (рис. 2.1).

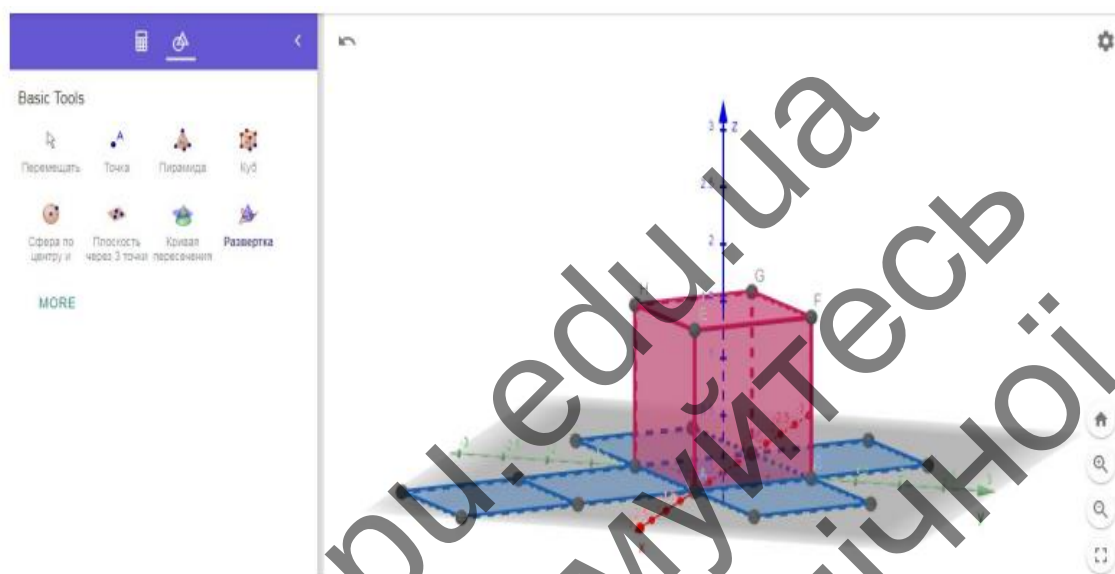


Рис.2.1. Використання GeoGebra для STEAM-освіти на уроках стереометрії

У поєднанні з фізичними симуляторами це дає можливість моделювати рух тіл, коливальні процеси, електромагнітні поля, де математичні рівняння стають не просто формулами, а законами, що керують поведінкою систем.

Аналогічно, використання Python для обробки реальних даних (наприклад, кліматичних, соціальних, економічних) дозволяє учням старших класів застосовувати статистичні методи, будувати регресійні моделі, проводити гіпотетичне тестування, що розвиває критичне мислення, аналітичні здібності та вміння працювати з великими обсягами інформації. При цьому важливо те, що цифрові технології не замінюють вчителя, а розширюють його можливості: вони дозволяють індивідуалізувати навчання, адаптувати темп і складність завдань, надавати оперативний зворотний зв'язок, відстежувати прогрес учнів, організовувати групові проекти, залучати експертів з інших галузей, проводити віртуальні експерименти, які неможливі в умовах звичайного кабінету [35]. Крім того, цифрові технології сприяють формуванню цифрової грамотності – здатності ефективно, етично

та безпечно використовувати цифрові інструменти для вирішення навчальних, професійних та життєвих завдань. Це особливо актуально в контексті STEM-освіти, де технологічна складова є невід'ємною частиною навчального процесу.

Важливим аспектом є також можливість використання відкритих освітніх ресурсів (OER), які дозволяють вчителям математики адаптувати навчальні матеріали, ділитися досвідом, створювати власні курси, інтегрувати актуальні дослідження та реальні дані в навчальний процес. Наприклад, використання даних з відкритих наукових баз (NASA, WHO, World Bank, Kaggle) дозволяє учням старших класів працювати з реальними задачами, що підвищує мотивацію, розвиває дослідницькі навички та формує науковий світогляд [20]. Цифрові технології також дозволяють реалізовувати принципи гейміфікації – впровадження ігрових механік у навчальний процес, що підвищує залученість учнів старших класів, стимулює конкуренцію, співпрацю, досягнення цілей. Платформи типу Kahoot!, Quizizz, Gimkit, Classcraft перетворюють перевірку знань на інтерактивну гру, де учні отримують миттєвий зворотний зв'язок, бали, рівні, значки, що формує позитивне ставлення до навчання.

Наприклад, платформа WORDWALL (<https://wordwall.net>) містить добірку таких завдань для учнів різних класів, зокрема і для використання на уроках математики у 10-11 класах (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Приклади завдань для STEM-навчання на платформі WORDWALL

Варто також відзначити, що ефективність цифрових технологій у STEM-навчанні залежить не лише від наявності технічних засобів, а й від педагогічної компетентності вчителя, його здатності інтегрувати технології в навчальний процес, проектувати завдання, що вимагають високого рівня мислення, організовувати дослідницьку та проектну діяльність, оцінювати не лише результат, а й процес навчання. Вчитель математики має володіти не лише математичними знаннями, а й цифровими навичками, розуміти логіку роботи програмного забезпечення, вміти налаштовувати середовище, вирішувати технічні проблеми, інтегрувати різні інструменти в єдиний навчальний сценарій.

Особливу увагу педагогу слід приділяти формуванню в учнів старших класів навичок самостійного навчання, пошуку інформації, критичного аналізу джерел, розв'язання проблем, роботи в команді – компетентностей, які є основою STEM-підходу. Цифрові технології дозволяють організовувати

проектну діяльність, де учні об'єднуються в групи, розподіляють ролі, планують етапи роботи, збирають дані, аналізують їх, будують моделі, презентують результати. Так, проект з моделювання поширення епідемії за допомогою диференціальних рівнянь і симуляцій у Python дозволяє інтегрувати математику, біологію, інформатику, статистику, соціальні науки, формуючи цілісне розуміння складного явища. Крім того, цифрові технології дозволяють реалізовувати принципи інклюзивності – адаптувати навчальний процес під потреби учнів старших класів з різними здібностями, темпом навчання, інтересами [10]. Наприклад, використання інтерактивних тренажерів з адаптивним навчанням (Khan Academy, IXL, Mathigon) дозволяє кожному учневі працювати в індивідуальному темпі, отримувати додаткові пояснення, тренувальні вправи, візуальні підказки, що підвищує ефективність навчання.

Цифрові технології дозволяють залучати учнів старших класів до глобальних освітніх спільнот, брати участь у міжнародних конкурсах, що розширює їхній світогляд, формує міжкультурну компетентність, мотивацію до саморозвитку. Так, участь у конкурсах типу Google Science Fair, NASA Space Apps Challenge, Kaggle for Students дозволяє учням старших класів застосовувати свої знання для вирішення реальних глобальних проблем, співпрацювати з однолітками з інших країн, отримувати визнання експертів. Це формує в учнів відчуття значущості свого навчання, розвиває ініціативність, відповідальність, прагнення до інновацій.

Водночас, впровадження цифрових технологій у STEM-навчання потребує вирішення низки викликів: забезпечення доступу до техніки та інтернету, підготовка вчителів математики, розробка якісних навчальних матеріалів, забезпечення кібербезпеки, формування цифрової етики, запобігання цифровому виснаженню, збереження балансу між цифровим та традиційним навчанням. Тому педагогічний дизайн уроків має бути орієнтований на активну діяльність учнів старших класів, на розв'язання проблем, на дослідження, на рефлексію, а не на пасивне споживання

інформації [8]. Цифрові технології мають бути інтегровані в навчальний процес природно, органічно, без примусу, з урахуванням вікових особливостей, індивідуальних потреб, навчальних цілей.

Важливо також враховувати, що не всі цифрові інструменти однаково ефективні – деякі з них можуть відволікати, перевантажувати, спрощувати навчання замість того, щоб поглиблювати його. Тому вчитель математики повинен критично оцінювати кожен інструмент, аналізувати його педагогічну цінність, відповідність навчальним цілям, зручність у використанні, доступність для учнів. Крім того, необхідно постійно оновлювати цифрові компетентності, оскільки технології швидко розвиваються, з'являються нові платформи, сервіси, методики, які можуть суттєво покращити якість навчання.

2.2.4. Компетентнісні задачі. Компетентнісні задачі на уроках математики у старшій школі є стратегічним механізмом трансформації освітнього процесу, який спрямований на формування в учнів старших класів цілісного наукового світогляду, здатності до міждисциплінарного мислення, практичного застосування знань та розв'язання реальних проблем. Саме через компетентнісні задачі математика перестає бути абстрактною дисципліною, що обмежується формулами та теоремами, і стає живим інструментом для дослідження світу, проектування технологічних рішень, аналізу даних, прийняття обґрунтованих рішень та створення інновацій.

Компетентнісні задачі – це завдання, побудовані на реальних або максимально наближених до реальності ситуаціях, що вимагають від учня старших класів не лише застосування математичних знань, а й залучення знань з інших галузей (фізики, хімії, біології, інформатики, економіки, технологій), розвитку критичного мислення, комунікативних навичок, здатності до співпраці, самостійного пошуку інформації, аналізу даних, проектування рішень та оцінки їх ефективності [10]. Вони передбачають не просто однозначну відповідь, а процес дослідження, моделювання, експериментування, інтерпретації результатів та презентації висновків.

У старшій школі, де учні вже мають певний рівень абстрактного мислення, систематизованих знань та готові до самостійної діяльності, такі задачі стають особливо ефективними, оскільки дозволяють реалізувати потенціал математики як інструменту STEM-освіти на повну потужність. Наприклад, задача з аналізу ефективності сонячної панелі вимагає не лише знання функцій, похідних, інтегралів чи векторної алгебри, а й розуміння фізичних принципів перетворення енергії, знання географічних умов, кліматичних факторів, технологічних обмежень, економічної доцільності, а також вміння працювати з даними, будувати графіки, проводити статистичний аналіз, моделювати процеси в програмному середовищі, робити висновки та пропонувати оптимальні рішення [34]. Така задача не має єдиної правильної відповіді – вона передбачає діалог, дискусію, порівняння альтернатив, оцінку ризиків та переваг, що формує в учня старших класів не лише знання, а компетентність – здатність діяти ефективно в умовах невизначеності, складності та міждисциплінарності.

Зауважимо, що компетентнісні задачі відрізняються від традиційних шкільних задач тим, що вони не зводяться до механічного застосування алгоритмів, а вимагають від учнів старших класів активної пізнавальної діяльності, самостійного конструювання стратегії розв’язання, пошуку необхідної інформації, адаптації знань до нових умов, а також рефлексії над власними діями та їх наслідками. Це робить їх ідеальним інструментом для реалізації STEM-підходу, оскільки STEM-освіта сама по собі орієнтована на проектну, дослідницьку, проблемно-орієнтовану діяльність, де учень виступає не як пасивний споживач знань, а як активний дослідник, інженер, аналітик, проєктувальник [35]. У старших класах компетентнісні задачі можуть бути інтегровані в усі теми: від алгебри та початків аналізу до геометрії, теорії ймовірностей, статистики, дискретної математики. Так, при вивченні похідної та її застосувань можна запропонувати задачу оптимізації витрат на будівництво моста з урахуванням матеріалів, навантажень, геометрії конструкції та екологічних вимог – це вимагатиме знань з фізики

(механіка, опір матеріалів), технологій (будівельні матеріали, методи зведення), економіки (вартість, прибутковість), а також вміння моделювати функції витрат, знаходити екстремуми, аналізувати отримані результати.

При вивченні векторів та координатного методу можна запропонувати задачу моделювання траєкторії польоту дрона з урахуванням вітру, перешкод, енерговитрат – це залучить знання з фізики (кінематика, динаміка), інформатики (алгоритми управління, програмування), географії (топографія, карти), а також вимагатиме побудови векторних моделей, розв'язання систем рівнянь, візуалізації результатів. Такі задачі не лише поглиблюють математичні знання, а й розвивають в учнів старших класів системне мислення, здатність бачити зв'язки між різними галузями знань, розуміти, як математика функціонує в реальному світі, як вона застосовується в науці, техніці, економіці, медицині, екології, соціальних науках.

У процесі розв'язання компетентнісних задач учні старших класів вчаться працювати в команді, розподіляти ролі, слухати інших, аргументувати свою позицію, знаходити компроміси, презентувати результати, відстоювати свої ідеї, що є невід'ємною частиною STEM-діяльності, де успіх залежить не лише від технічних знань, а й від здатності до ефективної комунікації та колаборації. Важливим моментом є те, що компетентнісні задачі дозволяють індивідуалізувати навчання, враховуючи інтереси, здібності та потреби кожного учня. Наприклад, один учень старших класів може зосередитися на математичному моделюванні, інший – на програмній реалізації, третій – на економічному аналізі, четвертий – на презентації результатів. Це дозволяє кожному розвинути власні сильні сторони, а також навчитися працювати в команді, де кожен вносить свій унікальний внесок.

Даний підхід особливо важливий у старшій школі, де учні вже обирають подальший професійний шлях та потребують можливості спробувати себе в різних ролях, щоб зробити обґрунтований вибір. Крім того,

компетентнісні задачі сприяють формуванню у старшокласників внутрішньої мотивації до навчання, оскільки вони показують актуальність математики, її зв'язок із реальним життям, можливість застосування знань для вирішення значущих проблем. Коли учень бачить, що його робота має сенс, що вона може вплинути на реальний світ, що він може створити щось корисне, він стає зацікавленим, активним, ініціативним. STEM-навчання через компетентнісні задачі саме це й забезпечує – воно формує не споживача знань, а творця, дослідника, інноватора [4]. З методичної точки зору, реалізація компетентнісних задач на уроках математики вимагає від учителя глибокого розуміння міждисциплінарних зв'язків, здатності конструювати складні, відкриті, проблемно-орієнтовані завдання, організовувати дослідницьку та проектну діяльність, керувати процесом навчання, не нав'язуючи готові рішення, а спрямовуючи учнів до самостійного пошуку, аналізу, узагальнення.

Варто відзначити, що реалізація компетентнісних задач вимагає від вчителя математики певної методичної підготовки, оскільки це не стандартний урок, а організація дослідницької, проектної, проблемно-орієнтованої діяльності. Педагог повинен вміти формулювати проблемні питання, створювати ситуації, що викликають когнітивний конфлікт, організовувати роботу в групах, керувати дискусіями, надавати зворотний зв'язок, оцінювати не лише результат, а й процес. Це вимагає від вчителя математики гнучкості, креативності, готовності до експериментів, постійного саморозвитку.

Успішний досвід впровадження компетентнісних задач у багатьох країнах світу (Фінляндія, Сінгапур, Канада, США, Естонія) показує, що такий підхід реально підвищує якість освіти, мотивацію учнів старших класів, їхню готовність до життя в сучасному світі. В Україні даний напрям також активно розвивається, зокрема в рамках освітніх ініціатив, STEM-лабораторій, педагогічних конкурсів, методичних видань. Однак для повноцінної реалізації потрібно системне впровадження, яке охоплює зміну

освітньої парадигми, підготовку вчителів, оновлення навчальних програм, забезпечення ресурсами, зміну системи оцінювання.

Наведемо приклади *компетентнісних задач*.

Оптимізація розміщення сонячних панелей на даху школи. Учні пропонується розробити проект енергоефективного живлення частини шкільного споживання електроенергії за рахунок сонячних панелей. Для цього необхідно: зібрати дані про середньомісячне споживання електроенергії в школі (економіка, енергетика), визначити доступну площу даху та її орієнтацію (геометрія, геодезія), врахувати сонячну інсоляцію у вашому регіоні протягом року (географія, кліматологія), побудувати функцію енерговиходу залежно від кута нахилу панелі та її азимуту (тригонометрія, похідна для пошуку максимуму), оцінити економічну доцільність (вартість панелей, інвертерів, монтажу, строк окупності – фінансова математика), провести порівняльний аналіз альтернатив (наприклад, вітрова міні-установка чи підключення до «зеленого тарифу»), змоделювати систему у GeoGebra або Python (інформатика), і підготувати презентацію для «шкільної адміністрації» із обґрунтуванням пропозиції, врахувавши екологічний вплив (екологія) та технічні обмеження (фізика – ККД фотоелементів, втрати на лініях).

Завдання передбачає роботу в групах із різними ролями: аналітик, економіст, інженер-проектувальник, презентатор.

Моделювання руху безпілотного апарату (дрона) у міському середовищі для доставки медикаментів. Учні отримують завдання спроектувати траєкторію польоту дрона від аптеки до лікарні в умовах існуючої забудови міста. Необхідно використати карти OpenStreetMap або Google Earth для визначення координат (географія, ГІС), побудувати просторову модель перешкод (будівлі, ЛЕП) у 3D-координатах (аналітична геометрія, вектори), врахувати вплив вітру як векторного поля (векторна алгебра, диференціальні рівняння першого порядку – якісно або чисельно), оптимізувати маршрут за критеріями: мінімальний час, мінімальний розхід

енергії (функція витрат $\rightarrow$ оптимізація через похідну), оцінити ймовірність збою через погодні умови (теорія ймовірностей, статистика авіаційних інцидентів), розрахувати необхідну потужність акумулятора (фізика – закони збереження енергії, ККД двигунів), а також розробити алгоритм уникнення перешкод (логіка, основи програмування – псевдокод або Python).

Результат – візуалізація маршруту (у Desmos або Matplotlib) та звіт із оцінкою надійності, витрат та етичних аспектів (наприклад, приватність).

Аналіз впливу вакцинації на динаміку поширення інфекційної хвороби (на прикладі грипу чи COVID-19). Задача передбачає моделювання епідемічного процесу за допомогою системи диференціальних рівнянь SIR (Susceptible–Infected–Recovered), адаптованої для шкільного рівня через дискретні ітерації (рекурентні співвідношення). Учні аналізують реальні статистичні дані (наприклад, від МОЗ чи ВООЗ), обирають параметри моделі (базовий R_0 , ефективність вакцини, охоплення вакцинацією), досліджують, як змінюється пік захворюваності та тривалість епідемії залежно від коефіцієнта вакцинації (функціональний аналіз, інтерпретація графіків), оцінюють економічні наслідки (втрати ВВП через хворобу, витрати на вакцинацію – економіка), порівнюють стратегії («вакцинувати всіх» vs «вакцинувати групи ризику» – етика, соціальні науки), і моделюють сценарії в Excel або Python.

Важливою частиною є критичний аналіз обмежень моделі (гомогенне змішування, ігнорування мутацій) – це формує наукову рефлексію.

Проектування економічно та екологічно оптимального маршруту для шкільного автобуса. Учні мають оптимізувати маршрути шкільного автобуса, що забирає учнів із різних мікрорайонів. Завдання включає: збір географічних координат місць проживання, побудову повного графа маршрутів (дискретна математика, задача комівояжера), порівняння точного (для 5–6 точок) і наближеного розв’язків, обчислення загального пробігу, часу в дорозі, витрат пального (фізика – робота сили тяги, ККД ДВЗ), викидів CO_2 (екологія – нормативи викидів на літр пального), порівняння з альтернативою – електробусом (економіка: вартість ТО, електроенергія,

амортизація), аналіз соціального впливу (час очікування дітей, безпека пішохідних переходів – соціологія).

Учні презентують два варіанти: «мінімальний час» та «мінімальний вплив на довкілля» і обговорюють компромісні рішення.

Математичне моделювання зростання рослин у вертикальній фермі (urban farming). Учням пропонується спроектувати вертикальну ферму для вирощування салату в умовах міста (наприклад, у підвальному приміщенні школи). Необхідно: дослідити залежність швидкості росту від інтенсивності LED-освітлення (фізика – закон зворотних квадратів, біологія – фотосинтез), побудувати експоненціальну/логістичну модель зростання біомаси (показникові функції, похідна як швидкість росту), розрахувати витрати на освітлення, вентиляцію, поживні розчини (економіка), порівняти продуктивність на 1 м^2 з традиційним полем (статистика, питомі показники), оцінити енергоефективність системи (фізика – баланс енергії), змодельовати цикл «посадка – зріст – збір» у вигляді системи рекурентних співвідношень (дискретний час), врахувати ймовірність інфекції культури (ймовірність ураження $\rightarrow$ ризики), і запропонувати оптимальний режим (наприклад, пульсуюче світло).

Проект завершується макетом (у Tinkercad або на папері) та розрахунком «точки беззбитковості» – скільки салату треба продати щотижня, щоб покрити витрати, якщо школа буде постачати їдальню.

Побудова та оптимізація моделі «розумного» регулювання світлофора на перехресті з урахуванням інтенсивності руху, екологічного впливу та безпеки пішохідів. Учням пропонується розробити алгоритм адаптивного керування світлофором на завантаженому міському перехресті (біля школи чи торгового центру).

Для цього вони повинні: проаналізувати відеозаписи руху (реальні або смодельовані) та визначити середню інтенсивність транспортних потоків і пішохідного руху в різні години доби (статистичний збір та обробка даних, побудова гістограм, розрахунок середніх значень та дисперсій); скласти

систему лінійних/нелінійних нерівностей для тривалостей зеленого/червоного сигналів, які забезпечують безпеку (мінімальний час для переходу пішоходів), ефективність (мінімізація загальної затримки транспорту) та екологічність (мінімізація простою двигунів на холостому ходу $\rightarrow$ викиди CO_2); використати методи лінійного програмування або чисельної оптимізації (у Excel Solver або Python з бібліотекою SciPy) для пошуку компромісного рішення; врахувати фізичні обмеження – час розгону/гальмування автомобілів (кінематика – рівноприскорений рух); оцінити економічний ефект від скорочення витрат пального (економіка, фізика – робота двигуна); змодельовати роботу світлофора в середовищі SymPy або через дискретно-подійну симуляцію (у AnyLogic Student або навіть у Python з simpy); порівняти запропонований «розумний» цикл із існуючим фіксованим режимом; і підготувати аргументовану пропозицію для місцевої влади, в якій обґрунтувати вибір оптимізаційного критерію («безпека пішоходів пріоритетніша за швидкість руху»), врахувавши етичні, екологічні та соціальні наслідки.

Завдання передбачає роботу в командах: аналітики даних, математичні моделювальники, екологи-економісти, IT-розробники моделі та спікери. Відповіді не є однозначними – різні групи можуть запропонувати різні баланси між критеріями, що стає предметом наукової дискусії на класі.

Ця задача інтегрує: математику (статистика, оптимізація, функції, нерівності), фізику (механіка, енергетика), інформатику (моделювання, програмування), екологію (вуглецевий слід), економіку (витрати/ефекти), громадянську освіту (безпека, відповідальність) і водночас розвиває критичне мислення, командну взаємодію та здатність приймати обґрунтовані рішення в умовах невизначеності, що повністю відповідає концепції компетентісно орієнтованого STEM-навчання у старшій школі.

Оцінка доцільності встановлення системи збору дощової води для автономного поливу шкільної теплиці в умовах зміни клімату. Учням

пропонується виступити в ролі експертів-консультантів для шкільної ради з питань сталого розвитку.

Завдання: розробити техніко-економічне обґрунтування впровадження системи збору, зберігання та використання дощової води для поливу тепличних рослин (для біологічного практикуму).

Для цього вони повинні: проаналізувати довгострокові метеодані (з сайту Центральної геофізичної обсерваторії) – середньомісячна кількість опадів, їх розподіл упродовж року, частота засух (статистика, часові ряди, побудова графіків); розрахувати потенційний обсяг збору води з даху школи (геометрія – площа поверхні, коефіцієнт стоку; алгебра – об'єм циліндричного/прямокутного резервуара); оцінити водопотребу теплиці (біологія – норми поливу різних культур, коефіцієнт транспірації; функціональні залежності витрат від температури та вологості); спроектувати систему з урахуванням втрат (фільтрація, випаровування – експоненціальний спад в об'ємі; диференційне рівняння $dV/dt = -kV$ може бути розглянуте якісно або розв'язане наближено); провести порівняльний аналіз: вартість системи (резервуар, труби, насос, фільтри) і економія на водопостачанні за 5–10 років (фінансова математика – дискontовані грошові потоки, простий строк окупності та NPV на базовому рівні); оцінити екологічний ефект – зменшення навантаження на каналізацію, зниження «водного сліду» школи (екологія, сталі розвиток); дослідити вплив кліматичних змін – як скорочення середньорічних опадів (наприклад, на 10 % за 20 років) вплине на надійність системи (моделювання сценаріїв, ймовірнісний аналіз ризику «пересихання» резервуара влітку).

Запропонувати резервні стратегії (комбінація дощової води з крапельним поливом і мульчуванням для зниження випаровування – технології, агрономія).

Учні створюють інтерактивну математичну модель у GeoGebra або Google Sheets (зі змінними параметрами: площа даху, об'єм резервуара, норма поливу), готують презентацію-звернення до шкільної ради, де

аргументують свій висновок – «впроваджувати», «відкласти», чи «реалізувати в експериментальному режимі», і обґрунтовують умови прийняття рішення («встановити, якщо строк окупності ≤ 4 роки і ймовірність повного забезпечення води $\geq 80\%$ »).

Зауважимо, що дана задача не має однозначної відповіді – висновки залежать від локальних даних, припущень, ціннісних пріоритетів і дозволяє учням виявити себе як аналітиків, моделювальників, екологів чи презентаторів.

Дані компетентнісні задачі демонструють потужний потенціал STEM-навчання для формування у старшокласників критичного мислення, міждисциплінарного підходу та здатності приймати обґрунтовані рішення. Вони поєднують глибоке математичне моделювання із практичними аспектами екології, економіки, технологій, що відповідає вимогам сучасної освіти й глобальним викликам сталого розвитку. Кожне завдання передбачає активну командну роботу, рольову диференціацію та відкритість до неоднозначних рішень, сприяючи розвитку soft skills.

Висновки до другого розділу

Аналіз чинних навчальних програм з математики, фізики, хімії та біології для 10–11 класів свідчить про значний потенціал їх інтеграції в рамках STEM-освіти, оскільки між цими дисциплінами існують чіткі тематичні, концептуальні та методологічні перетини. Особливо перспективними для побудови міждисциплінарних модулів є теми математичного моделювання природних процесів, застосування похідної та інтеграла, енергетичні перетворення, будова речовини та матеріалознавство.

Реалізація STEM-підходу в старшій школі потребує системного переосмислення ролі математики – від ізольованої теоретичної дисципліни до універсального інструменту пізнання й моделювання реальності. Найбільш ефективними шляхами впровадження виступають STEM-проєкти,

інтегровані уроки, використання цифрових технологій та розв’язування компетентнісних задач, спрямованих на формування дослідницьких, аналітичних і проектних умінь. При цьому ключовими умовами успіху є координація зусиль педагогів різних предметів, розробка збалансованих навчальних модулів та забезпечення належної матеріально-технічної й цифрової бази.

Важливою складовою є також зміна підходу до оцінювання – від тестування фактологічних знань до комплексної оцінки дослідницького процесу, командної взаємодії та рефлексії. Ефективність STEM-навчання суттєво зростає за умови залучення автентичних, соціально значущих проблем, які стимулюють внутрішню мотивацію учнів старших класів та сприяють профорієнтації. Цифрові технології виступають не лише як додатковий інструмент, але й як системоутворююче середовище, що забезпечує візуалізацію, аналіз даних, моделювання та інтеграцію дисциплін у єдиний дослідницький контекст.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розв'язано комплекс теоретичних і методичних проблем, пов'язаних з реалізацією STEM-навчання математики у старшій школі. Здійснений аналіз дозволив отримати узагальнені висновки відповідно до поставлених завдань.

1. Вивчення теоретичних засад дослідження STEM-навчання математики у старшій школі дозволило узагальнити, що цей підхід базується на міжпредметній інтеграції, практичній орієнтованості та спрямований на формування важливих ключових компетентностей здобувачів освіти. STEM-навчання математики має потужний вплив на такі результати: поглиблення предметних знань – здобувачі освіти не лише вивчають математичні концепції, а розуміють їхню функціональність; підвищення мотивації – практична спрямованість, робота над реальними викликами та можливість побачити результати своєї праці значно підвищують інтерес до вивчення математики. Це навчання є ідеальним середовищем для розвитку співпраці, комунікації, саморегуляції. STEM-підхід допомагає усвідомити зв'язок між математикою та майбутніми професіями, сприяючи їхньому свідомому вибору подальшої освіти.

2. У ході дослідження встановлено, що впровадження STEM-технологій на уроках математики в старшій школі стикається з рядом проблем: недостатня підготовка вчителів, брак обладнання, недостатнє фінансування, перевантаження навчальних програм та має такі перспективи: підвищення якості освіти та мотивації, розвиток критичного мислення, формування soft skills, кар'єрна орієнтація, активне використання технологій.

3. Вивчення практичних аспектів реалізації STEM-навчання на уроках математики в старшій школі дозволило зробити висновки, що ефективність цього підходу безпосередньо залежить від методичної підготовки вчителя,

якості інтеграції предметів та систематичного використання проєктної діяльності.

4. У дослідженні представлено такі розробки реалізації STEM-навчання на уроках математики у старшій школі, які мають на меті не лише вивчення математичних концепцій, а й їхнє практичне застосування та інтеграцію з інженерією, технологіями та природничими науками. Розробки демонструють, що STEM-навчання математики у старшій школі являє собою не просто зміну завдань, а комплексну інтеграцію предметного змісту та інструментів, що готує здобувачів освіти до вимог сучасного технологічного ринку праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акуленко І.А., Жидков О.Е., Кулик Л.О. Компетентність з організації проєктної діяльності школярів – інтегрований результат компетентнісно орієнтованої методичної підготовки майбутнього вчителя математики. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology IV (43)* / ed. dr. Vámos Xénia. Budapest, VIII (92), Issue: 228, 2020 May. С. 7-10. URL : <https://seanewdim.com/uploads/3/4/5/1/34511564/httpsdoi.org10.31174send-pp2020-228viii92-01.pdf>
2. Акуленко І.А. Жидков О.Е. Теоретичні основи підготовки майбутнього вчителя математики до організації проєктної діяльності школярів *Наукові записки* / Ред. кол.: В. Ф. Черкасов, В. В. Радул, Н. С. Савченко та ін. Випуск 168. Серія: Педагогічні науки. Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2018. С. 9-13. URL : https://www.cuspu.edu.ua/images/nauk_zapiski/pedagogy/168.pdf
3. Балик Н. Р., Шмигир Г. П. Підходи та особливості сучасної STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*. 2017. Вип. 2. С. 26–30.
4. Барна О.В. STEM-освіта: реальні кроки до успіху. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=oAigBUCILzo>
5. Білик Т. В., Василяшко І.П. Упровадження STEM-навчання – відповідь на виклик часу. *Управління освітою*. 2017. № 2 (386). С. 24-28.
6. Бутурліна О. STEM-освіта в Україні: від теорії до практики. *STEM-освіта як шлях до інноваційного розвитку національної освіти* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. Херсон, 2016. С. 13–15.
7. Василяшко І.П. STEM-школа: ресурс самоосвіти, можливості, перспективи. *Науково-методичні засади створення інноваційної моделі STEMосвіти в Україні*: зб. наук. пр. за матеріалами IV-ї Всеукраїнської

- науково-практичної конференції з міжнародною участю, 4-5 листопада 2020 р. Дніпро: ЛІРА, 2020. 160 с.
8. Васильєва Д. В. Урізноманітнення форм навчання математики в контексті STEM-освіти. 2018. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=MshUSDfSYwU>
 9. Використання елементів STEM-освіти на уроках математики : зб. матеріалів роботи творчої групи викладачів математики. Рівне : НМЦ ПТО, 2019. 95 с.
 10. Використання елементів STEAM-освіти на уроках математики в сучасній школі : практичний посібник. Житомир, 2020. 78 с.
 11. Волкова Н. П. Інтерактивні технології навчання у вищій школі : навч. метод. посіб. Дніпро : Університет імені Альфреда Нобеля, 2018. 360 с.
 12. Гайда В. Я. Окремі аспекти організації самостійної роботи учнів при підготовці до лабораторних робіт на основі ресурсів інтернет. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький : РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2018. Вип. 173. С. 71–75.
 13. Гаращенко А., Пшенична О. Цифрові інструменти дистанційної Stem-освіти. *Наукові інновації та передові технології*. 2024. № 8 (36). С. 1118–1129.
 14. Гриб'юк О.О. Імерсивні технології у процесі навчання предметів математичного циклу: становлення нової освітньої парадигми. *Педагогічні науки: теорія та практика*. 2021. №. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vznu_ped_2021_4_7
 15. Доценко С. Stem-освіта: науковий дискурс та освітні практики. *Рідна школа*. 2021. Вип. 3. С. 31–35.
 16. Жалдак М. І., Біляй І. М. Стохастика : посіб. для вчителів. Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2013. 304 с.
 17. Закарлюка І. С. STEM-освіта: трансдисциплінарний підхід до вивчення природничо-математичних дисциплін. *Проблеми математичної освіти (ПМО –2023)*, м. Черкаси, 6-7 квітня 2023 р. : матеріали Міжнар. наук.-

- метод. конф. Черкаси : Вид. від. ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2023. С. 194-197.
18. Закон України «Про повну загальну середню освіту». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2020. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/46320#Text><http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>
19. Збірник матеріалів «STEM-школа – 2022» / уклад.: С. Л. Горбенко, Н. І. Гущина, Л. Г. Булавська, І. П. Василяшко, О. В. Коршунова. К. : Видавничий дім «Освіта», 2022. 215 с.
20. Збірник матеріалів зимової дистанційної сесії «STEM-школа – 2020» / І. П. Василяшко, Н. І. Гущина, О. В. Коршунова, О. О. Патрикеева. К. : Видавничий дім «Освіта», 2020. 106 с.
21. Коваленко О. STEM-освіта: досвід упровадження в країнах ЄС та США. *Рідна школа*. 2016. № 4 (1036), квітень. С. 46–50.
22. Козира В. М. Технологія розвитку критичного мислення у навчальному процесі: навчально-методичний посібник для вчителів. Тернопіль: Видавництво Астон, 2017. 60 с.
23. Концепція Нової Української Школи. URL : <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf>
24. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 05.08.2020 р. № 960-р.
25. Крамаренко Т. Г., Пилипенко О. С. Математика в STEMі: навч.-метод. посіб. Кривий Ріг : Криворізький держ. пед. ун-т, 2023. 274 с.
26. Крутова Н. І. Створення проєктів як результат STEM-навчання. STEM орієнтований підхід до навчання в умовах Нової української школи : посібник / за заг. ред. А. Л. Черній. Рівне, 2020. С. 23–28.
27. Левченко Ф. Г. Дидактична складова STEM освіти. *Modern research in world science* : The 8th International scientific and practical conference October 29-31, 2022. Lviv. Ukraine. URL : <https://sci->

conf.com.ua/viimizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-research-in-world-science29-31-10-2022-lviv-ukrayina-arhiv/

28. Левченко Ф.Г. Педагогічні умови інтеграції змісту дисциплін природничо-математичного циклу на основі STEM орієнтованого підходу. *Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку* : зб. матеріалів XXX Міжнар. наук.-практ. конф. Гамбург, 2023. С. 207-211.
29. Лукашова Т., Пипка О., Шищенко І. Інтеграція комп'ютерних технологій у професійну підготовку майбутніх учителів математики: проєктування STEM-діяльності. *Наукові інновації та передові технології*. 2025. № 10 (50). С. 2072-2083. [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-10\(50\)-2072-2083](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2025-10(50)-2072-2083)
30. Методичні рекомендації щодо впровадження STEM-освіти у загальноосвітніх та позашкільних навчальних закладах України на 2017/2018 н.р. / І. П. Василяшко, С. Л. Горбенко, О. В. Лозова, О. О. Патрикеева. Методист. Київ : Видавництво «Шкільний світ», 2017. № 8 (68). С. 33-37.
31. Оленюк О., Семенишена Р., Дуганець В. Ефективність використання віртуальних симуляторів у Stem-освіті. *Сучасна освіта України: проблеми, досвід, перспективи* : монографія / за заг. ред. В. В. Іванишин. Латвія : Baltija Publishing, 2024. С. 115–123.
32. Організація навчання математики у старшій профільній школі : монографія / Н. А. Тарасенкова, І. А. Акуленко, І. В. Лов'янова, З. О. Сердюк; за ред. Н. А. Тарасенкової. Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко, 2017. 216 с.
33. Патрикеева О.О., Лозова О.В., Горбенко С.Л., Василяшко І.П. Організація STEM-навчання у закладах освіти. *Проблеми освіти: збірник наукових праць*. ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти». Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. Вип. 91. С. 109-115.

- 34.Пилипенко О.С. GeoGebra як засіб розвитку STEM-компетентностей учнів у навчанні математики. *Зб. наук. праць здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного ун-ту (приурочено до 90-річчя КДПУ)*. Кривий Ріг : КДПУ, 2020. С. 70-73.
- 35.Практикум з опанування пакету динамічної математики GeoGebra як інструменту реалізації STEM-освіти: навч. посіб. / Гризун Л.Е., Пікалова В.В., Русіна І.Д., Цибулька В. А. Харків : ХНПУ імені Г.С. Сковороди, 2018. 80 с.
- 36.Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) : розпорядження Кабінету Міністрів України від 5 серп. 2020 р. № 960 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>
- 37.Ростока М. Л., Кравченко Ю. А. STEM-концепти цифрової трансформації освіти: аналітичне узагальнення. *Імідж сучасного педагога*. 2025. № 1(220). С. 5–11. [https://doi.org/10.33272/2522-9729-2025-1\(220\)-5-11](https://doi.org/10.33272/2522-9729-2025-1(220)-5-11)
- 38.Сакунова Г. В., Мороз І. О. STEM-освіта: зарубіжний досвід та перспективи розвитку в Україні. *Наукові записки, серія: педагогічні науки*. 2019. Випуск 168. С. 204–208.
- 39.Світельська, Л.М. Впровадження в освітній процес Stem-технологій: активізація креативного мислення та когнітивної гнучкості учнів. *Імідж сучасного педагога*. 2022. № 2 (203). С. 55–58.
- 40.Семеніхіна О.В. Друшляк М.Г. Розв’язування задач шкільного курсу статистики у середовищах Gran1 і GeoGebra : порівняльний аналіз. *Фізико-математична освіта*. 2015. № 1 (4). URL : <https://fmojournal.fizmatsspu.sumy.ua/publ/1-1-0-26>
- 41.Сороко Н.В. Модель STEAM-орієнтованого освітнього середовища для розвитку інформаційно-цифрової компетентності вчителя закладу загальної освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Педагогіка. Соціальна робота*. 2020. Випуск 2 (47). С. 169-173.

- 42.Сороко Н.В. Критерії оцінювання цифрових інструментів для підтримки Steam-орієнтованого освітнього середовища. *Освіта. Інноватика. Практика*. 2024. № 12 (8). С. 73–82.
- 43.Стрижак О. Є., Сліпухіна І. А., Поліхун Н. І., Чернецький І. С. STEM-освіта: основні дефініції. Інформаційні технології і засоби навчання. 2017. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v62i6.1753>
- 44.Стрижак О. Є. та ін. STEM-освіта: основні дефініції. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2017. №. 62, № 6. С. 17-21.
- 45.Топузов О., Калініна Л., Рогоза В. Реалізація Stem-освіти й модернізація українського шкільного куррикулуму, як чинники покращання природничо-наукової грамотності учнів у ракурсі досягнення цілей PISA. *Проблеми сучасного підручника*. 2024. Вип. 31. С. 241–257.
- 46.Хараджян Н.А. Розуміння STEM-освіти та STEM-професій суспільством. *Зб. наук. праць Кам'янець-Подільськ. нац. у-ту імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. 2021. Випуск 27. С. 68-72.
- 47.Цифрові тренди Stem-освіти у системі професійної педагогіки (аналітичний огляд) / уклад. Ю. А. Кравченко, Т. В. Симоненко. *Освіта і наука в умовах війни (онлайн-проект). Віртуальний читальний зал освітянина ДНПБ України ім. В. О. Сухомлинського [офіц. сайт]*. Київ, 2024. 14 с.
- 48.Цифрові тренди Stem-освіти у системі професійної педагогіки (аналітичний огляд) / уклад. Ю. А. Кравченко, Т. В. Симоненко. *Освіта і наука в умовах війни (онлайн-проект). Віртуальний читальний зал освітянина ДНПБ України ім. В. О. Сухомлинського*. Київ. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/742945/>
- 49.Чашечникова О.С. Створення творчого середовища в умовах диференційованого навчання математики: монографія. Суми: Вид-во ПП Вінниченко М.Д, ФОП Литовченко Є. В., 2011. 412 с.

- 50.Чернецький І., Поліхун Н., Сліпухіна І. Місце STEM-технології навчання в освітній парадигмі XXI століття. *Наукові записки Малої академії наук України*. 2017. № 9. С. 57–62.
- 51.Що таке STEM-освіта у навчальному закладі. URL: <https://www.pedrada.com.ua/article/1401-shcho-take-stem-osvta-u-navchalnomu-zaklad>.
- 52.GeoGebra : динамічна математика для навчання та викладання : офіційний сайт розробників системи динамічної математики Dynamic MathematicsforEveryone. URL : <http://www.geogebra.org/>
- 53.STEM-освіта. Інститут модернізації змісту освіти. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/>
- 54.Shyshenko I., Lukashova T., Pypka O. Designing the activities of Pre-service mathematics teachers using Maple to prepare them for the implementation of STEM education. In O. Semenikhina (Ed.), *STEM Education in Canada and Ukraine: Transformations, Innovations, and Pathways for Sustainable Development*. Canada: Open Science Initiative, 2025. P. 81-110. <https://doi.org/10.31110/STEM-CaUk-2.2>
- 55.Teaching STEM. URL: <https://teach.com/what/teachers-know/stem-education>