

О.В. Струтинська
кандидат педагогічних наук, доцент,
Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДРУКУВАННЯ

***Анотація.** У статті розглядаються сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання й друкування, а саме: подано характеристики апаратного та програмного забезпечення функціонування зазначених технологій, етапи процесу тривимірного друкування, а також охарактеризовано галузі їх використання.*

***Ключові слова:** технології тривимірного моделювання та друкування, 3D-моделювання, 3D-модель, 3D-друкування, 3D-принтер.*

Постановка проблеми. Актуальність даного дослідження пов'язана з тим, що на теперішній час технології тривимірного моделювання (3D-моделювання) та тривимірного друкування (3D-друкування) розвиваються швидкими темпами.

Технології 3D-друкування з'явилися лише кілька десятків років тому, але вони динамічно розвиваються і вже використовуються в значній кількості сфер людської діяльності.

Наприклад, у медицині розроблено перші 3D-принтери, за допомогою яких можна друкувати елементи для ортопедії та хірургії, і з кожним роком з'являються нові сфери застосування даних технологій, включно із друкуванням органів. Активніше технології використовуються у промисловості. Наприклад, компанія Boeing вже використовує 3D-друкування для виготовлення та проектування своїх двигунів [1; 8]. Дослідники з Університету Саунгемптон змогли на 3D-принтері повністю виготовити безпілотний літак (дрон).

Поступово технологія 3D-друкування входить до нашого життя, відкриваючи все нові можливості її використання в найрізноманітніших галузях людської діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання використання 3D-технологій у різних галузях людської діяльності вивчаються українськими та зарубіжними науковцями (О.В. Андрійчук, В.О. Бондаренко, Д.І. Миташоп, А.А. Петришина, S. Bhandari, E. Canessa, C. Fonda, K. France, H. Lipson, M. Kurman, B. Regina, M. Zennaro та ін.).

Метою написання статті є аналіз сучасного стану та перспектив розвитку технологій 3D-моделювання та 3D-друкування, їх загальна характеристика й галузі використання.

Подання основного матеріалу. Для характеристики сучасного стану та перспектив розвитку 3D-технологій зосередимо дане дослідження на розгляді таких питань:

- коротка історія та сучасний стан розвитку технологій тривимірного друкування;
- характеристика технологій 3D-друкування та їх апаратного забезпечення;
- загальна характеристика програмного забезпечення функціонування 3D-технологій;
- етапи роботи з технологією 3D-друкування;
- галузі використання технологій 3D-друкування та перспективи їх розвитку.

Коротка історія та сучасний стан розвитку технологій тривимірного друкування

В основі технології 3D-друкування реальних тривимірних об'єктів лежить принцип створення моделей шляхом нарощування їх тіл.

3D-друкування є адитивною технологією. *Адитивні технології* – одна з форм технологій адитивного виробництва, з використанням якої тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (процес друкування або вирощування) [2-4].

Друкування здійснюється за допомогою спеціального пристрою – 3D-принтера. *Тривимірним принтером (3D-принтером)*, називають спеціальний пристрій, використання якого забезпечує створення фізичного об'єкта, що відповідає заданим параметрам, з віртуальної комп'ютерної 3D-моделі з призначеного для цього матеріалу шляхом його послідовного накладання. Переваги використання сучасних 3D-принтерів очевидні: зниження собівартості виготовлення продукції та скорочення термінів її появи на ринку, моделювання елементів довільної форми та складності, швидкість та досить висока точність виготовлення, можливість використання різних матеріалів для 3D-друкування.

Система швидкого прототипування з використанням фотополімерів, як адитивна технологія, була винайдена в 1981 році доктором Хідео Кодама з Нагойського індустріального дослідницького інституту (Японія). Створення моделей відбувалося шляхом накладання шарів.

Після цього в 1984 р. американський дослідник та засновник компанії 3D Systems Чарльз Халл винайшов стереолітографічний апарат (SLA від англ. Stereolithography Apparatus), завдяки чому

з'явилася можливість друкувати 3D-об'єкти, моделі яких були попередньо спроектовані на комп'ютері. Дана технологія отримала назву "стереолітографія" (SLA). Як матеріал у даному пристрої використовувався рідинний полімер на основі акрилу, який під дією ультрафіолетового лазерного випромінювання моментально застигав, набуваючи необхідної форми. Таким чином шар за шаром з полімерного розчину будувалась потрібна модель [2; 4; 6; 8; 10; 11].



Рис. 1. Перший у світі 3D-принтер "SLA-1", 1984 рік

На початку 90-х рр. XX ст. почали виникати альтернативні технології 3D-друкування, такі як моделювання методом наплавлення (FDM), наплавлення нитки (FFF), вибіркоче лазерне спікання (SLS), PolyJetting та ін. Терміни "3D-друк" та "3D-принтер" почали використовувати в 1995 році у Массачусетському технологічному інституті.

Після створення стереолітографічної технології (SLA) була винайдена технологія селективного лазерного спікання (англ. Selective Laser Sintering – SLS) Карлом Декардом з Техаського університету, в якій замість рідинного полімеру використовувався металевий порошок. Пізніше компанія Stratasys під керівництвом Скота Крампа розробила новішу технологію – моделювання за методом наплавлення (англ. Fused Deposition Modeling – FDM). З використанням даної технології 3D-об'єкти створюються шляхом послідовного нанесення шарів матеріалу, через які повторюються контури комп'ютерної моделі [7]. Як матеріал у даній технології використовується термопластик, який завантажують в принтер у вигляді спеціальних катушок ниток. На сьогоднішній день ця технологія 3D-друкування є найпоширенішою.

Масового розвитку технологія 3D-друкування набула лише на початку 2000-х років. До середини 2010-х років стала доступною велика кількість конкуруючих технологій, з використанням яких можна здійснювати 3D-друкування.

За даними прогнозу компанії IDC, обсяг ринку 3D-друкування в світі до 2017 року збільшився в десять разів. А до 2050 року, за даними експертів DHL, кожна сім'я, яка проживає в країнах розвинуеного світу, використовуватиме тривимірний друк в домашніх умовах.

Характеристика технології 3D-друкування та їх апаратного забезпечення

На сучасному ринку доступна велика кількість конкуруючих технологій 3D-друкування. Охарактеризуємо основні з них.

Технологія FDM. Моделювання за методом наплавлення або Fused Deposition Modeling (FDM) винайшов Скотт Крамп через кілька років після того, як Чарльз Халл винайшов лазерне 3D-друкування. В 1990 році Крамп заснував компанію Stratasys, яка запатентувала цю технологію під брендом FFF. Тому технологія 3D-друкування FDM ще інакше називається Fused Filament Fabrication (FFF).

Принцип застосування даної технології достатньо простий. Саме тому 95% всіх настільних 3D-принтерів використовують FDM або FFF. Пластик, такий як PLA або ABS, у формі нитки подається в екструдер. У екструдері пластикова нитка розігрівається і переходить у рідинний стан. За допомогою механічних частин принтера "виконуються" команди з файлу G-коду і екструдер переноситься в потрібне положення чітко за вказаними координатами. Коли екструдер досягає заданої позиції, пластик виходить з гарячого сопла, приклеюючись до столу принтера або до попередніх шарів. Через секунди після друкування пластик твердіє, і надрукована модель стає твердою. Під час друкування з використанням цієї технології важливо стежити за правильною температурою пластика, основи принтера і повітря в приміщенні, оскільки через нерівномірне охолодження в деталі можуть накопичуватися внутрішні напруження, що призведе до деформації або втрати міцності [7].

Для друкування моделей за допомогою FDM-технології використовують такі основні види матеріалів:

- ABS-пластик (термопластична смола);
- PLA-пластик (екологічно чистий пластик);
- HIPS-пластик (дуже міцний пластик);
- PC-пластик (твердий полімер, через який пропускається світло);
- Laywoo-D3 (полімер);
- Laybrick (імітується текстура пісчаника);
- PVA: PVAc и PVAI (добре поглинається волога, можна розчиняти у воді);
- нейлон (легкий та гнучкий пластик).

Технологія SLA (стереолітографія). В основі 3D-друкування за методом SLA лежить вплив проєктора або лазера на рідинний фотополімер. Лазерний промінь прямує на зону, де будуть розташовані стінки моделі. Під впливом променя рідина твердне, після чого готові шари піднімаються над рівнем рідини. Процес повторюється до ти пір, поки не буде надрукована вся модель.

Технологія SLS (вибіркове лазерне спікання). З використанням даної технології матеріали спікаються за допомогою потужного лазера. Шар за шаром за допомогою лазера будується на поверхні порошку проєкція моделі в розрізі. Під впливом лазерного променя окремі частки матеріалу спікаються, за рахунок чого утворюються цільна модель. За допомогою даної технології можна працювати з пластмасами, керамікою, склом. У випадку з металами через лазер спікається суміш металевого порошку та спеціального клею. Після закінчення 3D-друкування з металом готову модель поміщають у піч, в якій остаточно сплавляються частки металу і випалюється з'єднувальний клей.

Дана технологія друку в десятки разів дорожча, ніж FDM, оскільки ціна комплектуючих, витратних матеріалів і принтерів набагато дорожчі. Але разом з тим точність друкування є більшою в 4-5 разів, ніж у технології FDM.

Загальна характеристика програмного забезпечення функціонування 3D-технологій

Для того, щоб надрукувати 3D-об'єкт, необхідно створити його 3D-модель. Для цього призначені 3D-редактори – спеціальні програмні засоби. В такому разі слід обирати програмні засоби для створення твердотільних комп'ютерних 3D-моделей.

Твердотільний об'єкт (Solid) – векторна модель, через яку описується тіло за допомогою векторів. У ній кожна точка має значення (координати, вага, колір і т.д.).

До найпопулярніших вільнопоширюваних програмних засобів для створення твердотільних комп'ютерних 3D-моделей належать: SolidWorks, FreeCAD, Thinkercard.

Моделі для 3D-друкування найчастіше зберігаються в файлах формату STL [5]. За допомогою цього формату описується тільки геометрія поверхні 3D-об'єкта без будь-якого зображення кольору, фактури або інших типових атрибутів моделі.

З використанням спеціальних програм-слайсерів (від англ. *to slice - нарізати*) STL-файл перетворюється на G-код, "нарізаючи" 3D-модель на плоскі двовимірні шари, з яких 3D-принтер буде друкувати фізичний об'єкт.

G-код (G-CODE) – це загальноприйнята мова, що застосовується для 3D-принтерів.

G-код почали використовувати ще в 60-х рр. XX ст. як мову для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Його почала розробляти американська компанія Electronic Industries Alliance, а потім стали використовувати практично всі виробники і користувачі автоматизованих верстатів.

G-код являє собою структуру і синтаксис написання команд для оброблювальних верстатів. Для G-коду визначено міжнародну базову структурну основу, затверджену в американській та європейській системах стандартизації.

Етапи роботи з технологією 3D-друкування

Для 3D-друкування потрібна твердотільна тривимірна модель, створена в спеціальних редакторах, яка потім завантажується в 3D-принтер і пошарово вибудовується (видруковується) з потрібного матеріалу.

Процес 3D-друкування складається з наступних етапів:

1. Моделювання (створення комп'ютерної моделі за допомогою спеціальних програмних засобів для 3D-моделювання та 3D-проектування або завантаження потрібної моделі з бази моделей). У програмі-слайсері 3D-модель розрізається на окремі плоскі шари, які потім будуть надруковані один за іншим. У програмі вказують швидкість і точність друку, температуру та інші параметри. Налаштування передаються за спеціальними командами у форматі G-код, які виконуються через 3D-принтер.

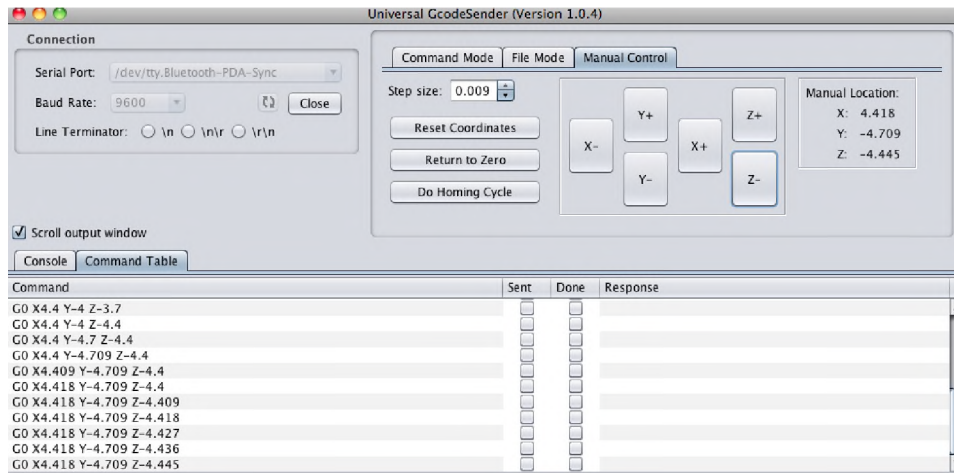


Рис. 2. Приклад G-коду, в якому вказані координати переміщення друкуючої головки за трьома осями

2. Калібрування та позиціонування 3D-принтера.

3. Імпорт 3D-моделі в спеціальний програмний засіб, розроблений виробником 3D-принтера, що забезпечує підготовку моделі до друкування. В цьому програмному засобі можна змінювати масштаб моделі, обертати навколо координатних осей, переміщувати тощо.

4. Друкування. Безпосередньо процес друкування – перетворення комп'ютерної (цифрової) моделі в фізичну.

Галузі використання технології 3D-друкування та перспективи їх розвитку

Друкування в 3D-форматі вже отримало досить широке розповсюдження. Можна виокремити кілька галузей, в яких вже сьогодні активно використовують технології тривимірного друкування. Наведемо приклади найпоширенішого застосування технології 3D друкування в різних галузях [3; 8]:

- **промисловість та виробництво** (проектування та тривимірне друкування двигунів, електромобілів, промислове прототипування);
- **медицина** (друкування елементів для хірургії, стоматології, ортопедії, індивідуального протезування);
- **архітектура** (друкування архітектурних макетів будівель, споруд, окремих районів міст та котеджних сіл з відповідною інфраструктурою; друкування будинків та інших архітектурних об'єктів);
- **космічна галузь** (друкування для космічних досліджень, наприклад, друкування споруд для будівництва місячних баз);
- **військова галузь** (дизайн нового обладнання, запуск його у промислову серію, наприклад, друкування прототипів лінз для пілотів, безпілотних літаків (дронів), окремих видів зброї та ін.);
- **робототехніка**;
- **освіта**;
- **дизайн**.

Промисловість та виробництво

В галузі промислового виробництва для проектування нової продукції завжди необхідно створювати моделі – прототипи майбутньої продукції. Зазвичай для цих цілей використовуються такі традиційні методи, як механічна обробка та лиття. На виготовлення дослідного зразка витрачаються тижні або навіть місці кропіткої роботи. Це досить дорогий та трудомісткий етап виробництва. Використовуючи 3D-принтери, можна значно прискорити весь процес. Таким чином економляться ресурси та час. Особливо це актуально для машинобудування та багатьох інших галузей виробництва. Аналіз створеного за допомогою 3D-друкування макету допомагає знайти недоліки в конструкції ще на етапі розробки.

Вивчення прототипу дає можливість побачити, яким чином модель буде виглядати в реальності. Таким чином можна оцінити всі переваги та недоліки готової деталі ще на етапі проектування. В першу чергу, це надає можливості оцінити ергономіку майбутнього виробу, його функціональність і збирання, а також виключити можливість прихованих помилок перед запуском виробу в серію. Так можна заощадити значну кількість коштів і часу завдяки скороченню циклу виробництва.

Медицина

Одна з найбільш цікавих галузей використання сучасних технологій 3D-друкування – це медицина. В цій сфері застосування 3D-друкування може допомогти врятувати людське життя. В медицині можна знайти кілька варіантів використання принтерів формату 3D. Наприклад, в

стоматології за допомогою 3D-друкування вже можна отримувати протези та коронки за коротший час, ніж використання традиційної технології виготовлення. За допомогою 3D-принтера можна відтворити точну копію окремих частин людського тіла та всього скелета для ефективнішого навчання медиків. Також можливе відпрацювання прийомів у підготовці до складних операцій. 3D-технології починають використовуватись для створення окремих органів з метою заміни тих, що були пошкоджені в людському організмі.

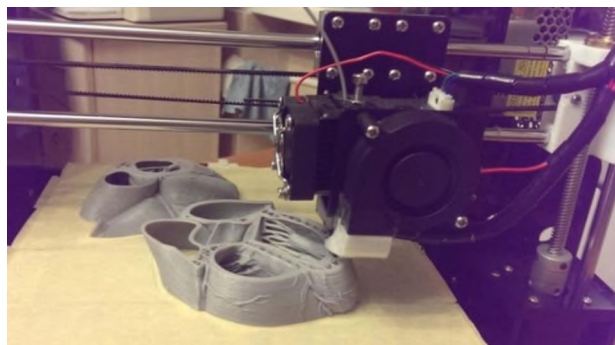


Рис. 3. Процес друкування тривимірної моделі серця

В 2011 році успішною була спроба вчених створити живу людську нирку. Для її вирощування витратили три години. Як матеріал зазвичай використовується біомаса з високим вмістом стовбурових клітин. Сам факт можливості виготовлення діючих людських органів забезпечує великі перспективи для медицини. Ще одна сфера застосування 3D-принтерів в медицині – конструювання спеціальних медичних інструментів під замовлення для кожного пацієнта у відповідності з його захворюванням. Можливість створення різних протезів та інших ортопедичних виробів є важливою для того, щоб лікувати кожного пацієнта індивідуально.

Архітектура

Використання технології 3D-друкування дозволяє створювати архітектурні макети будівель, споруд, окремих районів міст та котеджних сіл з відповідною інфраструктурою. За допомогою 3D-принтера можна отримати повноцінний макет з високою деталізацією, після чого спеціалісти можуть проаналізувати його переваги та недоліки задовго до початку будівельних робіт. Але сфери застосування 3D-друкування можуть не обмежуватись створенням архітектурних макетів – вже створена унікальна система тривимірного друку для роботи з великими будівельними об'єктами.

Для будівництва були розроблені 3D-принтери з робочим об'ємом близько 1000 м³ та з технічною можливістю друкування бетонною сумішшю.

Існує два види будівництва за допомогою 3D-принтерів. У першому випадку принтер розташований на будівельному майданчику і процес зведення відбувається пошаровим нанесенням бетонної суміші відповідно до проекту. У другому – об'ємні елементи друкуються в заводських умовах і доставляються на майданчик, де монтуються за традиційними методами будівництва [1].

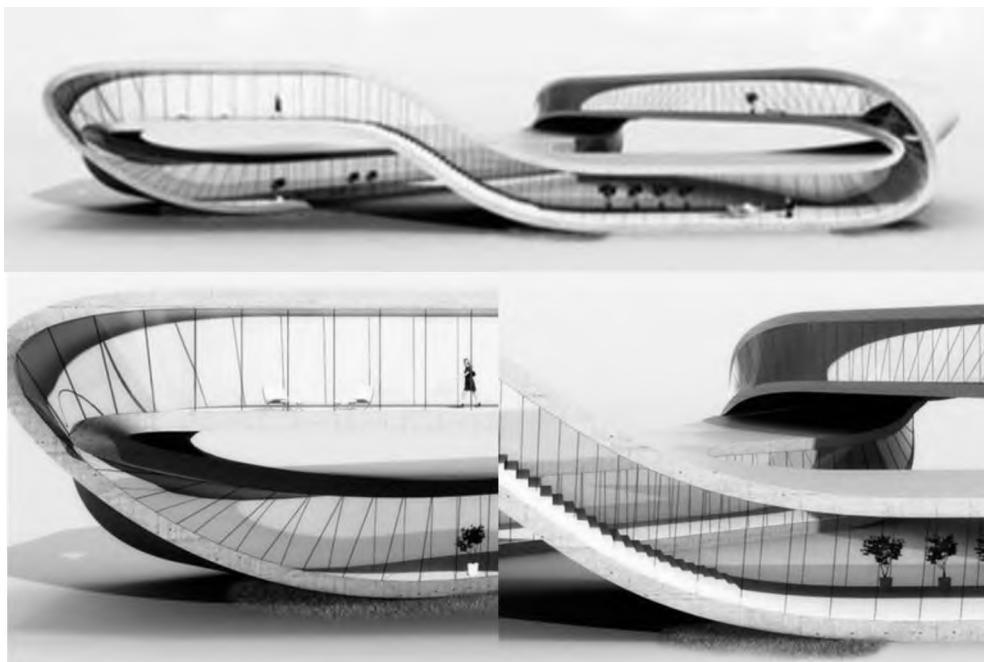


Рис. 4. Будівля Landscape House у формі стрічки Мьобіуса

Прикладом такого 3D-принтеру є система Contour Crafting, спроектована дослідниками з університету Південної Каліфорнії (University of Southern California), за допомогою якої можна "надрукувати" двоповерхову будівлю за 24 години.

Разом з тим на сьогодні через використання принтера Contour Crafting неможливо повністю замінити працю фахівців будівельних спеціальностей, але сам процес будівництва за допомогою даної системи є набагато швидшим та ефективнішим.

Після попереднього калібрування, позиціонування та завантаження в 3D-принтера відповідних файлів проекту "друкуються" стіни будинку через нанесення шарів з бетону.

Влітку 2015 року в Китаї будівельна компанія ZhuoDa звела повноцінний двоповерховий будинок за 3 год.

За допомогою 3D-принтера можна реалізувати фактично будь-які задумки. Наприклад, голландський архітектор Дженджаап Руйджссенеарс (Janjaap Ruijssenaars) оголосив про свої плани щодо зведення дуже незвичайної будівлі Landscape House у формі стрічки Мьюбіуса. Але, крім своєї нетрадиційної для споруд форми, ця будівля стане найбільшою у світі будівлею, побудованою за допомогою технології 3D-друкування [1].

Для виконання цієї роботи вчений вибрав промисловий 3D-принтер D-Shape, розроблений італійцем Енріко Діні (Enrico Dini) спеціально для виконання будівельних робіт. Матеріалом для принтера є пісок, змішаний із спеціальною в'язучою речовиною, який після затвердіння перетворюється на твердий, міцний і гладкий камінь.

За допомогою 3D-принтера D-Shape з піску можна зробити прозорий матеріал, подібний до мармуру за структурою та іншими властивостями. Але його міцність і твердість не поступаються міцності портландцементу, тому немає ніякої необхідності у використанні металеві арматури та інших конструкцій для зміцнення будівлі. Цей штучний матеріал практично не відрізняється за зовнішнім виглядом від справжнього мармуру і з хімічної точки зору нешкідливий для навколишнього середовища.

Космічна галузь

3D-друкування активно використовується в аерокосмічній галузі для виготовлення прототипів, деталей двигунів і оснастки. Провідні інженери пропонують застосовувати 3D-друкування в галузі космічних досліджень для будівництва місячних баз. Вчені вже прийняли рішення встановити такий пристрій на Міжнародній космічній станції для того, щоб астронавти могли швидко друкувати необхідні деталі, а не чекати їх прибуття з Землі.

Військова галузь

3D-друкування має значну цінність для військової сфери. Військовий аспект використання 3D-друку активно розвивається в США, зокрема під патронатом відомої урядової структури Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Мета таких досліджень – майже повний перезапуск самої системи військового виробництва, починаючи від дизайну нового обладнання і закінчуючи запуском його у промислову серію. Прикладами подібних досліджень є прототипи лінз для пілотів, безпілотний літак (дрон).

Робототехніка

Робототехніка – це одна з галузей, в якій широко використовується 3D-друкування. Прикладами поєднання даних технологій є створений робот для 3D-друкування споруд, робот для пошуку дефектів у полімерних трубах та їх усунення за допомогою 3D-друкування та ін. Використання даних технологій разом є дуже перспективним.

Освіта

Застосування тривимірного друкування *в освіті* дає можливість легко та швидко отримувати різноманітні наочні посібники для учнів та студентів. Такі посібники можна розповсюджувати в середніх та вищих навчальних закладах. Завдяки технології 3D-друкування студенти можуть працювати з реальними фізичними моделями (механічні частини машин, частини тіла, моделі ДНК та ін.).

В окремих країнах інтенсивно розробляються національні програми розвитку 3D-друкування [3]. Наприклад, уряд Південної Кореї влітку 2014 р. прийняв 10-річну програму підтримки 3D-друкування. В межах цього плану передбачено масові освітні програми для населення щодо використання 3D-принтерів. До початку 2017 р. планувалась закупівля таких принтерів у всі школи країни та навчання принаймні 13 тис. учителів користуватися ними.

Висновки з даного дослідження та напрями подальших досліджень. На теперішній час технології 3D-друкування розвиваються швидкими темпами. До перспективних галузей їх використання належать:

- *3D-біопрінтинг* (3D bioprinting – технологія створення об'ємних 3D-моделей з використанням живих клітин за допомогою 3D-друкування, за якого зберігаються функції та життєздатність клітин);

- фармацевтична галузь (друкування ліків для індивідуальних потреб);
- авіа- та ракетобудування;
- автомобілебудування;
- масове друкування одягу та взуття;
- кулінарія;
- ювелірна галузь.

На теперішній час володіти навичками використання даної технології повинен кожен кваліфікований учитель інформатики. Саме тому навчання даної технології необхідно передбачити в існуючих програмах підготовки студентів педагогічних університетів.

У подальших дослідженнях планується розробка методики навчання та використання технологій 3D-моделювання та 3D-друкування майбутніх учителів інформатики.

Список використаних джерел

1. Андрійчук О.В. Застосування технології 3D-друку в будівництві / О.В. Андрійчук, П.Я. Оласюк // Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві. – Вип. 3. – 2015. – С. 11-18.
2. Петришина А.А. Тенденції розвитку тривимірного друку, обладнання та матеріалів для нього / А.А. Петришина // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій", 25-26 листопада 2015 р., м. Тернопіль. – Тернопіль, 2015. – С. 26-27.
3. Струтинська О.В. Напрями використання технологій тривимірного друкування у процесі підготовки майбутніх учителів інформатики / О.В. Струтинська // Теорія і практика використання інформаційних технологій в навчальному процесі: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 30-31 травня 2017 р., м. Київ. – К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2017. – С. 125-127.
4. Як і навіщо винайшли 3D-друк [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://thefuture.news/3d-printing>.
5. All3DP World's #1 3D Printing Magazine STL – File Format for 3D Printing – Simply Explained [Electronic resource]. Available at: <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing>.
6. Bhandari S., Regina B. 3D Printing and Its Applications International Journal of Computer Science and Information Technology Research Vol. 2, Issue 2, pp: (378-380), Month: April-June 2014. Available at: www.researchpublish.com.
7. Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method [Electronic resource]. Available at: <http://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>.
8. Garret B., Redwood B., Schöffner F. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications, November 14, 2017.
9. PolyJet Technology [Electronic resource]. Available at: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>.
10. The 3D printing technologies [Electronic resource]. Available at: <https://www.aniwaa.com/3d-printing-technologies-and-the-3d-printing-process>.
11. Yusuf B. 3D Printing Technology Guide – Types of 3D Printing Explained [Electronic resource]. Available at: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology>.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПЕЧАТИ

О.В. Струтинская

Аннотация. В статье рассматриваются современное состояние и перспективы развития технологий трехмерного моделирования и печати, а именно: дана характеристика аппаратного и программного обеспечения функционирования указанных технологий, этапы процесса трехмерной печати объектов, а также охарактеризованы области их использования.

Ключевые слова: технологии трехмерного моделирования и печати, 3D-моделирование, 3D-модель, 3D-печать, 3D-принтер.

MODERN STATE AND PERSPECTIVES OF THE DEVELOPMENT OF THE 3D MODELING AND 3D PRINTING TECHNOLOGIES

O.V. Strutynska

Resume. The paper is considered of the current state and prospects of the development of 3D modeling and 3D printing technologies in particular the review of the hardware and software of the functioning of these technologies, the stages of the process of 3D printing, as well as the areas of their use.

Keywords: 3D technologies, 3D modeling, 3D model, 3D printing, 3D printer.