

УДК 37.091.313-044.247:[004:5:62]-051

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2021-1-3>

**Олександр МАРТИНЮК**

доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-4473-7883

**Scopus Author ID:** 57224619200

**Бібліографічний опис статті:** Мартинюк, О. (2021) Тривимірне прототипування у STEM-навчанні майбутніх учителів природничо-технологічних дисциплін. *Фізика та освітні технології*, 1, 14–21, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-1-3>

**ТРИВИМІРНЕ ПРОТОТИПУВАННЯ У STEM-НАВЧАННІ  
МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН**

Тривимірні технології стають доступними та популярними серед широкого кола користувачів. Розглянуто можливості застосування технологій тривимірного моделювання та прототипування в науці, техніці та у процесі навчання. Проаналізовано перспективи використання тривимірного прототипування в окремих галузях науки та техніки, та підтверджено можливості їх ефективного впровадження в предметні галузі освіти. Тому проблема вивчення тривимірних технологій в освітній галузі є актуальною. Ефективне впровадження нових технологічних засобів потребує відповідної підготовки кваліфікованих фахівців. Якісна підготовка спеціаліста неможлива без фундаментальних і політехнічних знань, які забезпечують у закладах загальної середньої освіти вчителі фізико-математичних дисциплін та технологій. Важливу місію серед стратегічних напрямів реформування освіти покладено на інноваційне навчання, тому постає завдання забезпечення відповідного рівня підготовки фахівців на основі сучасних методик та технологій навчання. Тому метою статті є аналіз можливостей, технологій виготовлення та перспективи впровадження й використання засобів адитивних технологій (як складників STEM-навчання) у процесі навчання майбутніх учителів фізики, інформатики та технологій. Узагальнено можливості тривимірного моделювання для реалізації міжпредметних зв'язків. Як приклад, розглянуто студентський науковий проект, складники конструкції якого спроектовано та виготовлено засобами тривимірного прототипування. Графічну складову спроектовано редактором Tinkercad, програму Repetier-Host використано для перегляду і друку деталей на 3D-принтері. Обґрунтовано перспективи подальших досліджень, що передбачають розроблення методичного забезпечення для ефективного використання засобів тривимірного прототипування в освітній галузі.

**Ключові слова:** адитивні технології, тривимірне моделювання, 3D-принтер, міжпредметні зв'язки, проектна робота.

**Oleksandr MARTYNIUK**

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID:** 0000-0003-4473-7883

**Scopus Author ID:** 57224619200

**To cite this article:** Martyniuk, O. (2021) Tryvymirne prototypuvannya u STEM-navchanni maibutnix uchyteliv pryrodnycho-tekhnolohichnykh dystsyplin [Three-dimensional prototyping in STEM-education of future teachers of natural and technological disciplines]. *Physics and educational technology*, 1, 14–21, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-1-3>

**THREE-DIMENSIONAL PROTOTYPING IN STEM-EDUCATION OF FUTURE  
TEACHERS OF NATURAL AND TECHNOLOGICAL DISCIPLINES**

Three-dimensional technologies are becoming available and popular among a wide range of users. Possibilities of application of technologies of three-dimensional modeling and prototyping in science, technology and in the course of training are considered. Prospects for the use of three-dimensional prototyping in certain fields of science and technology

are analyzed, and the possibilities of their effective implementation in subject areas of education are confirmed. Therefore, the problem of studying three-dimensional technologies in education is relevant. Effective implementation of new technological means requires appropriate training of qualified specialists. Qualitative training of a specialist is impossible without the fundamental and polytechnic knowledge provided by teachers of physical and mathematical disciplines and technologies in general secondary education institutions. An important mission among the strategic directions of education reform is entrusted to innovative learning, so the task is to ensure an appropriate level of training based on modern teaching methods and technologies. Therefore, the aim of the article is to analyze the possibilities, manufacturing technology and prospects for the introduction and use of additive technologies (as components of STEM-learning) in the training of future teachers of physics, computer science and technology. The possibilities of three-dimensional modeling for the realization of interdisciplinary connections are generalized. As an example, a student research project is considered, the components of which are designed and manufactured by means of three-dimensional prototyping. The graphic component was designed by the Tinkercad editor, the Repetier-Host program was used to view and print details on a 3D printer. The prospects of further research are substantiated, which provide for the development of methodological support for the effective use of three-dimensional prototyping in the field of education.

**Key words:** additive technologies, three-dimensional modeling, 3D printer, interdisciplinary connections, project work.

**Вступ.** Із кожним роком високі технології проникають в усі сфери людської діяльності. Мобільні пристрої, мультимедійні та тривимірні технології стали основними видами комунікацій, які формують сучасний світ. Технології тривимірного друку вже не є екзотикою, а впровадження, удосконалення та адаптація 3D-технологій для різних галузей проходить дуже інтенсивно. Вже зараз тривимірний друк активно використовують в інженерії, медицині, аерокосмонавтиці, харчовій індустрії тощо. За допомогою 3D-друку можна створювати складні, раніше недосяжні для виготовлення конструкції. Технології тривимірного прототипування та візуалізації мають низку переваг і стають доступними та популярними серед широкого кола користувачів. Тривимірні технології використовують у багатьох промислово-технологічних сферах, науці та освітній галузі, хоча ще декілька років назад через дороговизну обладнання та матеріалів ця галузь була доступною лише для великих комерційних та промислових структур. Невід'ємною складовою освітнього середовища є сучасні інформаційні технології, і «Національною стратегією розвитку освіти в Україні на 2012-2021 р.р.» [4] передбачено їх широке впровадження в освітній процес. Тому проблема вивчення технологій тривимірного моделювання та можливостей самостійного проектування та виготовлення 3D-принтерів нині є **актуальною**.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Окремі аспекти впровадження технологій STEM розглядали вітчизняні науковці: П. С. Атаманчук [1] (STEM-інтеграція, як важлива інноватика сучасної освітньої парадигми), О.С. Кузьменко [5] (навчання фізики студентів технічних

закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти), І.А. Сліпухіна, О.Є. Стрижак І.С. Чернецький [11] (особливості застосування мультидисциплінарного підходу у STEM-навчанні, науковий та інженерний методи процесів дослідження у навчанні природничо-математичних дисциплінах), В.Д. Шарко [13] (методика навчання природничо-математичних дисциплін у середніх та закладах вищої освіти з використанням технологій STEM-освіти) та інші. Деякі питання 3D-моделювання проаналізовано у працях О.О. Мосіюка, С.А. [8], Пойди, О.Н. та Романюка [9]. Особливості формування проектно-технологічної компетентності засобами 3D-моделювання визначено у роботах М.І. Садового, О.М. Трифонової, М.В. Хомутенка та Г.Л. Курнат [12]. Особливо результативною для забезпечення реалізації такої діяльності є співпраця наукових установ із Малою академією наук України (МАН).

Ефективне впровадження нових технологій, експлуатація обладнання з високим рівнем електронного забезпечення потребує відповідної підготовки кваліфікованих фахівців. Звісно, підготовка інженерних кадрів здійснюється у спеціалізованих технічних вишах. Проте якісна підготовка спеціаліста неможлива без певних попередніх фундаментальних і політехнічних знань, які забезпечують у закладах загальної середньої освіти педагогічні кадри, у тому числі вчителі фізико-математичних дисциплін та технологій. Важливу місію серед стратегічних напрямів реформування освіти покладено на *інноваційне навчання*, а відтак, постає завдання забезпечення відповідного рівня підготовки фахівців на основі сучасних методик та технологій навчання.

**Метою статті** є аналіз можливостей, технології виготовлення та перспективи впровадження й використання засобів адитивних технологій (як складників STEM) у процесі навчання майбутніх учителів фізики, інформатики та технологій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Адитивні технології (3D-друк) – одна з форм адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється спеціальним пристроєм – 3D-принтером шляхом послідовного накладання шарів матеріалу на основі цифрової моделі. 3D-друк поряд з альтернативною енергетикою, Інтернетом і біотехнологіями – невід'ємна частина майбутнього, що стає важливою частиною нашого життя. Вже сьогодні є можливості для впровадження складних тривимірних технологій [7]. Це особливо актуально для наукових установ, адже можна не тільки спроектувати об'ємний прототип, а й досить швидко його виготовити. Перспективними є технології створення та використання „харчових принтерів”, які з доступних білків і вуглеводів можуть виробляти справжні продукти харчування. Відтворення людських органів є особливо актуальним для людей, які не можуть знайти донорів, практикується друк протезів та деяких людських органів.

Технологія швидкого прототипування аналогічна до друку на папері, але об'ємних моделей методом пошарового створення майбутнього об'єкта. Вона почала розвиватися близько десяти років назад. З впровадженням і застосуванням пристроїв швидкого прототипування стало можливим змоделювати повний цикл створення виробу від етапу проектування до виготовлення. Прототип будують за допомогою 3D-принтерів, зі спеціального матеріалу – пластику. Технології створення прототипів різні. Основні серед них умовно можна поділити на такі типи: стереолітографія; пошаровий друк розплавленою полімерною ниткою; струменеве моделювання; лазерне спікання порошкових матеріалів; ламінування листових матеріалів; опромінення ультрафіолетом через фотомаску; технологія склеювання порошоків.

3D-технології стають невід'ємною частиною освітнього процесу. Вони можуть бути використані при викладанні не тільки фізики та технологій, але й інших дисциплін: біології й хімії (моделювання молекулярних ланцюгів,

будови моделей молекул та атомів та багатьох інших наочностей); географії (3D-моделювання ландшафтів, корисних копалин тощо), історії (моделювання історичних подій, археологічних об'єктів), анатомія та зоологія (для моделювання частин тіла, органів тощо). Можливості технологій тривимірного моделювання не обмежуються лише предметними областями, а й можуть бути використаними у інших галузях освіти. 3D-принтери є хорошими помічниками в освітньому процесі, оскільки забезпечують такі можливості: друк великих моделей будь-яких форм; друк складних геометричних форм; тестування математичних формул у конкретних моделях; використання та створення програмного забезпечення.

Важливу позицію в майбутньому здобудуть технології тривимірного прототипування та візуалізації, а проблема вивчення можливостей самостійного проектування та виготовлення 3D-принтерів та вміння їх обслуговувати вже нині актуальна та перспективна. Перевагами 3D-прототипування в першу чергу є те, що користувач має змогу експериментувати, миттєво отримувати результати та впроваджувати ідеї в реальні проекти та конструкції. Тривимірні (адитивні) технології є ще достатньо новими, тому їх впровадження в освітній процес та науково-дослідницьку роботу вітчизняних закладів середньої та вищої освіти (до речі, так само як і засобів освітньої робототехніки, графічного програмування, віртуальної реальності тощо) відбувається достатньо повільно через низьку компетентність та сповільнену дієвість чиновників, які керують та приймають рішення в галузі освіти. Проте, попри усі труднощі, такі технології необхідно популяризувати та впроваджувати, оскільки найбільшим їх пріоритетом є заохочення (мотивація) учнів до навчання, підвищення інтересу до природничо-математичних дисциплін. Результат моделювання, а це закінчена конструкція (прототип), можна використати не тільки для передбачених потреб, але й переконатись у можливостях практичного використання здобутих знань та умінь на практиці.

Безсумнівними є можливості тривимірного моделювання для реалізації міжпредметних зв'язків [8]. Важко назвати навчальні дисципліни, де б ці технології не знайшли застосування. «Роздруковані» за допомогою

3D-принтера конструкції є хорошим джерелом оновлення та модернізації навчального обладнання, інструментом, що забезпечує виготовлення переважної більшості наочності та допоміжних засобів для навчального експерименту більшості навчальних предметів. Математики можуть використовувати на уроках математичні моделі, графічні залежності, об'ємні геометричні фігури та форми тощо. Математичні формули знаходять своє практичне застосування, оскільки є теоретичною основою та основним робочим інструментом у моделюванні прототипів, при проектуванні принтера й обладнання для друку. Користувач повинен мати хорошу просторову уяву, уявляти переміщення та позиціонування елементів у просторі. Наприклад, кінематику платформи дельта-принтерів розраховують методом розв'язування оберненої кінематичної задачі, де використовують проекції та порівняно складні математичні розрахунки.

Без програмування неможливо „оживити” апаратне забезпечення. Робота з принтером вимагає знань та навичок роботи з програмним кодом, основним завданням якого є зчитування і відтворення G-коду (спеціальний код для верстатів із програмним керуванням). Не менш важливим є вміння запрограмувати мікроконтролерну платформу, відкалібрувати механіку, налаштувати температурні режими, узгодити розмірності рухомих деталей, розрахувати швидкості руху осей. Для завантаження G-коду моделі на карту пам'яті потрібно вміти користуватись окремим слайсером (наприклад Slic3r) –програмою, що ділить задану 3D-модель, завантажену в STL-форматі, на шари, кожен з яких складається з певних шляхів, по яких рухається кінчик сопла екструдера. Конструкції проектують, в спеціальному середовищі для 3D-проекування (наприклад Repetier Host3D). Таким основним багажем знань з інформатики та програмно-апаратного забезпечення комп'ютерної повинен володіти користувач, що займається тривимірним прототипуванням.

Успішними є приклади застосування створених на 3D-принтері *геологічних* форм в масштабі, яких неможливо побачити на двомірному зображенні. При викладанні географії та геології вже використовують наочні тривимірні моделі причин і наслідків гідророзривів пластів при розробці родовищ нафти і газу. Цікавими

для учнів є зменшені моделі гірських ландшафтів, каньйонів і інших географічних об'єктів.

Особливо швидкими темпами нині розвивається 3D-біопрінтинг – технологія створення об'ємних прототипів на клітинній основі з використанням 3D-друку, при якій зберігаються функції та життєздатність клітин. Технології 3D-біопрінтингу матимуть застосування при вирощуванні органів і продукуванні інноваційних біоматеріалів. Тканини, ліки, а в перспективі –органі життєдіяльності людини, що виготовляються шляхом 3D-біопрінтингу, зможуть стати заміниками „живих” частин тіла людини [3].

*Історія та археологія* мають низку переваг від впровадження 3D-друку. У музеях по всьому світу починають з'являтися високоточні копії експонатів, які не відрізняються від оригіналів. У кожній школі буде доступ до музейних експонатів просто в класі. Можливість продемонструвати предмети з епох, які вивчаються, зробить урок більш цікавим та ефективним.

З великим успіхом застосовують 3D-прототипування на уроках образотворчого мистецтва, графіки та дизайну. Ця технологія відкриває низку можливостей для вчителів, оскільки учні можуть роздрукувати спроектовані моделі в тривимірному варіанті. Аналогічно з'являються переваги, які надає 3D-друк у *мистецтві*, особливо у аспекті створення нових його видів та творів.

3D-принтером можна роздрукувати практично повний комплект для виконання експериментального практикуму з фізики. Оцінивши матеріально-технічне забезпечення фізичних кабінетів з фізики, можна зробити висновок про необхідність та доцільність застосування адитивних технологій у проектуванні, виготовленні та модернізації навчального обладнання. Використання 3D-прототипування здешевлює затрати на виготовлення не серійних елементів чи приладів. Робота над проектуванням та виготовленням навчального обладнання з фізики відкриває широкі можливості для вирішення завдань виховного характеру та активізації пізнавальної діяльності учнів. У процесі виготовлення засобів навчального призначення розвиваються конструкторські й творчі здібності. Об'єктами наукових проектів має бути навчальне нове обладнання, або модернізація наявного на основі новітніх технологій.

Як приклад, розглянемо студентський науковий проект «Комплекс для тепловізійної діагностики», складники конструкції якого спроектовано та виготовлено засобами тривимірного прототипування. Для проведення теплоаудиту спроектовано бюджетну установку, до складу якої належить тепловізор FLIR ONE Pro, мікрокомп'ютер Raspberі Pi та дрон Mavic Mini компанії DJI. Апаратну частину складають тепловізор FLIR ONE Pro та мікрокомп'ютер Raspberі Pi (рис. 1) [5].

Мікрокомп'ютер Raspberі Pi поміщено в спроектований та роздрукований на 3D-принтері корпус (рис. 2).

Графічну складову корпусу спроектовано редактором Tinkercad – безкоштовним додатком для розробки 3D-проектів. Його використовують викладачі, діти, любителі та проєктувальники, щоб вигадувати об'єкти, створювати й втілювати їх у реальність (наприклад, роздрукувати на 3D-принтері) [15].

Для друку на 3D-принтері не достатньо мати тривимірну модель в .stl форматі, її необхідно перетворити у „зрозумілий” для принтера формат (.gcode) та передати самому принтеру. З цим завданням справляються такі програми, як Repetier-Host та Slic3r.

Програма Repetier-Host використовується для перегляду і друку деталей на 3D-принтері. Це програмне забезпечення дає можливості для перегляду і розміщення 3D-моделей, формату .stl та .gcode; з'єднання з принтером через USB інтерфейс, безпосереднє управління та моніторинг температури екструдера і платформи, а також руху осей принтера (одна відносно іншої). Для перетворення моделі з формату .stl в .gcode використовуємо слайсер.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Отже, використання 3D-прототипування здешевлює затрати на виготовлення несерійних елементів чи приладів,



Рис. 1. Комплекс для тепловізійної діагностики



Рис. 2. Мікрокомп'ютер Raspberі Pi в корпусі

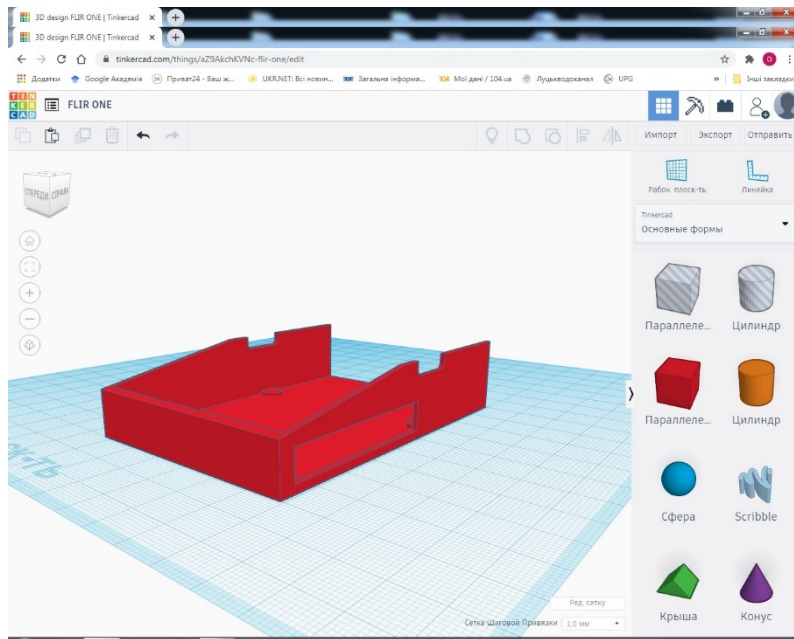


Рис. 3. Проект корпусу в редакторі Tinkercad

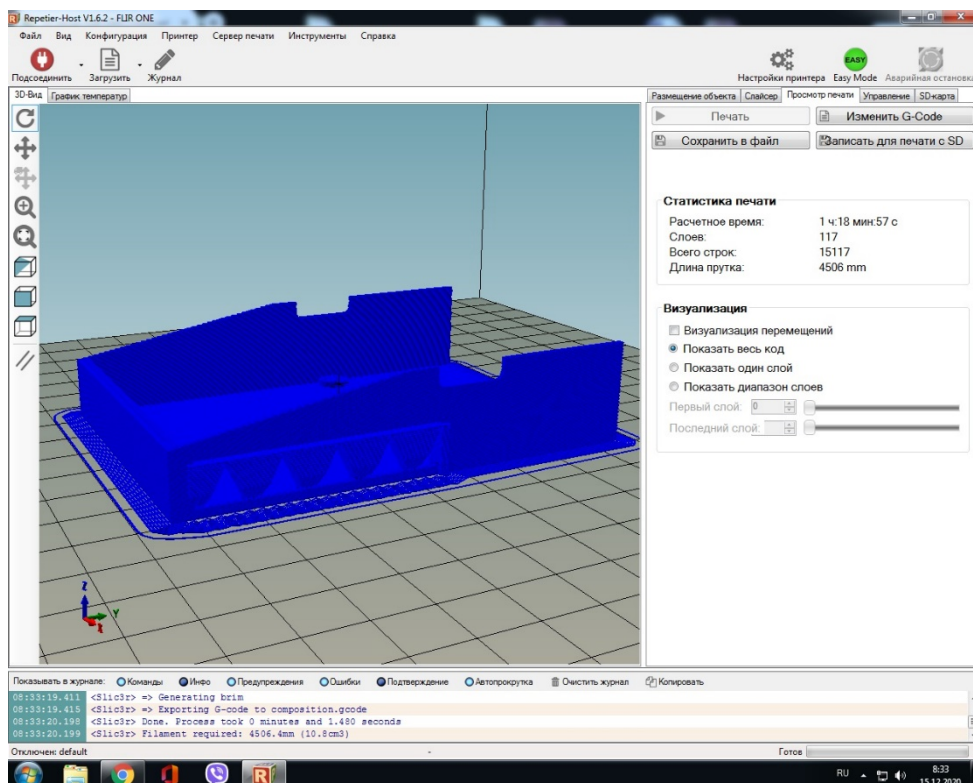


Рис. 4. Спроектований корпус у програмі Repetier-Host

а робота над проектуванням та виготовленням обладнання відкриває широкі можливості для вирішення завдань технологічного характеру та активізації пізнавальної діяльності студентів. У процесі проектної роботи розвиваються

конструкторські й творчі здібності. Перспективи подальших досліджень передбачають розроблення методичного забезпечення для ефективного використання засобів тривимірного прототипування в освітній галузі.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Атаманчук П.С., Атаманчук В.П. STEM-інтеграція як важлива інноватика сучасної освітньої парадигми. *STEM-освіта – проблеми та перспективи* : матеріали II Міжнар. науково-практичного семінару, (м. Кропивницький, 25–26 жовтня 2017 р.). Кропивницький : КЛІА НАУ, 2017. С. 9–10.
2. Василяшко І.П., Білик Т.В. Упровадження STEM-навчання – відповідь на виклик часу. *Управління освітою*. 2017. № 2(386). С. 28–31.
3. Гончарова Н.О. Понятійно-категоріальний апарат з проблеми дослідження аспектів STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. 2017. Вип. 10. С. 104–114.
4. Закон України «Про інноваційну діяльність». URL: zakon5.rada.show/40-15gov.ua/laws/ (дата звернення: 06.07.2021).
5. Кузьменко О.С. Сутність та напрямки розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: «Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти»*. 2016. Вип. 9. Ч. 3. С. 188–190.
6. Мартинюк О.С. Адитивні технології в конструктивно-технічній діяльності студентів і учнів. *Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях* : матер. всеукраїнської наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Мелітополь, 11–13 вересня 2017 р.) / [авт. кол. : Благодаренко Л.Ю., Кюрчев В.М., Сосницька Н.Л., Шут М.І. та ін.]. Мелітополь : ТОВ «Колор Принт», 2017. С. 99–101.
7. Мартинюк О.С. Тривимірне моделювання: крок у майбутнє науки, технологій, освіти. *Моделювання в навчальному процесі* : матеріали. всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Луцьк, 3-4 бер. 2017 р.) / уклад. Н. Головіна. Луцьк : Вежа-Друк, 2017. С. 7–10.
8. Мосіюк О.О. Особливості вивчення 3D моделювання у процесі професійної підготовки майбутніх учителів інформатики. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2018. № 2(43). С. 182–186.
9. Романюк О.Н., Пойда С.А. 3D моделювання в контексті STEM. *Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі* : матер. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 18–19 квіт. 2019 р.). Київ, 2019. Ч. 2. С. 110–112.
10. Садовий М.І., Трифонова О.М., Хомутенко М.В. Методика формування уявлень про сучасну наукову картину світу в хмаро орієнтованому навчальному середовищі. *Вісник Черкаського національного університету. Серія: «Педагогічні науки»*. 2016. Вип. 7. С. 8–16.
11. Стрижак О.Є., Сліпухіна І.А., Полісун Н.І., Чернецький І.С. Ключові поняття STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України*. 2017. Вип.10. С. 89–103.
12. Хомутенко М.В., Садовий М.І., Трифонова О.М., Курнат Г.Л. Особливості формування проектно-технологічної компетентності засобами 3D-моделювання. *Наукові записки. Серія: «Педагогічні науки»*. 2020. Вип. 191. С. 170–175. DOI: 10.36550/2415-7988-2020-1-191-170-175.
13. Шарко В.Д. Методична підготовка вчителя фізики в умовах неперервної освіти : монографія. Херсон : ХДУ, 2006. 400 с.

**REFERENCES:**

1. Atamanchuk, P.S., Atamanchuk, V.P. (2017) STEM-integratsiia yak vazhlyva innovatyka suchasnoi osvithoi paradyhmy [STEM-integration as an important innovation of the modern educational paradigm]. *STEM-osvita – problemy ta perspektyvy* : *materialy II Mizhnar. naukovopraktychnoho seminaru*, 25–26 zhovtnia 2017 r. Kropyvnytskyi: KLA NAUS (pp. 9–10) [in Ukrainian].
2. Vasylyashko, I.P., Bilyk, T.V. (2017) Uprovadzhennia STEM-navchannia – vidpovid na vyklyk chasu [Introduction of STEM-training is a response to the challenge of time] *Upravlinnia osvitoiu*. 2(386), 28–31 [in Ukrainian].
3. Honcharova, N.O. (2017) Poniatiino-katehoriialnyi aparat z problemy doslidzhennia aspektiv STEM-osvity [Conceptual and categorical apparatus on the problem of researching aspects of STEM-education]. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy: zb. nauk. prats.* 10, 104–114 [in Ukrainian].
4. Zakon Ukrainy „Pro innovatsiinu diialnist”. URL: zakon5.rada.show/40-15gov.ua/laws/ (data zvernennia: 06.07.2021) [in Ukrainian].
5. Kuzmenko, O.S. (2016) Sutnist ta napriamky rozvytku STEM-osvity [The essence and directions of STEM education development]. *Naukovi zapysky. Serii: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity*. 9, 3, 188–190 [in Ukrainian].
6. Martyniuk, O.S. (2017) Adytyvni tekhnolohii v konstruktivno-tekhnichnii diialnosti studentiv i uchniv [Additive technologies in constructive and technical activity of students and pupils]. *Fundamentalna pidhotovka fakhivtsiv u pryrodnycho-matematychnii, tekhnichnii, ahrotekhnolohichnii ta ekonomichnii haluziakh: mater. Vseukrainskoi nauk.-prakt. konf. z mizhnar. Uchastiu* (Melitopol, 11–13 veresnia 2017 r.) / [avt. kol. : Blahodarenko L.Yu., Kiurchev V.M., Sosnytska N.L., Shut M.I. ta in.]. Melitopol: TOV „Kolor Pryn” (pp. 99–101) [in Ukrainian].

7. Martyniuk, O.S. (2017) Tryvymirne modeliuвання: krok u maibutnie nauky, tekhnolohii, osvity [Three-dimensional modeling: a step into the future of science, technology, education]. *Modeliuвання v navchalnomu protsesi: materialy. Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf.* (3–4 ber. 2017 r.) / uklad. N. Holovina. Lutsk: Vezha-Druk (pp. 7–10) [in Ukrainian].
8. Mosiuk, O.O. (2018) Osoblyvosti vyvchennia 3D modeliuвання u protsesi profesiinoi pidhotovky maibutnikh uchyteliv informatyky [Features of studying 3D modeling in the process of professional training of future teachers of computer science]. *Naukovi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii: «Pedahohika. Sotsialna robota».* 2(43), 182–186 [in Ukrainian].
9. Romaniuk, O.N., Poida, S.A. (2019) 3D modeliuвання v konteksti STEM [3D modeling in the context of STEM]. *Informatsiini tekhnolohii v kulturi, mystetstvi, osviti, nautsi, ekonomitsi ta biznesi: mater. Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (18–19 kvit. 2019 r.). Kyiv. Vol. 2 (pp. 110–112) [in Ukrainian].
10. Sadovy, M.I., Tryfonova, O.M., Khomutenko, M.V. (2016). *Metodyka formuvannia uiaвлен pro suchasnu naukovu kartynu svitu v khmaro oriietovanomu navchalnomu seredovyskhi* [Methods of forming ideas about the modern scientific picture of the world in a cloud-based learning environment]. *Visnyk Cherkaskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Pedahohichni nauky*, 7. 8–16 [in Ukrainian].
11. Ctryzhak, O.Ie., Slipukhina, I.A., Polusun, N.I., Chernetskyi, I.S. (2017) Kliuchovi poniattia STEM-osvity [Key concepts of STEM education]. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy*. 10, 89–103 [in Ukrainian].
12. Khomutenko, M.V., Sadovy, M.I., Tryfonova, O.M., Kurnat, H.L. (2020) Osoblyvosti formuvannia proektno-tekhnolohichnoi kompetentnosti zasobamy 3D-modeliuвання [Features of formation of design and technological competence by means of 3D-modeling]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedahohichni nauky*. 191), 170–175. DOI: 10.36550/2415-7988-2020-1-191-170-175 [in Ukrainian].
13. Sharko, V.D. (2006) *Metodychna pidhotovka vchytelia fizyky v umovakh nepererвної osvity* [Methodical training of a physics teacher in the conditions of continuous education]: monohrafiia. Kherson: KhDU [in Ukrainian].