УДК 373.3/.5.091:004

Гриневич Лілія Михайлівна
кандидат педагогічних наук, доцент, проректорка з науково-педагогічної та міжнародної діяльності
Київський університет імені Бориса Грінченка, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-5818-8259
l.hrynevych@kubg.edu.ua

Морзе Наталія Вікторівна
доктор педагогічних наук, професор, член-кореспондент НАПН України, професорка кафедри комп'ютерних наук і математики факультету інформаційних технологій та управління
Київський університет імені Бориса Грінченка, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0003-3477-9254
n.morze@kubg.edu.ua

Вембер Вікторія Павлівна
кандидат педагогічних наук, доцент,
доцентка кафедри комп'ютерних наук і математики факультету інформаційних технологій та управління
Київський університет імені Бориса Грінченка, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0002-4483-8505
v.vember@kubg.edu.ua

Бойко Марія Анатоліївна
кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук і математики факультету інформаційних технологій та управління
Київський університет імені Бориса Грінченка, м. Київ, Україна
ORCID ID 0000-0003-0293-5670
m.boiko@kubg.edu.ua

РОЛЬ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РОЗВИТКУ ЕКОСИСТЕМИ STEM-ОСВІТИ

Анотація. У статті обґрунтовано поняття та необхідність формування екосистеми STEM-освіти за умов зміни ринку праці, ризиків, які несе світові четверта індустріальна революція, визначення її впливу на освітній процес в реаліях сьогодення. Авторами досліджено теоретичні основи поняття екосистема, міждисциплінарні підходи та особливості впровадження інтегрованої STEM-освіти в навчальний процес, проаналізовано складові освітньої екосистеми, доведено, що всі вони безпосередньо впливають на якість вивчення STEM-предметів. Проведено опитування для визначення шляхів розбудови складових екосистеми STEM-освіти, до участі в якому було залучено 105 респондентів, студентів педагогічних спеціальностей Київського університету імені Бориса Грінченка та вчителів закладів загальної середньої освіти різних регіонів України. Аналіз продемонстрував, що успішне впровадження STEM-освіти, із залученням всіх складових екосистеми, передбачає розвиток наукової освіти, зокрема впровадження дослідницько-пізнавального навчання (inquiry), методу навчальних проєктів в освітній процес та використання цифрових технологій в ньому. Описано навички організації наукового процесу (process skills), які формуються при застосуванні дослідницько-пізнавального навчання, подано приклади завдань для формування базових та інтегрованих навичок організації наукового процесу. Описано ознаки методу навчальних проєктів як одного з ключових для розвитку наукової освіти та визначено зміни в поведінці учнів при його застосуванні. На основі дослідження виділено групи цифрових інструментів, які необхідні для розвитку екосистеми та сприятимуть підвищенню ефективності освітнього процесу, допоможуть зробити навчання STEM цікавим та продуктивним; наведено приклади цифрових ресурсів та описана їх роль у розвитку екосистеми STEM-освіти.

Ключові слова: екосистема, STEM-освіта; STEM-заняття; цифрові технології; цифрові інструменти; навички організації наукового процесу; наукова освіта.

© Л. М. Гриневич, Н. В. Морзе, В. П. Вембер, М. А. Бойко, 2021.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Виклики, спричинені пандемією COVID-19, вплинули на освітній процес, спонукали до пошуку нових рішень для його організації, добору онлайн середовищ на основі використання сучасних цифрових інструментів для навчання та формування необхідних компетентностей, які допомогли б не тільки досягнути освітніх цілей, але й підвищили ефективність навчання в цілому. Сьогодні в державних програмах розвитку освіти наголошується на важливості надання учням та студентам ґрунтовної освіти в галузі науки, технологій, інженерії та математики (STEM).

У Концепції НУШ та Законі про освіту [1] виділено 10 ключових компетентностей, серед яких особливе значення має розвиток компетентностей, пов'язаних із STEM-освітою: математична грамотність, компетентності в галузі природничих наук і технологій, інформаційно-цифрова компетентність, уміння навчатися впродовж життя та підприємливість. Крім того, у концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) в Україні [2], реалізація якої передбачена на період до 2027 року, зазначено, що метою активного залучення здобувачів освіти до дослідницько-експериментальної, конструкторської діяльності необхідно впроваджувати нові методи та форми організації освітнього процесу.

Ці питання є актуальними як в Україні, так і в усьому світі. Так, зокрема План дій щодо цифрової освіти (2021–2027) [3] окреслює бачення Європейської Комісії щодо якісної, інклюзивної та доступної цифрової освіти в Європі. Новий План дій має два стратегічні пріоритети:

1. Допомога у розвитку високоефективної цифрової освітньої екосистеми.
2. Підвищення цифрових навичок та компетентностей у галузі цифрової трансформації.

Перший пріоритет передбачає “допомогу у розвитку високоефективної цифрової освітньої екосистеми, до якої входять:

- інфраструктура, мережі та цифрове обладнання;
- ефективне планування та розвиток цифрового потенціалу, включаючи сучасні організаційні можливості;
- впевнені в собі вчителі та педагогічні працівники, які мають високий рівень цифрових компетентностей;
- якісний навчальний контент, зручні для користування інструменти та безпечні платформи, що підтримують конфіденційність та стандарти етики” [3].

Крім того, особлива увага приділяється “заохочуванню участі дівчат та жінок у STEM-освіті” [3]. У нашій країні відбувається залучення дітей усіх вікових категорій саме до інтеграції основ наук при навчанні та розвитку їх підприємницької компетентності, включаючи дівчат і жінок.

Кваліфіковані конкурентоспроможні на світовому ринку фахівці в галузі STEM необхідні, щоб задовольняти сучасні вимоги суспільства та економіки, як-от забезпечення достатньої та сталої енергії, ефективного медичного обслуговування та продуманого розвитку технологій [4]. Крім того, очікується, що всі громадяни, навіть професіонали не лише STEM галузей, повинні мати навички та компетентності, необхідні для вирішення проблем, що постійно виникають у сучасному інформаційному високотехнологічному суспільстві. STEM-освіта, яка передбачає усвідомлення основ науки, техніки, технологій, інженерії та математики та ознайомлення з базовими фундаментальними поняттями з кожної дисципліни, має бути освітнім пріоритетом для всіх учнів [5]. Як підкреслюється у звіті Національної академії США [7], учні повинні набути таких навичок, як адаптованість, ефективне

спілкування, соціальні навички, креативне вирішення проблем, управління власним часом, рефлексія та системне мислення, щоб конкурувати в сучасній економіці.

У Державному стандарті базової середньої освіти в Україні, що був прийнятий постановою Кабінету міністрів України 30.09.2020 р., наголошується, що вимоги до обов'язкових результатів навчання визначено на основі компетентнісного підходу [8]. Одними з ключових компетентностей, що визначені в стандарті, є компетентності «у галузі природничих наук, техніки і технологій, що передбачають формування наукового світогляду; здатність і готовність застосовувати відповідний комплекс наукових знань і методологій для пояснення світу природи; набуття досвіду дослідження природи та формулювання доказових висновків на основі отриманої інформації; розуміння змін, зумовлених людською діяльністю; відповідальність за наслідки такої діяльності». Це саме ті компетентності, формування яких передбачає STEAM-освіта.

На світовому економічному форумі в Давосі в 2019 році одна з центральних тем була присвячена кардинальній зміні ринку праці та ризикам, які несе світові четверта індустріальна революція [9]. Зокрема в доповіді президента форуму К. Шваба «Майбутнє працевлаштування» наголошено на докорінній трансформації якості життя в найближчому майбутньому, спілкування, діяльності та взаємодії членів суспільства [9]. Так, на початку 2020-х рр. відбудеться кардинальна зміна понад 35% навичок, що мають сучасні працівники, зникнуть навіть деякі професії, а звичними стануть ті, яких ще не існує. Швидкі процеси технологічних перетворень не лише вимагають змін у сферах виробництва і управління, але й висувають нові вимоги до систем охорони здоров'я, освіти, транспорту, зв'язку, енергетики тощо. У звіті Європейської комісії «Наукова освіта для відповідального громадянства» [10] зазначається, що для того, щоб задовольнити науково-технічні виклики, Європейський Союз прийняв стратегію, засновану на трьох основних рушіях:

- розумне зростання (сприяння розвитку знань, інновацій, освіти та цифрового суспільства);
- стійке зростання (що робить продукцію більш ресурсозберігаючою, одночасно підвищуючи конкурентоспроможність);
- інклюзивне зростання (збільшення участі на ринку праці, набуття навичок та боротьба з бідністю).

Враховуючи вищезазначене, доцільно більш глибоко розглянути питання розвитку екосистеми STEM-освіти в контексті формування навичок організації наукового процесу при впровадженні наукової освіти та використання цифрових інструментів як складових екосистеми.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій. Розвиток STEM-освіти передбачає формування наукової освіти. Дослідженню питання формування наукової освіти присвячені роботи різних авторів. Зокрема С. Бабійчук позиціонує наукову освіту як «педагогічний концепт, метою якого є популяризація та вивчення науки серед учнів» [11]. Ю. Гоцуляк визначає наукову освіту як «освітню модель, що містить педагогічні концепції, освітні технології, методи навчання, предметні методики, які ґрунтуються на принципі самостійного здобування учнем знань, що виражаються у практичній, дослідницькій та проєктній діяльностях» [12]. Обґрунтування необхідності впровадження наукової освіти в середній школі за умов цифрової трансформації освіти описано в дослідженні Л. Гриневич, Н. Морзе, М. Бойко [13], у якому широко представлено огляд інноваційних педагогічних технологій, що можуть ефективно застосовуватись для поширення наукового мислення на ширший перелік навчальних предметів і формування STEAM-компетентностей.

У дослідженнях багатьох науковців STEM-освіта розглядається як перспективний підхід, що передбачає використання інтегрованої навчальної програми, яка надає можливості для «більш відповідного, менш фрагментованого та більш стимулюючого досвіду для учнів» [14, с. 186]. Проблеми реального світу не фрагментовані в окремих дисциплінах, яким навчають у школах, і для їх вирішення людям потрібні навички, що охоплюють ці дисципліни в комплексі [15].

Різні аспекти впровадження й використання технологій на основі STEM-освіти в закладах освіти розглянуто в роботах українських та зарубіжних учених, дослідників Н.В. Валько, В.В. Камишина, О.В. Лісового, В.В. Осадчого, С.О. Семерікова, О.Є. Стрижака, О.В. Струтинської, Е. Зейнеп (*Ay. Zeynep*), Т. Барнабі (*T. Barnaby*), С. Баумера (*C. Baumer*), Б.Н. Су (*Boon Ng Soo*), А.П. Карневала (*A.P. Carnevale*), Т. Корбета (*T. Corbett*), С.С. Думареска (*C.C. Dumaresq*), Х. Фірмана (*H. Firman*), Х. Джанга (*H. Jang*), І. Каніаваті (*I. Kaniawati*), К. Сеїт (*Kıray Seyit*), П. Корбела (*P. Korbel*), М. Мелтона (*M. Melton*), Б.К. Седжаті (*B.K. Sejati*), Г. Сікманна (*G. Siekmann*), С. Сейлан (*Sen Ceylan*), Н. Сміта (*N. Smith*), М. Сонга (*M. Song*) та ін.

Розвиток місцевих освітніх екосистем STEM як широких освітніх мереж розглядають автори Г.М. Балслев (*G.M. Balslev*), Д.К. Хендріхсен (*D.K. Hendrichsen*), Б. Ріберс (*B. Ribers*) [16]. Учені вважають, що місцеві зацікавлені сторони можуть сприяти освіті, вирішуючи ключові освітні проблеми, а також вказують на роль шкільного керівництва у вихованні місцевої екосистеми STEM. Дослідники Мічіганського університету розробляють рамку STEM-ME (STEM Mentoring Ecosystems) для розуміння того, що потрібно для розвитку екосистем наставництва STEM [17]. Більш детальний аналіз останніх наукових досліджень та публікацій розглянуто в розділі “Теоретичні основи дослідження”.

Метою статті є визначення ролі цифрових інструментів і сервісів задля розбудови екосистеми STEM-освіти та умов її розвитку, особливо під час дистанційного та змішаного навчання.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

STEM - це освітній підхід, який передбачає поєднання різних наук, технологій, інженерної творчості та математичного мислення. Важливим поняттям, пов’язаним із STEM-освітою є міждисциплінарність. Міждисциплінарність в освіті розглядають як педагогічну інновацію [18]. Ключову педагогічну проблему під час розроблення STEM орієнтованих навчальних програм містить технологія інтеграції компонентів, які, з одного боку, є близькими дисциплінами, а з іншого – самостійними усталеними онтологіями:

- ✓ наука (*Science*) як спосіб пізнання, який допомагає зрозуміти навколишній світ;
- ✓ технології (*Technology*) як спосіб покращення світу, що має чутливість до соціальних змін;
- ✓ інженерія (*Engineering*) як спосіб створення та покращення пристроїв для вирішення реальних проблем;
- ✓ математика (*Mathematics*) як спосіб опису світу «аналіз світу і реальних проблем за допомогою числа» [19].

Такий комплексний підхід є природним і фактично затребуваним у випадку, коли розв’язується певна реальна проблема (наприклад, під час організації проблемно-орієнтованого навчання відповідно до ланцюга питань «Що це? Як з цим діяти? Як і чим удосконалити? Як це зрозуміло подати іншим?»). Отже, відбувається поєднання наукового методу, технології, проєктування й математики в основі розроблення освітньої STEM-програми. Важливо, що результатом інтеграції може бути

впровадження окремого навчального предмету STEM/Science або ж певні зміни в навчальному плані кожного зі STEM-предметів на основі впровадження інновацій, посилення практичної компоненти у вирішенні реальних проблем.

Науковці розрізняють декілька видів міждисциплінарного підходу, залежно від характеру зв'язків між дисциплінами, а саме [20]:

- ✓ *інтердисциплінарність* (*interdisciplinary*) пов'язана з вивченням теми дослідження в межах багатьох дисциплін, а також з передачею методів з однієї дисципліни в іншу. Тема дослідження інтегрує різні дисциплінарні підходи та методи (рис. 1).

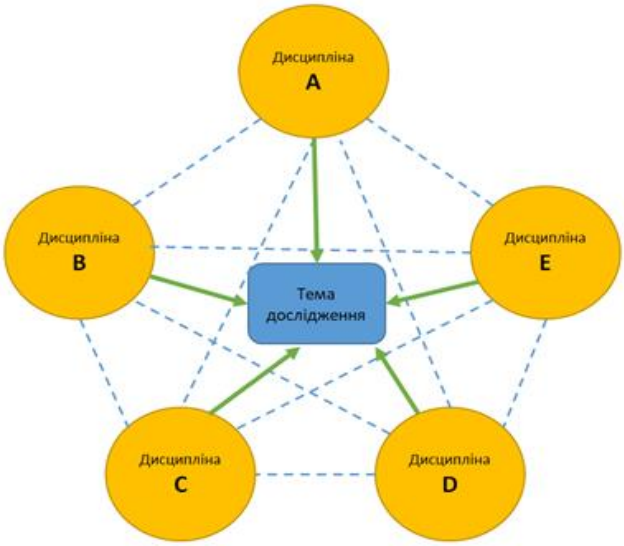

Рис. 1. Ілюстрація поняття інтердисциплінарного підходу

- ✓ *мультидисциплінарний* (multidisciplinary) підхід – зіставляє декілька дисциплін, що фокусуються на одній проблемі, однак не поєднує їх; мультидисциплінарність стосується вивчення теми дослідження в рамках однієї дисципліни, підтримки інших дисциплін, що поєднує в собі різні аспекти. Водночас елементи дисциплін зберігають свою первісну сутність. Це сприяє розширенню знань, інформації та методів (рис. 2).

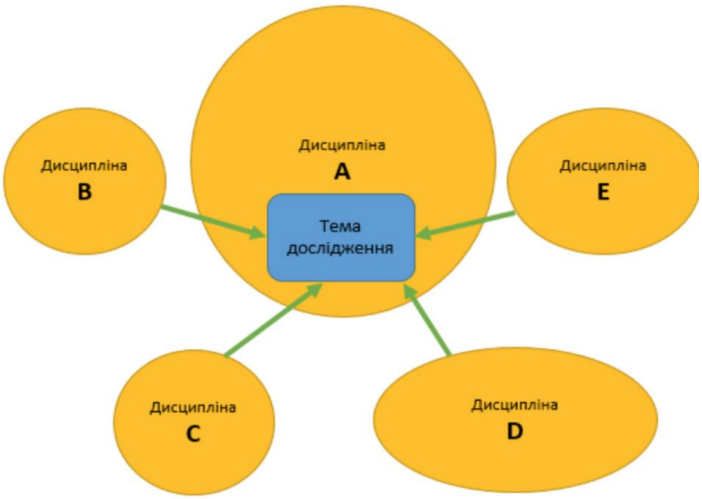

Рис.2. Ілюстрація поняття мультидисциплінарного підходу

- ✓ *кросдисциплінарний* (*crossdisciplinary*) підхід пов'язаний з вивченням теми дослідження на стику багатьох дисциплін, а також із загальними особливостями дисциплін (рис. 3).

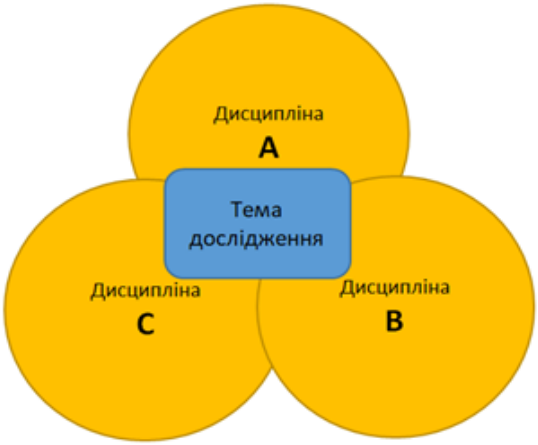

Рис. 3. Ілюстрація поняття кросдисциплінарного підходу

- ✓ *трансдисциплінарний* (*transdisciplinary*) підхід – виходить за межі окремих дисциплін, зосереджується на певній проблемі та отриманні відповідних знань (H. K. Ilter, 2020), які зв'язані усіма дисциплінами, між ними та поза ними, з метою розуміння сучасного світу під імперативом єдності знань (рис. 4).

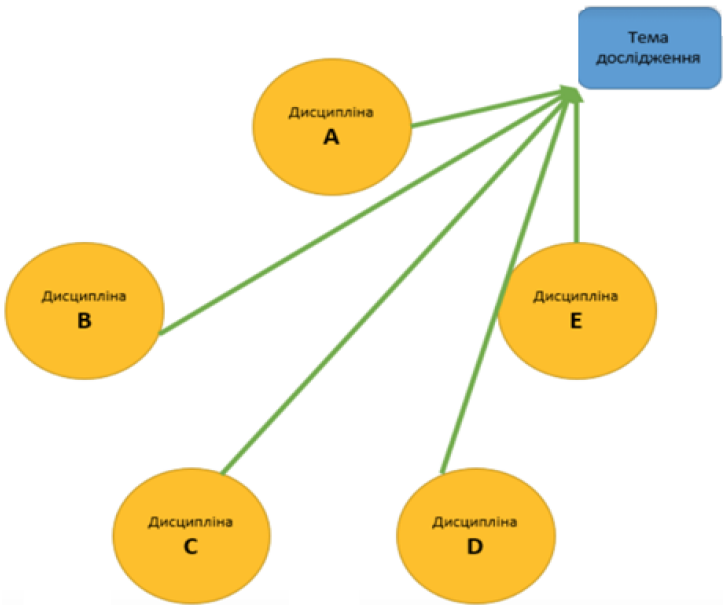

Рис. 4. Ілюстрація поняття трансциплінарного підходу

Незважаючи на потенційні переваги та посилену увагу до інтегрованої STEM-освіти, впровадження цієї навчальної стратегії стикається з кількома проблемами, на які вказують різні дослідники. Перш за все впровадження інтегрованого STEM-підходу в освітню систему, яка має дуже усталену, засновану на дисциплінах, структуру, вимагає глибокої перебудови навчальної програми та уроків [21]. Більше того, інтегрована STEM-освіта часто вимагає додаткових дидактичних матеріалів, освітніх ресурсів та

таких засобів для учнів, як-от: будівельні інструменти (наприклад, пилки, вимірювальні прилади та молотки), електронні прилади (наприклад, комп'ютери, конструкторські програми, набори робототехніки та калькулятори) та інші матеріали, що використовуються в дизайні (наприклад, дерево, пінопласт, клей, картон або будівельний папір) [22]. Отже, створення шкільної культури та середовища, що підтримує інтегрований STEM-підхід до викладання та навчання, може бути дорогим та трудомістким [21]. Це вимагає створення екосистеми для забезпечення освітніх потреб учасників навчального процесу при впровадженні STEM [23]. Крім того, для ефективної реалізації STEM-освіти вчителі повинні глибоко знати науковий, технологічний, інженерний та математичний зміст, якому вони навчають, а також вони повинні мати спеціалізовані знання про те, як навчати учнів змісту STEM, тобто мати спеціальні педагогічні знання та вміння. Разом з тим багато вчителів повідомляють, що вони почуваються недостатньо готовими використовувати програми STEM зі своїми учнями в класі [24]. Більше того, дослідження Ель-Дегейді та Мансура показало, що вчителі недостатньо розуміють значення Т (технології) в складі STEM і що вони можуть не мати достатнього розуміння з основ наук, технологій та взаємодії між цими двома дисциплінами. Переконання та погляди вчителів щодо викладання та навчання, а також їх неготовність чи відсутність мотивації змінити свої переконання та практику можуть створити ще одну проблему для впровадження STEM-освіти [25]. На додаток до проблем пошуку ресурсів та недостатніх знань учителя ще однією проблемою для впровадження інтегрованої STEM-освіти є відсутність консенсусу щодо того, як слід здійснювати інтегроване навчання та навчання STEM [26].

Одним з підходів упровадження інтегрованої STEM-освіти є розвиток наукової освіти. Незважаючи на розуміння вчителями важливості сучасних освітніх трендів, формування у вчителів базових компетентностей наукової освіти є важливим завданням для створення та підтримки повноцінної екосистеми STEM [13].

Освітня екосистема – це середовище, яке дозволяє учням зануритися в різні точки для залучення до навчання. Термін навчальна екосистема використовувався як спосіб описати взаємодію різних компонентів у навчальному середовищі. Наприклад, у статті [27] автори зазначають, що особи, які навчаються в екосистемі, можуть створювати групи та стихійно взаємодіяти так само, як організми в межах біологічної екосистеми. Те, як різні зацікавлені сторони виконують свої функції та адаптуються, може сприяти або перешкоджати успіху освітньої екосистеми.

Згідно з доповіддю про STEM-підхід, "екосистема навчання STEM охоплює школи, установи громади, такі як позашкільні та літні школи, наукові центри та музеї, а також неформальне навчання вдома та в різноманітних середовищах, які разом складають багатий спектр можливості навчання для молоді» [28].

Екосистеми STEM-освіти забезпечують архітектуру міжсекторного навчання, пропонуючи всім молодим людям доступ до навчальних середовищ, багатих на STEM, щоб вони могли розвивати важливі навички та брати участь у дослідженнях в науці, технологіях, техніці та математиці. Потужні освітні екосистеми STEM мають динамічну співпрацю між школами, позашкільними установами та проєктами, експертними установами STEM (такими як музеї, наукові центри, вищі навчальні заклади та професійні асоціації STEM), приватним сектором, громадськими організаціями, молоддю та сім'ями [29].

У цифровий вік екосистеми STEM можуть бути фізичними або віртуальними (цифровими) [30]. Цифрова екосистема STEM-освіти передбачає широке використання цифрових технологій для забезпечення освітньої діяльності її учасників та розвиток відповідних мережних спільнот для ефективної комунікації у віртуальному просторі.

Екосистеми STEM-освіти складають учасники та інфраструктура (рис. 5). Усі учасники активно співпрацюють між собою задля досягнення освітньої мети, використовуючи нові мережні об'єднання - соціальні, професійні та освітні спільноти. "Неживі" компоненти є частиною освітніх екосистем і містять контент, фізичне середовище, засоби навчання та технології. Екосистеми навчання різняться залежно від спрямованості зацікавлених сторін. Багато хто використовує цей термін, щоб зосередити увагу на ролі технологій у навчанні. Однак водночас, на нашу думку, акцент потрібно робити, як зокрема пропонують автори К. Гу, К. Крук, М. Спектор [31], на впровадженні інновацій за допомогою технологій. Крім того, деякі дослідники підкреслюють важливість такого фактору навчальної екосистеми, як доступність [32].

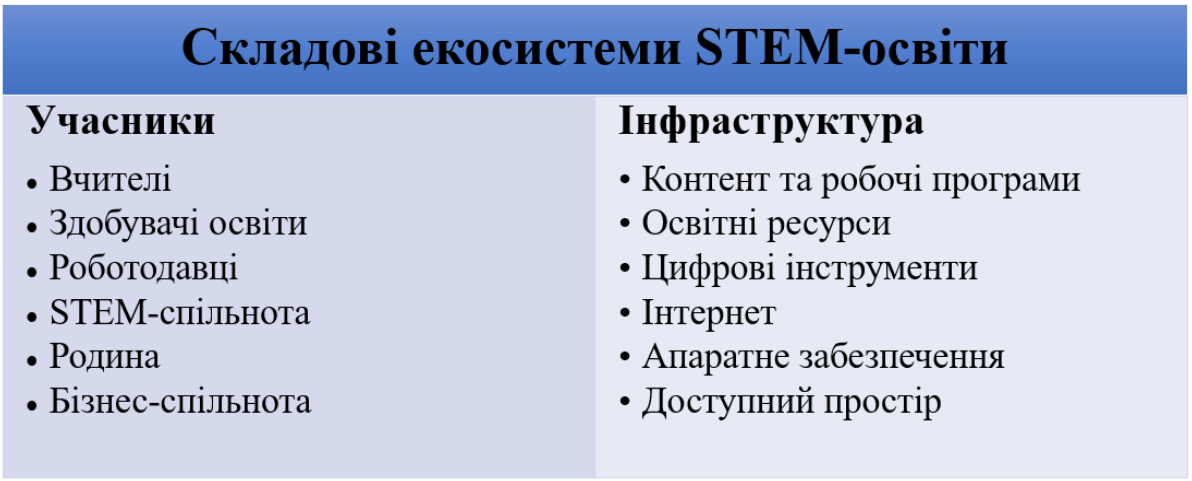

Рис. 5. Складові екосистеми STEM-освіти

Подібно до природної екосистеми, освітня екосистема реагує як єдине ціле, коли змінюється будь-який з її компонентів. Разом з тим за необхідності отримання повної картини можна змінити фокус при аналізі кожного елемента освітньої екосистеми, як це часто роблять дослідники природної екосистеми. Ми погоджуємося з думкою багатьох дослідників, що необхідно розуміти поняття освітньої екосистеми, як системи, що не контролюється однією складовою, а як серії складних взаємозв'язків між багатьма зацікавленими складовими, якщо фокусуватися на її учасниках [32].

Разом з тим доцільно проаналізувати, як на кожний елемент освітньої екосистеми впливають зміни інших складових. Розглянемо на прикладі екосистеми STEM-освіти, яку роль в її розвитку відіграють окремі складові, зокрема цифрові технології.

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Для визначення шляхів розбудови складових екосистеми STEM-освіти, їх впливу на інші її складові в дослідженні використовувався комплекс емпіричних (анкетування вчителів закладів загальної середньої освіти та студентів ЗВО педагогічних спеціальностей) методів, а також аналіз отриманих результатів. До участі в анкетуванні були залучені 105 респондентів, серед яких студенти Київського університету імені Бориса Грінченка педагогічних спеціальностей та вчителі закладів загальної середньої освіти різних регіонів України.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

До переваг STEM-підходу можна зарахувати [33]:

- ✓ Інтегроване навчання по «темах», а не з предметів.
- ✓ Застосування науково-технічних знань у реальному житті.
- ✓ Розвиток навичок критичного мислення та розв'язування проблем.
- ✓ Підвищення впевненості у власних силах.
- ✓ Активна комунікація та командна робота.
- ✓ Розвиток інтересу до технічних дисциплін.
- ✓ Креативні та інноваційні підходи до проєктів.
- ✓ Зв'язок між навчанням і кар'єрою.
- ✓ Підготовка дітей до технологічних інновацій життя.

Думка, що залучення та навчання STEM відбувається лише на інтегрованих предметах у шкільних класах чи спеціалізованих програмах, – хибна. Зацікавленість, мотивація, інтереси, розуміння, формування вмінь учнів можуть розвиватися в різних середовищах, періодах та при виконанні різних суспільних ролей. Багато спільнот застосовують підхід "екосистеми STEM-освіти", щоб визначити складові процесу реалізації STEM, найкращі підходи для його реалізації, вимоги та часові рамки, збагатити та посилити можливості учасників та розширити участь у STEM проєктах.

Екосистема STEM-освіти складається з місць, ідей, установ та людей, доступних для підтримки навчання та залучення до освітнього процесу [34], та інфраструктури, яку можна зарахувати до необхідних умов її розвитку при цифровій трансформації освіти.

Кожна складова екосистеми STEM-освіти безпосередньо впливає на якість вивчення STEM-предметів. Як і природні, освітні екосистеми еволюціонують з часом. Зокрема на формування сприйняття та участі в ній учасників сьогодні впливає історія її змін: як розвивалась освітня екосистема, хто брав участь, що сприяло розвитку, які освітні результати досягалися. Тому важливим фактором формування екосистеми STEAM-освіти є дослідження поточного стану розвитку всіх її складових.

Будь-яка стійка екосистема характеризується визначеною функціональною структурою, стабільністю, різноманітністю та місцевою адаптацією. Для ефективного функціонування екосистеми STEM-освіти доцільно співпрацювати з іншими провайдерами STEM, щоб дізнатись, як посилити, доповнити кожну з її складових, що дозволить поєднувати різноманітні підходи інтегрованого навчання.

Розглянемо деякі складові екосистеми STEM-освіти відповідно до аналізу отриманих результатів дослідження.

Складові, що належать до формальної освіти в екосистемі STEM-освіти, мають за мету надання професійної підтримки вчителями в галузі STEM, розробку освітніх програм та ресурсів, добір форм та методів для реалізації підходів STEM-освіти, надання можливості участі в STEM-проєктах усім потенційним учасникам екосистеми, які допомагають учням аналізувати та вирішувати реальні проблеми на рівні школи, району, міста тощо. Проведене в ході дослідження опитування респондентів вказує на потреби та готовність учителів до впровадження STEM, рівень яких залежить від форми закладу освіти – державного чи приватного – та освітньої політики щодо впровадження інтегрованого навчання. Зокрема відсоток респондентів, які вказали, що в їх школах реалізується STEM, з приватних шкіл більший, ніж з державних (рис.6). Це свідчить про безпосередній зв'язок розвитку цього напряму з різним рівнем матеріального забезпечення освітнього процесу, швидкістю впровадження інновацій у державних та приватних закладах освіти та різним визначенням освітньої політики окремими освітніми установами.

Рис.6. Відсоток респондентів, які вказали, що в їх школах реалізується STEM (приватні та державні школи)

66% усіх опитаних вказали, що STEM-уроки в їх школах можливі за умов оснащення шкіл відповідним забезпеченням, 28,9% визначають, що впровадження STEM можливе на уроках як обов'язкова складова навчального плану (рис.7).

Рис. 7. Результати опитування щодо можливості впровадження STEM на уроках

Найважливішими причинами, які гальмують упровадження STEM в школах, респонденти визначили: облаштування спеціалізованих STEM-лабораторій – 70%, підготовка вчителів з питань методики впровадження STEM – 60%, підготовка вчителів з використання цифрових ресурсів та інструментів для STEM – 57% (рис.8).

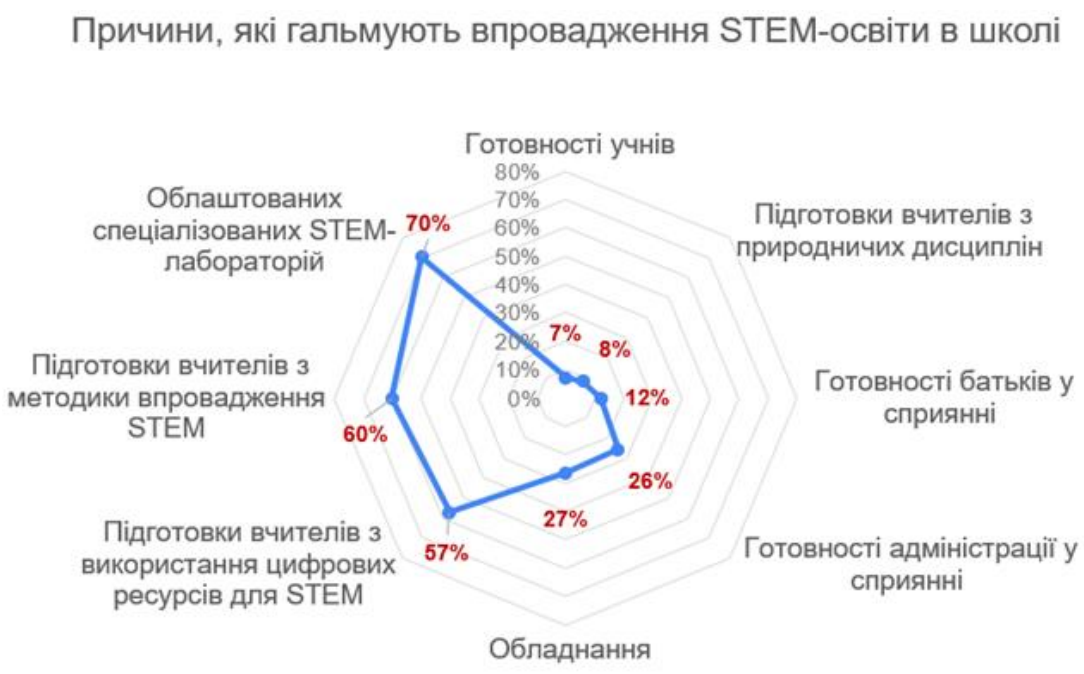

Рис.8. Результат опитування щодо причин, які гальмують впровадження STEM-освіти в школі

Роль **батьків** у формуванні освітньої екосистеми STEM є не менш важливою. 31% опитаних визначили важливим готовність батьків сприяти впровадженню STEM-освіти. Дослідження показують, що родина має один з найбільших впливів на зацікавленість молоді у STEM-освіті та наполегливість у її здобутті [35]. Проте коли йдеться про залучення зусиль членів родини для успіху молоді при навчанні основам STEM у неформальних інституціях, то результати опитування вказують на існування розриву від практичної реалізації на практиці допомоги батьків в цьому навчанні.

Створення спільнот як середовища для обміну практиками та комунікації є природним процесом для вдосконалення функціонування екосистеми. Не винятком є і **STEM-спільноти**. В основі їх діяльності – аналіз та побудова навчальних програм, координація інструкцій, сприяння професійному розвитку вчителів та участь у різних рішеннях, що мають фундаментальне значення для розвитку освітньої екосистеми STEM. В Україні вчителі використовують спільноти Facebook («Відділ STEM-освіти ІМЗО», «Якість освіти», «Уміти вчити»), де можна ознайомитися з новинами освіти, обмінятись досвідом, корисними матеріали, взяти участь у дискусіях тощо. У мережі Microsoft «Партнерство в навчанні» розміщуються розробки уроків, навчальні курси, поради та ідеї щодо використання сервісів Microsoft у навчанні; а освітня спільнота «GEGUkraine» обговорює ідеї та поради щодо використання сервісів Google у навчанні тощо.

Бізнес-спільнота в екосистемі STEM-освіти теж займає важливу роль: бізнесмени діляться власним досвідом, формулюють проблеми з реального життя, надають благодійну підтримку, доступ до технічних засобів, яких бракує в школі, беруть участь в оцінюванні та супроводі інноваційних проєктів та стартапів. Бізнес-спільнота може залучати здобувачів освіти до реальних процесів виробництва, використання цифрових інструментів для організації проєктної діяльності тощо. Зокрема в Україні організовують різноманітні заходи для підтримки інноваційних ідей. Так, щороку від 2017-го, відбувається GET Business Festival, який об'єднує понад 3000 підприємців та профільних фахівців задля обміну ідеями, партнерства та покращення бізнес-клімату в

Україні, де бажаючі можуть поділитися власними стратегіями (https://get.delo.ua). До таких спільнот активно долучаються учні.

Одним з важливих кроків для успішного впровадження STEM-освіти із залученням усіх складових екосистеми є розвиток наукової освіти, яка спирається на вміння та навички учнів проводити наукове дослідження та сформовані в учнів STEM-компетентності. Це підтверджує і результат опитування щодо важливості інноваційних методів та педагогічних технологій, які доцільно використовувати при впровадженні STEM-освіти. Респонденти визначали для кожного з методів важливість за шкалою від 1 до 5, де 1 - зовсім неважливо, 5 - дуже важливо. Зокрема для дослідницько-пізнавального навчання та методу проєктів цей коефіцієнт важливості є найвищим (рис.9).

	Коефіцієнт важливості
Дослідницько-пізнавальне навчання	0,74
Метод навчальних проєктів	0,61
Проблемно-орієнтоване навчання	0,55
Мейкерство	0,44
Колаборативне навчання	0,42
Технології перевернутого класу	0,42
Змішане навчання	0,42
Формувальне оцінювання	0,36
Сторітеллінг	0,32
Мікронавчання	0,31

Рис.9. Результати опитування щодо важливості інноваційних методів та педагогічних технології у STEM-освіті

Дослідницько-пізнавальне навчання вимагає проведення наукового дослідження, що передбачає розвиток важливих навичок, які поділяються на дві групи: навички організації наукових процесів та маніпулятивні навички.

Маніпулятивні навички стосуються переміщення або використання об'єкта для досягнення мети або виконання завдання. До них у контексті STEM-підходу належать [36]:

- використання обладнання для проведення досліджень;
- правильна й безпечна підтримка обладнання для проведення досліджень;
- правильне очищення обладнання для проведення досліджень; правильна та ретельна обробка зразка.

Навички організації наукових процесів (science process skills) сприяють формуванню звички аналізувати матеріали та явища, властивості яких необхідно дослідити, та безпечно ними користуватися. Їх сформованість може призвести до розуміння нових наукових ідей та концепцій, вони є спільними для дослідження в багатьох наукових дисциплінах та відображають поведінку вчених та дослідників. Навички організації наукових процесів - це навички, які вчені використовують для вивчення та дослідження світу. Вони є важливими при створенні змісту та визначенні понять [37].

Відповідно до матеріалів проєкту SAPA (Science – A Process Approach) навички організації наукових процесів згруповано за двома типами – базові (табл. 1) та інтегровані (табл.2). Базові (більш прості) забезпечують основу для засвоєння інтегрованих (більш складних) навичок [38].

Таблиця 1

Базові навички організації наукових процесів

Навичка	**Опис**	**Приклад**
Спостереження (Observing)	Використання органів чуття для збирання інформації про об'єкт або подію	Яка траєкторія руху падіння листочка з дерева? Опис будови парашуту.
Умовивід/ Припущення (Inferring)	Створення "обґрунтованої здогадки" про об'єкт або подію на основі попередньо зібраних даних або інформації. Процес мислення, у результаті якого з одного або кількох суджень виводиться нове судження, у якому міститься нове знання	Припущення, що на об’єкти, які падають, діють певні сили
Вимірювання (Measuring)	Використання стандартних та нестандартних вимірювань або оцінок для опису розмірів об'єкта або події	Який матеріал використовують для виготовлення парашутів? Чи важлива форма парашута? Виміряти матеріали для створення прототипу.
Комунікація (Communicating)	Використання слів або графічних символів для опису дії, об'єкта або події	Опис зміни часу приземлення парашута в залежності від його будови в письмовій формі або за допомогою графіка
Класифікація (Classifying)	Групування або впорядкування об'єктів або подій за категоріями на основі властивостей або критеріїв	Розміщення всіх моделей паперових парашутів, що мають певний розмір куполу основного парашута, довжини строп в одну групу
Прогнозування (Predicting)	Уявлення результату майбутньої події на основі видимих/ очевидних доводів або попередніх спостережень	Прогнозування часу приземлення парашута в залежності від його будови на основі графіка

Таблиця 2

Інтегровані навички організації наукових процесів

Навичка	**Опис**	**Приклад**
Управління змінними (Controlling variables)	Ідентифікація змінних, які можуть впливати на результат експерименту; збереження основних факторів незмінними та заміна лише незалежної змінної	Усвідомлення з попереднього досвіду того факту, що висоту запуску парашута та вагу парашутиста потрібно контролювати і залишати незмінними під час експерименту, щоб побачити, як саме будова парашута впливатиме на час приземлення
Оперативне визначення (Defining operationally)	Визначення вимірювання змінної, об’єкта або його властивостей, таких як розмір, об’єм, тривалість, кількість, розширення в просторі тощо	Зазначимо, що час приземлення буде вимірюватися в секундах

Формулювання гіпотез (Formulating a Hypothesis)	Висунення ймовірного припущення результату експерименту. Здогад, положення, яке тимчасово вважається можливо істинним, поки не встановлена істина. Правильна гіпотеза має базуватись на конкретних даних, містити незалежні та залежні змінні, може бути перевірена в результаті експерименту	Чим більша площа купола основного парашута, тим довше буде приземлятися парашут. Якщо зробити (…), то в результаті отримаємо (…) чи відбудеться (…)
Інтерпретація даних (Data Interpretation)	Організація даних та висновки на їх основі	Записування даних з експерименту на час приземлення в таблиці та формулювання висновку, який встановлює взаємозв'язок між отриманими даними відповідно до змінних
Експериментування (Experimenting)	Здатність проводити експеримент, зокрема ставити відповідне питання або визначати проблему, висувати гіпотезу, визначати та контролювати змінні, операційно визначати ці змінні, проводити "чистий" експеримент та інтерпретувати його результати	Весь процес організації експерименту щодо впливу будови парашуту на час приземлення
Формулювання моделей (Formulating Models)	Створення ментальної або фізичної моделі процесу або події	Модель того, як запускається, приземляється парашут згідно аеродинамічних властивостей конструкції

Другим за важливістю методом у STEM-освіті було визначено **метод проєктів,** який орієнтовано на самостійну діяльність учнів – індивідуальну, парну, групову, яку учні виконують протягом певного відрізка часу [39].

Ознаками проєктної діяльності є:

- Наявність значущої для учнів реальної проблеми, що стосується або їх потреб і потреб їх родин чи громади.
- Самостійна дослідницька діяльність учнів, яка завершується розв'язком зазначеної проблеми за допомогою створення реального продукту, результату.
- Розв'язання проблеми передбачає інтегрування знань з різних предметних галузей.
- У створенні продукту дослідження повинні брати участь усі учні, водночас має переважати спільна діяльність та ефективна комунікація.
- Використання сукупності дослідницьких, проблемних методів.
- Презентація результатів діяльності.
- Учитель у межах проєкту виконує роль розробника, координатора, експерта і консультанта.

При використанні методу проєктів має відбуватися зміна поведінки учня [33]:

- від виконання команд до самостійно спрямованої навчальної діяльності;
- від запам'ятовування та повторення до відкриття, поєднання та презентації;
- від слухання та реагування до спілкування та прийняття відповідальності;
- від знань фактів, термінів та змісту до розуміння процесів;
- від теорії до застосування теорії;

– від залежності від учителя до озброєного знаннями учня.

Описані підходи при впровадженні екосистеми STEM-освіти передбачають використання цифрових середовищ та інструментів.

Правильно дібрані цифрові інструменти для підтримки освітньої екосистеми дозволяють зробити процес навчання STEM максимально вмотивованим і ефективним, у той час як неувага до них призводить до одноманітності, незацікавленості та витрати зайвих ресурсів (сил, енергії та часу) усіх учасників освітнього процесу. До цифрових інструментів та сервісів освітньої екосистеми STEM, які допомагають учителю досягати освітніх цілей в умовах упровадження змішаного та дистанційного навчання, належать (табл. 3):

Таблиця 3

Цифрові інструменти для підтримки освітньої екосистеми STEM

Призначення цифрових інструментів	**Приклади цифрових інструментів**
Інструменти для створення електронного контенту	
Лонгріди	*Atavist, Medium, Ready Mag, ShortHand*
Створення і редагування зображень	*Canva, GIMP, Awesome Screenshot*
Візуалізація	*Visme, Easel.ly, Google Charts, Piktochart, Venngage, Canva*
Створення презентацій	*Prezi, Moovly, Emaze, Beautiful.ai*
Створення інтерактивного контенту	*LearningApps, Ceros , Mapme, Apester, Playbuzz, Biteable, Playbuzz*
Захоплення екрану	*Snagit, Greenshot, Fireshot, Lightscreen*
Створення відео	*Mozilla Popcorn Maker, Meograph, Windows Live Movie Maker, Avidemux, DaVinci Resolve, iMovie*
Створення колажів	*Canva, Pro-photos, Mycollages*
Створення коміксів	*Paint, Power Point, Tux Paint, Pixton, Storybird, Animatron*
Створення мультфільмів	*Powtoon, Animaker*
Створення хмаринок слів	*Tagul, Tagxedo, Wordle і Word Clouds*
Інтерактивні книги та інтерактивні аркуші	*Smilebox, Storyjumper, Live Worksheets*
Інструменти різного призначення	
Організація вебінарів	*Zoom, Google Meet, Skype, Cisco Webex Meetings, Microsoft Teams*

Організація спілкування через месенджери	*Viber, WhatsApp, Telegram, Slack*
Управління навчальною груповою роботою	*Microsoft Teams, Granatum, Тренинг Спейс*
Залучення та проведення опитувань	*Kahoot!, Socrative, Plickers, Quizizz, Quizalize, Mentimeter, Classtime, Mentimeter, Poll Everywhere, Google Forms, EDpuzzle, ClassMaker*
Організація спільної роботи з документами	*Notion, G Suite*
Створення ментальних мап	*XMind, Mindmeister, Mindjet Coggle, WiseMapping, Mind42, FreeMind, Spider Scribe, Mindomo*
Віртуальні цифрові дошки	*WikiWall, Tutorsbox, Glogster, Dabbleboard, Twiddla, Scribblar, Padlet, Educreations, Popplet, Realtimeboard (Miro), Twiddla*
Організації дослідницько-пізнавального навчання	*Go-Lab ecosystem*
Система управління навчанням	
Moodle, Google Classroom, Go-Lab ecosystem	

Результати проведеного опитування свідчать, що найбільшу зацікавленість при проведенні STEM-уроків учителі виявляють до використання віртуальної, змішаної та доповненої реальності, віртуальних лабораторій, 3D принтерів, робототехнічних наборів та засобів для моделювання об'єктів і процесів та створення анімації. Водночас респонденти вказали на брак відповідних засобів навчання для впровадження STEM-освіти (рис.11).

Рис.11. Результат опитування щодо браку засобів навчання при впровадженні STEM-освіти

Це, своєю чергою, пояснює високу зацікавленість учителів у вдосконаленні своїх компетентностей щодо використання цифрових інструментів, що належать до таких груп: віртуальні лабораторії, 3D принтинг, віртуальна, змішана і доповнена реальність, інструменти для програмування, віддалені лабораторії, е-навчальні ігрові середовища (рис. 12).

Групи цифрових інструментів	Кількість зацікавлених
Інструменти для взаємооцінювання	24
Інструменти для групової роботи	31
Дослідницько-пізнавальні середовища	35
Інструменти для організації проєктної діяльності	41
Інструменти для сторітелінгу	41
Е-навчальні ігрові середовища	53
Відділені лабораторії	54
Інструменти для програмування	60
Віртуальна, змішана і доповнена реальність	61
3-D друк	65
Віртуальні лабораторії	72

Рис. 12.Результати опитування щодо зацікавленості вчителів до ознайомлення з групами цифрових інструментів

Віртуальні лабораторії, до яких учителі виявили найбільший інтерес, є сучасними інструментами для проведення навчального експерименту, що є важливою складової наукової освіти. Перевагами віртуальних лабораторій, які використовують технологію онлайнового моделювання явищ та процесів, є:

- їх доступність для всіх учасників освітнього процесу в будь-який час;
- ефективне наочне представлення процесів і явищ;
- зменшення витрат на обладнання та реактиви;
- можливість організації змішаного навчання: у віртуальних лабораторіях учні мають можливість застосовувати те, що вивчали, теоретично, експериментувати та практикувати стільки разів, скільки захочуть;
- безпека проведення експериментів;
- постійно оновлення та вдосконалення контенту;
- вільний доступ до більшості безкоштовних ресурсів;
- необмежений час на проведення експериментів;
- можливість пояснити складні поняття та процеси через експеримент.

Приклади ресурсів для проведення експериментів у віртуальних лабораторіях:

- програмні продукти Yenka для демонстрації симуляцій з математики, фізики, хімії, природничих наук (http://www.yenka.com);
- інтерактивний сайт «Інтерактивні симуляції» Phet (Physics Education Technology http://phet.colorado.edu);
- ресурс з мультидисциплінарним контентом та технологічними інструментами з відкритим кодом, що допомагають учителям забезпечити навчання з використанням симуляцій CK-12 (https://interactives.ck12.org/simulations/physics.html);

– демонстраційний проєкт WOLFRAM - частина сімейства безкоштовних інтернет-ресурсів (https://demonstrations.wolfram.com).

Зацікавленість групою цифрових інструментів для 3D друку пояснюється тим, що дана технологія дає змогу створювати будь-які тривимірні моделі, за допомогою яких можна наочно вивчати об'єкти, що вивчаються за навчальною програмою. 3D принтери в освіті дозволяють отримати наочні моделі, реальні прототипи для дослідження, прискорити і здешевити виробництво різних видів фізичних об'єктів.

Існує багато цифрових інструментів для створення 3D об'єктів. Прикладами ресурсів, де можна знайти готові моделі, є: Sketchfab (https://www.sketchfab.com), Grabcad (https://www.grabcad.com), Thingiverse (https://www.thingiverse.com). Інструменти для створення 3D моделей: Tinkercad (https://www.tinkercad.com/), SketchUp (http://www.sketchup.com), Blender (https://www.blender.org). Після завантаження чи створення моделі потрібне програмне забезпечення для слайсингу об'єкта: Cura (https://www.ultimaker.com/en/products/cura-software), Repetier (https://www.repetier.com/), Slic3r (http://www.slic3r.org/). Під час 3D-друку інколи виникає проблема з об'єктом (неякісна модель, проблеми з програмним забезпеченням, тощо), тому потрібні програми, які перевіряють файли на типові помилки і допомагають виправити їх: Makeprintable (https://makeprintable.com), Netfabb Basic (https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview).

Технології віртуальної, змішаної та доповненої реальності розвинулись від сумнівно перспективних до широко використовуваних і впроваджуваних. Якщо реальних досліджень віртуальної та змішаної технологій у педагогіці здійснюється вкрай мало, в силу їх недоступності, браку дослідження їх впливу на психологічний та фізичний стан учнів, високих матеріальних витрат при їх запровадженні, то доповнена реальність широко використовується в освітньому процесі не лише для підвищення мотивації учнів до навчання, а і для унаочнення освітнього контенту. До AR-додатків, які можуть використовуватись на STEM-уроках, належать: енциклопедія з доповненою реальністю IEXPLORE, «Органічні сполуки. АТЛАС-ДОВІДНИК», "LiCo.STEM", "Тварини 4D", "Анатомія 4D", "Планети 4D", "Елементи 4D", Spacecraft 3D, Star Walk 2, Amazing Space Journey, Atom Visualizer, Electricity AR, Da Vinci Machines AR, LandscapAR, CleverBooks Geography, CleverBooks Geometry, Skyscrapers AR, Bridges AR, Quiver – 3DColoring App, AR Flashcards – Animal Alphabet, My Cardiac Coach тощо.

5. ВИСНОВКИ

Необхідність формування екосистеми STEM-освіти за умов зміни ринку праці, ризиків, які несе світові четверта індустріальна революція, визначення її впливу на освітній процес є важливими завданнями, що стоять перед освітою. У цих умовах для забезпечення нового державного стандарту освіти України, успішного впровадження технологій інтегрованого навчання важливим є об'єднання зусиль державних та приватних освітніх установ (формальних та неформальних), бізнесу та громад, яке може відбуватися зокрема при проєктуванні та розвитку освітньої екосистеми на державному, регіональному та локальному рівнях. Вирішенню цього завдання сприяє розвиток екосистеми STEM-освіти, у якій кожен її учасник має свої завдання для досягнення основних освітніх цілей, пов'язаних з розвитком наукової освіти та формуванням відповідних компетентностей у вчителів та учнів. Усі складові екосистеми STEM-освіти безпосередньо впливають на якість вивчення STEM-предметів.

В умовах обмеженого фінансування освіти першочергово потрібно працювати над удосконаленням "живої" складової - тобто проводити навчання керівників освіти,

учителів, батьків та учнів; демонструвати кожному із стейкхолдерів важливість цього напряму для майбутнього кожного члена громади. Дуже важливо активізувати бізнес з метою більш активного залучення та допомоги не лише у розвитку "неживої" складової екосистеми, а й у процесі демонстрування кращих практик, успішних індивідуальних та колективних проєктів розвитку інноваційних процесів. Бізнес може допомогти громаді та освітнім закладам у створенні шкільної культури та середовища, освітніх міжшкільних STEM-центрів, що підтримують інтегрований STEM-підхід до викладання та навчання.

Аналіз продемонстрував, що успішне впровадження STEM-освіти передбачає розвиток наукової освіти. Для формування базових та інтегрованих навичок організації наукового процесу (process skills) учителі мають володіти технологіями дослідницько-пізнавального навчання та методом навчальних проєктів. При впровадженні екосистеми STEM-освіти рекомендовано використовувати різні міждисциплінарні підходи: інтердисциплінарний, кроссдисциплінарний, трансдисциплінарний, мультидисциплінарний.

Проведене опитування студентів та вчителів підтвердило, що однією з головних причин, які гальмують впровадження STEM-освіти в школі, є підготовка вчителів та відсутність STEM-лабораторії. Оскільки вчителі є важливою рушійною силою у розбудові екосистеми STEM-освіти, вони потребують підвищення кваліфікації з таких питань:

- основні поняття та шляхи впровадження наукової освіти;
- міждисциплінарні підходи в освітньому процесі;
- використання таких інноваційних педагогічних технологій, як-от: метод навчальних проєктів та технології дослідницько-пізнавального навчання;
- використання цифрових інструментів для підтримки STEM-освіти в ході організації змішаного навчання: дослідницько-пізнавальних віртуальних середовищ навчання, доповненої та віртуальної реальності, віртуальних та віддалених лабораторій тощо.

Аналіз ринку праці та опрацьованих джерел демонструють необхідність використовувати сучасні цифрові інструменти, добирати та створювати онлайн середовища, які допоможуть сформувати необхідні компетентності не лише для досягнення освітніх цілей, але й підвищення ефективності навчання в цілому. Учителі недостатньо розуміють значення Т (технології) у складі STEM, тому виділено групи цифрових інструментів, які необхідні для розвитку екосистеми STEM-освіти. Ці засоби сприятимуть підвищенню ефективності освітнього процесу, допоможуть зробити навчання STEM цікавим та продуктивним.

Перспективами подальших досліджень вбачаємо аналіз інфраструктури екосистеми STEM-освіти, створення програми підвищення кваліфікації вчителів з питань інтеграції основ наук в освітньому процесі, визначення важливості застосування інноваційних методів у STEM-освіті, розробку методики навчання STEM-предметів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Закон України про освіту. [Електронний ресурс]. Доступно: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 . Дата звернення: 04.03.2021.

[2] Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Розпорядження Кабінету міністрів від 5 серпня 2020 р. № 960-р.

[3] The Digital Education Action Plan (2021-2027). [Електронний ресурс]. Доступно: https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/digital-education-action-plan_en. Дата звернення .: 30.03.2021

[4] M. V. Bøe, E.K.Henriksen, T.Lyons and C.Schreiner, “Participation in science and technology: young people’s achievement-related choices in late-modern societies”. *Studies in Science Education*, vol. 47, № 1. P. 37—72. 2011.doi: https://doi.org/10.1080/03057267.2011.549621 Дата звернення: 30.03.2021
[5] R. W. Bybee, “Advancing STEM education: A 2020 vision”. *Technology and Engineering Teacher*, vol. 70, № 1. P. 30—35. 2010.
[6] National Academy of Engineering and National Research Council. STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research. Washington, DC : The National Academies Press, 2014.
[7] R. W. Bybee, «What is STEM education?». *Science*. 2010. Vol. 329, № 5995. P. 996. doi: https://doi.org/10.1126/science.1194998
[8] Державний стандарт повної загальної середньої освіти. Постанова КМУ №898 від 30.09.2020 р. [Електронний ресурс]. Доступно: https://osvita.ua/legislation/Ser_osv/76886/ . Дата звернення: 17.03.2021
[9] «Підсумки Всесвітнього економічного форуму у Давосі (2019): висновки для України». Аналітична записка. [Електронний ресурс]. Доступно: https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/pidsumki-vsesvitnogo-ekonomichnogo-forumu-u-davosi-2019-visnovki-dlya Дата звернення: 04.12.2020
[10] European Commission. Science education for responsible citizenship. Report to the European Commission of the expert group on science education. 88 p. 2015.doi: https://doi.org/10.2777/12626 Accessed on: 30.03.2021
[11] С. Бабійчук, «Наукова освіта як педагогічний концепт». *Молодь і ринок*, №2(157), 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: http://mir.dspu.edu.ua/article/view/126827/121696. Дата звернення: 17.03.2021
[12] Ю. Гоцуляк, «Наукова освіта в Україні: теоретичний та нормативно-правовий контекст», *Освіта та розвиток обдарованої особистості*. № 4. с. 5-11, 2016.
[13] Л.М. Гриневич, Н.В. Морзе та М.А. Бойко, «Наукова освіта як основа формування інноваційної компетентності в умовах цифрової трансформації суспільства». Інформаційні технології і засоби навчання, том 77. №3. С.1-26.doi: https://doi.org/10.33407/itlt.v77i3.3980 Дата звернення: 17.03.2021
[14] J. Furner and D. Kumar, «The mathematics and science integration argument: A stand for teacher education». *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology*, vol. 3, № 3. P. 185—189. 2007.: doi: https://doi.org/10.12973/ejmste/75397 Дата звернення: 30.03.2021
[15] C. Czerniak, W. Jr. Weber, A. Sandmann , J. Ahern, «Literature review of science and mathematics integration». *School Science and Mathematics*, vol. 99, № 8. P. 421—430. 1999.doi: https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1999.tb17504.x Дата звернення: 30.03.2021
[16] G. M. Balslev, D. K .Hendrichsen and B. Ribers, «Education for Sustainability through STEM Ecosystems:: STEM in Lower Secondary and Primary Education with the SchoolWeavers Tool as a Network PerspectiveC. *Educational Researcher*. 2021.
[17] J. L.Mondisa, B.W.L. Packard and B.L. Montgomery, «Understanding what STEM mentoring ecosystems need to thrive: A STEM-ME framework». *Mentoring & Tutoring: Partnership in Learning*, 1-26. 2021.
[18] А. Володченко, О. Стрижак та Г. Храпач, «Трансдисциплінарний характер операціональності розвитку обдарованості учнівської молоді», у *Навчання і виховання обдарованої дитини: теорія та практика*. Вип.1. 2016. С.100-110. [Електронний ресурс]. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nivoo_2016_1_13 Дата звернення: 17.03.2021
[19] L. R. Meeth, «Interdisciplinary Studies: A Matter of Definition». *Change: The Magazine of Higher Learning*, 10(7), p. 10. 2012. doi:https://doi.org/10.1080/00091383.1978.10569474
[20] H. K. Ilter, «Monodisciplinary vs Pluridisciplinary Research». 2015. [Електронний ресурс]. Доступно: https://hkilter.com/index.php?title=Monodisciplinary_vs_Pluridisciplinary_Research Дата звернення: 30.03.2021
[21] L. Nadelson and A.Seifert, «Integrated STEM defined: Contexts, challenges, and the future». *The Journal of Educational Research*, vol. 100, № 3. P. 221—223. 2017.doi: https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1289775 Дата звернення: 30.03.2021
[22] M. Stohlmann, T.J. Moore and G. Roehrig, «Considerations for teaching integrated STEM education». *Journal of Pre-College Engineering Education Research*. 2012. Vol. 2, № 1. P. 28—34.doi: https://doi.org/10.5703/1288284314653 Дата звернення: 30.03.2021
[23] Н.В. Морзе, В.П. Вембер, М.А. Бойко та Л.О. Варченко-Троценко, «Організація STEAM-занять в інноваційному класі». *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2020. № 8. С. 88—106. doi: https://doi.org/10.28925/2414-0325.2020.8.9 Дата звернення: 17.03.2021
[24] H. El-Deghaidy and N. Mansour, «Science Teachers’ Perceptions of STEM Education: Possibilities and Challenges». *International Journal of Learning and Teaching*, Vol. 1, № 1. 2015.P. 51—54.doi: https://doi.org/10.18178/ijlt.1.1.51-54 Дата звернення: 30.03.2021

[25] A. Asghar, R. Ellington, E. Rice, F. Johnson and G.M. Prime, «Supporting STEM education in secondary science contexts». *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, vol. 6, № 2. 2012. P. 85—125.doi: https://doi.org/10.7771/1541-5015.1349 Дата звернення: 30.03.2021
[26] L. Thibaut et al., «Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education». *European Journal of STEM Education*, vol. 3, № 1. 2018.doi: https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525 Дата звернення: 30.03.2021
[27] V. Chang and C.Guetl, «E-Learning Ecosystem (ELES) - A Holistic Approach for the Development of more Effective Learning Environment for Small-and-Medium Sized Enterprises (SMEs)». *IEEE*. 2007. doi:10.1109/DEST.2007.372010
[28] K. Traphagen and S. Traill, *How cross-sector collaborations are advancing STEM learning*. Los Altos, CA: Noyce Foundation. 2014.
[29] Why Cultivate STEM Learning Ecosystems? [Електронний ресурс]. Доступно: https://stemecosystems.org/what-are-stem-ecosystems/ Дата звернення: 30.03.2021
[30] Why an Ecosystem Approach Advances STEM Learning. [Електронний ресурс]. Доступно: https://blog.definedlearning.com/blog/stem-education-ecosystem Дата звернення: 30.03.2021
[31] X. Gu, C. Crook, M. Spector, «Facilitating innovation with technology: Key actors in educational ecosystems». *British Journal of Educational Technology*. 2019. doi: https://doi.org/10.1111/bjet.12786
[32] What Is a Learning Ecosystem? 2019. [Електронний ресурс]. Доступно: https://edtech.worlded.org/what-is-a-learning-ecosystem/ Дата звернення: 30.03.2021
[33] Н. Морзе, Т. Нанаєва та Н. Омельченко, *STEM в освіті. Навчальний посібник*. К.: ACCORD GROUP, 116 с. 2018.
[34] B. Bevan, C. Garibay and S. Menezes, «What Is a STEM Learning Ecosystem?». 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.informalscience.org/sites/default/files/BP-7-STEM-Learning-Ecosystem.pdfю Дата звернення: 30.03.2021
[35] M. Fleer and P. Rillero, «Family Involvement in Science Education: What are the Outcomes for Parents and Students?». *Studies in Science Education*, vol.34. 2008. pp.93-114.doi:https://doi.org/10.1080/03057269908560150
[36] H.M. Fadzil and R.M. Saat, «Exploring the influencing factors in students' acquisition of manipulative skills during transition from primary to secondary school». *In Asia-Pacific Forum on Science Learning & Teaching*, vol. 15, № 2. 2014.
[37] H.J. Funk, *Learning science process skills.* Kendall/Hunt Publishing Company, 2460 Kerper Blvd., Dubuque, IA 52001. 1985.
[38] M.J. Padilla, The Science Process Skills. [Електронний ресурс]. Доступно: https://narst.org/research-matters/science-process-skills . Дата звернення: 30.03.2021
[39] О.М. Ястребцова, «Пять вечеров: беседы о телекоммуникационных образовательных проектах». *Школьный* сектор, 2000 г.

Матеріал надійшов до редакції 07.04.2021 р.

Гриневич Лилия Михайловна
кандидат педагогических наук, доцент,
проректор по научно-педагогической и международной деятельности
Киевский университет имени Бориса Гринченко, г. Киев, Украина
ORCID ID 0000-0002-5818-8259
l.hrynevych@kubg.edu.ua

Морзе Наталья Викторовна
доктор педагогических наук, профессор, член-корреспондент НАПН Украины, профессор кафедры компьютерных наук и математики факультета информационных технологий и управления
Киевский университет имени Бориса Гринченко, г. Киев, Украина
ORCID ID 0000-0003-3477-9254
n.morze@kubg.edu.ua

Вембер Виктория Павловна
кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных наук и математики факультета информационных технологий и управления
Киевский университет имени Бориса Гринченко, г. Киев, Украина
ORCID ID: 0000-0002-4483-8505
v.vember@kubg.edu.ua

Бойко Мария Анатольевна
кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры компьютерных наук и математики факультета информационных технологий и управления
Киевский университет имени Бориса Гринченко, г. Киев, Украина
ORCID ID 0000-0003-0293-5670
m.boiko@kubg.edu.ua

РОЛЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ ЭКОСИСТЕМЫ STEM-ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация. В статье обосновано понятие и необходимость формирования экосистемы STEM-образования в условиях изменения рынка труда, рисков, которые несет миру четвертая индустриальная революция, определение ее влияния на образовательный процесс в реалиях сегодняшнего дня. Авторами исследованы теоретические основы понятия экосистема, междисциплинарные подходы и особенности внедрения интегрированной STEM-образования в учебный процесс, проанализированы составляющие образовательной экосистемы, доказано, что все они непосредственно влияют на качество изучения STEM-предметов. Проведен опрос для определения путей развития составляющих экосистемы STEM-образования, к участию в котором были привлечены 105 респондентов, студентов педагогических специальностей Киевского университета имени Бориса Гринченко и учителей учреждений общего среднего образования разных регионов Украины. Анализ показал, что успешное внедрение STEM-образования, с привлечением всех составляющих экосистемы, предусматривает развитие научного образования, в частности внедрение опытно-познавательного обучения (inquiry), метода учебных проектов в образовательный процесс и использование цифровых технологий в нем. Описаны навыки организации научного процесса (process skills), которые формируются при применении исследовательско-познавательного обучения, представлены примеры заданий для формирования базовых и интегрированных навыков организации научного процесса. Описаны признаки метода учебных проектов как одного из ключевых для развития научного образования и определены изменения в поведении учащихся при его применении. На основе исследования выделены группы цифровых инструментов, которые необходимы для развития экосистемы и способствовать повышению эффективности образовательного процесса, помогут сделать обучение STEM интересным и продуктивным; приведены примеры цифровых ресурсов и описана их роль в развитии экосистемы STEM-образования.

Ключевые слова: экосистема, STEM-образование; STEM-занятия; цифровые технологии; цифровые инструменты; навыки организации научного процесса; научное образование.

THE ROLE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF THE STEM EDUCATION ECOSYSTEM

Liliia M. Hrynevych
PhD of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Academic and International Affairs
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-5818-8259
l.hrynevych@kubg.edu.ua

Nataliia V. Morze
Doctor of Pedagogical Sciences, Corresponding Member of the NAES of Ukraine, Professor
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-3477-9254
n.morze@kubg.edu.ua

Viktoriia P. Vember
PhD of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Department of Computer Science and Mathematics, Faculty of Information Technologies and Management
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

ORCID ID 0000-0002-4483-8505
v.vember@kubg.edu.ua

Mariia A. Boiko
PhD of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-0293-5670
m.boiko@kubg.edu.ua

Abstract. The article substantiates the concept and necessity of the development of the STEM-education ecosystem in the conditions of continuous labour market changing, the risks posed by the world's fourth industrial revolution, determining its impact on the educational process in today's realities. The authors study the theoretical foundations of the concept of ecosystem, interdisciplinary approaches and features of the introduction of integrated STEM-education in the educational process. The paper also analyzes the components of the educational ecosystem and proves that they all directly affect the quality of STEM subjects. The authors conducted a survey to identify the ways to develop the components of the ecosystem of STEM-education, which involved 105 respondents, students of pedagogical specialties of Borys Grinchenko Kyiv University and teachers of general secondary education in different regions of Ukraine. The analysis shows that the successful implementation of STEM-education, involving all components of the ecosystem, involves the development of scientific education, in particular, the introduction of research and cognitive learning (inquiry), the method of educational projects and the use of digital technologies in education. Process skills which are developed during research and cognitive training are described; examples of tasks for formation of basic and integrated skills in organization of scientific process are given. The features of educational projects method as one of the keys to the development of scientific education are described, and changes in the students' behaviour during its application are identified. Based on the study, the authors identify groups of digital tools that are necessary for the development of the ecosystem and will help increase the efficiency of the educational process, make STEM learning interesting and productive. The examples of digital resources are given and their role in the development of the STEM education ecosystem is described.

Keywords: ecosystem, STEM education; STEM classes; digital technologies; digital tools; skills in organization of scientific process; scientific education.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

[1] Law of Ukraine "On Education". [Online]. Available: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 Accessed on: 04.03.2021 (in Ukrainian)
[2] The concept of development of natural and mathematical education (STEM-education). Order of the Cabinet of Ministers of August 5, 2020 № 960-r (in Ukrainian)
[3] The Digital Education Action Plan (2021-2027). [Online]. Available: https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/digital-education-action-plan_en Accessed on: 30.03.2021 (in English)
[4] M. V. Bøe, E.K.Henriksen, T.Lyons and C.Schreiner, "Participation in science and technology: young people's achievement-related choices in late-modern societies". *Studies in Science Education*, vol. 47, № 1. P. 37—72. 2011.doi: https://doi.org/10.1080/03057267.2011.549621 Accessed on: 30.03.2021(in English)
[5] R. W. Bybee, "Advancing STEM education: A 2020 vision". *Technology and Engineering Teacher*, vol. 70, № 1. P. 30 – 35. 2010. (in English)
[6] National Academy of Engineering and National Research Council. STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research. Washington, DC : The National Academies Press, 2014. (in English)
[7] R. W. Bybee, "What is STEM education?", *Science*, vol. 329, no. 5995, p. 996, 2010. doi: https://doi.org/10.1126/science.1194998 (in English)
[8] State standard of complete general secondary education. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine №898 of 30.09.2020. [Online]. Available: https://osvita.ua/legislation/Ser_osv/76886/ Accessed on: 17.03.2021. (in Ukrainian)

[9] "Results of the World Economic Forum in Davos (2019): conclusions for Ukraine". Analytical note. [Online]. Available: https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/pidsumki-vsesvitnogo-ekonomichnogo-forumu-u-davosi-2019-visnovki-dlya Accessed on: 04.12.2020 (in Ukrainian)
[10] European Commission. Science education for responsible citizenship. Report to the European Commission of the expert group on science education. 88 p. 2015. [Online]. Available: https://doi.org/10.2777/12626 Accessed on: 30.03.2021(in English)
[11] C .Babiychuk, "Scientific education as a pedagogical concept". Youth and Market, №2 (157), 2018. [Online]. Available: http://mir.dspu.edu.ua/article/view/126827/121696 Accessed on: 17.03.2021. (in Ukrainian)
[12] Y. Gotsulyak, "Scientific education in Ukraine: theoretical and regulatory context", *Education and development of gifted personality*, no. 4, pp. 5-11, 2016 (in Ukrainian)
[13] L.M. Hrynevych, N.V. Morze, and M.A. Boiko, "Scientific education as the basis for innovative competence formation in the conditions of digital transformation of the society", *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 77, no. 3, pp.1-26. [Online]. Available: https://doi.org/10.33407/itlt.v77i3.3980 Accessed on: 17.03.2021. (in Ukrainian)
[14] J. Furner, and D. Kumar, "The mathematics and science integration argument: A stand for teacher education", *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 185 – 189, 2007. [Online]. Available: https://doi.org/10.12973/ejmste/75397 Accessed on: 30.03.2021(in English)
[15] C. Czerniak, W. Jr. Weber, A. Sandmann, and J. Ahern, "Literature review of science and mathematics integration", *School Science and Mathematics*, vol. 99, no. 8, pp. 421 – 430, 1999. [Online]. Available: https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1999.tb17504.x Accessed on: 30.03.2021(in English)
[16] G. M. Balslev, D. K .Hendrichsen, and B. Ribers, "Education for Sustainability through STEM Ecosystems: STEM in Lower Secondary and Primary Education with the School Weavers Tool as a Network Perspective", *Educational Researcher*, 2021. (in English)
[17] J. L. Mondisa, B.W.L. Packard, and B.L. Montgomery, "Understanding what STEM mentoring ecosystems need to thrive: A STEM-ME framework", *Mentoring & Tutoring: Partnership in Learning*, 1-26. 2021. (in English)
[18] A. Volodchenko, O. Strizhak, and G. Khrapach, "Transdisciplinary nature of the operability of the development of gifted student youth", *Education and upbringing of gifted children: theory and practice*, vol. 1, pp.100-110, 2016. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nivoo_2016_1_13 Accessed on: 17.03.2021 (in Ukrainian)
[19] L. R. Meeth, "Interdisciplinary Studies: A Matter of Definition", *Change: The Magazine of Higher Learning*, 10 (7), p. 10, 2012. https://doi.org/10.1080/00091383.1978.10569474
[20] H. K. Ilter, "Monodisciplinary vs Pluridisciplinary Research", 2015. [Online]. Available: https://hkilter.com/index.php?title=Monodisciplinary_vs_Pluridisciplinary_Research Accessed on: 30.03.2021(in English)
[21] L. Nadelson, and A.Seifert, "Integrated STEM defined: Contexts, challenges, and the future", *The Journal of Educational Research*, vol. 100, no. 3, pp. 221—223, 2017. [Online]. Available: https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1289775 Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[22] M. Stohlmann, T.J. Moore, and G. Roehrig, "Considerations for teaching integrated STEM education", *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, vol. 2, no. 1, pp. 28 – 34, 2012. [Online]. Available: https://doi.org/10.5703/1288284314653 Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[23] N.V. Morze, V.P.Vember, M.A. Boiko, and L.O. Varchenko-Trotsenko, "Organization of STEAM lessons in the innovative classroom", *Open educational e-environment of modern university*, no. 8, pp. 88 – 106, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.28925/2414-0325.2020.8.9 Accessed on: 17.03.2021. (in Ukrainian)
[24] H. El-Deghaidy, and N. Mansour, "Science Teachers' Perceptions of STEM Education: Possibilities and Challenges", *International Journal of Learning and Teaching*, vol. 1, no. 1, pp. 51 – 54, 2015. [Online]. Available: https://doi.org/10.18178/ijlt.1.1.51-54 Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[25] A. Asghar, R. Ellington, E. Rice, F. Johnson, and G.M. Prime, "Supporting STEM education in secondary science contexts", *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, vol. 6, № 2, pp. 85 –125, 2012. [Online]. Available: https://doi.org/10.7771/1541-5015.1349 Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[26] L. Thibaut et al., "Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education", *European Journal of STEM Education*, vol. 3, № 1, 2018. [Online]. Available: https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525 Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[27] V. Chang, and C.Guetl, "E-Learning Ecosystem (ELES) - A Holistic Approach for the Development of more Effective Learning Environment for Small-and-Medium Sized Enterprises (SMEs)" in *IEEE*. 2007. 10.1109/DEST.2007.372010. (in English)
[28] K. Traphagen, and S. Traill, *How cross-sector collaborations are advancing STEM learning*. Los Altos, CA: Noyce Foundation. 2014. (in English)

[29] Why Cultivate STEM Learning Ecosystems? [Online]. Available: https://stemecosystems.org/what-are-stem-ecosystems/ Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[30] Why an Ecosystem Approach Advances STEM Learning. [Online]. Available: https://blog.definedlearning.com/blog/stem-education-ecosystem Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[31] X. Gu, C. Crook, and M. Spector, "Facilitating innovation with technology: Key actors in educational ecosystems", *British Journal of Educational Technology*, 2019. https://doi.org/10.1111/bjet.12786
[32] What Is a Learning Ecosystem? 2019. [Online]. Available: https://edtech.worlded.org/what-is-a-learning-ecosystem/ Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[33] N.Morze, T. Nanaeva, and N.Omelchenko, *STEM in education*. Tutorial, K.: ACCORD GROUP, 116 p. 2018. (in Ukrainian)
[34] B. Bevan, C. Garibay, and S. Menezes, "What Is a STEM Learning Ecosystem?", 2018. [Online]. Available: https://www.informalscience.org/sites/default/files/BP-7-STEM-Learning-Ecosystem.pdf Accessed on: 30.03.2021. (in English)
[35] M. Fleer, and P. Rillero, "Family Involvement in Science Education: What are the Outcomes for Parents and Students?", *Studies in Science Education*, vol. 34, pp.93-114, 2008. https://doi.org/10.1080/03057269908560150. (in English)
[36] H.M. Fadzil, and R.M. Saat, "Exploring the influencing factors in students' acquisition of manipulative skills during transition from primary to secondary school", in *Asia-Pacific Forum on Science Learning & Teaching*, vol. 15, no. 2. 2014. (in English)
[37] H.J. Funk, *Learning science process skills.* Kendall/Hunt Publishing Company, 2460 Kerper Blvd., Dubuque, IA 52001, 1985. (in English)
[38] M.J. Padilla, *The Science Process Skills.* [Online]. Available: https://narst.org/research-matters/science-process-skills Accessed on: 30.03.2021(in English)
[39] O.M. Yastrebtsova, "Five evenings: conversations about telecommunication educational projects", *School sector*, 2000. (in Ukrainian)

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.