

**Лазебний В.М.**Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України

## МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ AUTOCAD І SOLIDWORKS ДЛЯ ДРУКУ НА 3D-ПРИНТЕРАХ

Статтю присвячено дослідженню принципів моделювання механічних деталей за допомогою AutoCAD і SolidWorks для друку на 3D-принтерах. Наведено генезис 3D-друку та визначено пріоритетні напрями розвитку. Запропоновано функціональну схему 3D-принтера з виділенням головних компонентів та представленням зв'язків. Зазначається, що 3D-моделі створюються методом ручного комп'ютерного графічного дизайну або за рахунок 3D-сканування, описано принцип реалізації цих методів та їхні особливості. Підкреслено, що програми для створення моделей для друку на 3D-принтері доволі поширені у промисловому виробництві, до найбільш затребуваних віднесено SolidWorks та AutoCAD. Наведено опис кожної програми та запропоновано фундаментальні особливості застосування. У табличному вигляді представлено окремо недоліки та переваги програм SolidWorks та AutoCAD, здійснено їх порівняльний аналіз. Наголошено, що основні відмінності Solidworks від AutoCAD полягають у тому, що AutoCAD краще підходить для 2D-креслень і непараметричного проєктування, тоді як Solidworks найкраще підходить для 3D-проєктування і параметричного проєктування; AutoCAD більш гнучкий як для 2D, так і для 3D CAD, тоді як Solidworks краще підходить для спеціалізованого 3D-рендеринга. Сформовано механізм проєктування механічних 3D-деталей та відокремлено напрями руху під час моделювання. Підкреслено, що тоді як багато інструментів для 3D-друку засновані на форматах моделювання сітки, моделі SolidWorks засновані на поверхнях NURBS, вони складаються з математично певних кривих, які називаються неоднорідними сплайнами раціональної підстави. Зазначено, що у цьому разі криві складаються з набору контрольних точок поряд із вектором, а зберігання тривимірних даних у вигляді математичного опису значно зменшує розмір файлу порівняно з моделями сітки, що є перевагою моделювання у SolidWorks.

**Ключові слова:** моделювання, механічна деталь, AutoCAD, SolidWorks, друк, 3D-принтер.

**Постановка проблеми.** Розвиток IT-архітектури відображає еволюцію всього технічного прогресу. Відлік ери IT-архітектур починається в 1950-х роках із появою перших мейнфреймів (відмовостійких серверів), розквіт яких припав на середину 60-х років, саме із цього часу 3D САПР-проєктування дає змогу виробникам зберігати проєкти у цифровому вигляді й оптимізувати робочі процеси.

В умовах цифрового прогресу, що швидко розвивається, великі корпорації прийняли технічні рішення для проєктування, такі як AutoCAD, Intergraph і Unigraphics у 1980-х роках, а вже в 1990-х вони створили інноваційні пропозиції, такі як SolidEdge, Inventor, CATIA і SolidWorks. Це фундаментально нове покоління інструментів використовує можливості графічного призначеного для користувача інтерфейсу і більш просунуті сплайнові методи обробки поверхонь, що є технічно значущим під час моделювання механічних деталей.

Патент на технологію стереолітографії був оформлений у 1986 р. Чарльзом Халом, саме в

основі 3D-принтера лежить ця технологія. Принтер являв собою досить габаритну промислову установку, виробництвом на якому служив заздалегідь змодельований на комп'ютері цифровий макет (3D-модель) [1].

Поява 3D-друку і цифрового прототипування дала поштовх для розширення ринку інструментів для проєктування, збільшення виробничих масштабів, зниження коефіцієнта ручної праці, підвищення якості продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На теренах новітньої наукової парадигми особливий інтерес викликають вітчизняні та зарубіжні дослідження 3D-моделювання.

Вивченню 3D-друку і цифрового прототипування присвячено праці В.В. Чаговець, О.В. Соловйової, І.О. Водяницького, О.О. Дерези, В.В. Проців, К.А. Зіборова, О.М. Твердохліба та ін.

Так, В.В. Чаговець [2] дослідив перспективи розвитку FabLab в Україні. О.В. Соловйова [3] у статті, присвяченій виявленню історичних фактів виникнення технології 3D-друку, наголошувала

на необхідності впровадження новітніх технологій у процес навчання.

Моделювання механічних деталей дослідили й І.О. Водяницький та О.О. Дереза [4]. Авторами підкреслено, що 3D-моделювання широко застосовується у такій галузі промисловості, як машинобудування. За допомогою такої сучасної технології, як тривимірне моделювання, розробники можуть отримувати максимально реалістичні зображення тих деталей і вузлів, які вони проєктують. 3D-моделювання дає змогу успішно проводити візуалізацію тих об'єктів, які ще не існують, а знаходяться поки на стадії конструювання.

Учені В.В. Проців, К.А. Зіборов, О.М. Твердохліб [5] розкрили принципи проєктування редукторів із використанням САПР КОМПАС.

Внесок А.Е. Михайлової та А.Д. Дошина [6] у вивчення 3D-друку і цифрового прототипування полягає насамперед в описі історії виникнення, основних принципів і технологій роботи пристрою, проведенні дослідження застосування 3D-принтера, висвітлюванні проблем і перспектив використання представленої технології у різних сферах життя.

Д.Р. Кузяев [7] у роботі «Вибір та аналіз середовища розробки 3D-моделей» провів огляд найбільш розповсюджених систем ANSYS, КОМПАС 3D, Autodesk Inventor та SolidWorks, у результаті якого виявив їхні переваги та недоліки. Таким чином, автором вибрано для подальших розробок застосування системи SolidWorks.

О.О. Дереза, С.М. Коломієць та С.В. Дереза [8] розглянули питання застосування комп'ютерних програм для тривимірного моделювання, здійснивши огляд сучасних програм для 3D-моделювання та висвітлили переваги та недоліки кожної з розглянутих програм.

Із зарубіжних робіт із порушеної теми дослідження варто відзначити праці таких учених, як: I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker [9], G.A. Longhitano, M.A. Larosa, A.L.J. Munhoza, C.A. Carvalho Zavagliaa [10], J.F. Kelly [11], H. Larson, M. Kurman [12], С. McMahon [13], K. Sheppard [14], K. Hausman [15], С. Barnatt [16], В. Evans [17] тощо.

Однак, незважаючи на всю масштабність наявних наукових розвідок за темою дослідження, все ж питання всебічного вивчення принципів моделювання механічних деталей за допомогою AutoCAD і SolidWorks для друку на 3D-принтерах залишається відкритим та потребує детального опрацювання та аналізу.

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає у розкритті принципів моделювання

механічних деталей за допомогою AutoCAD і SolidWorks для друку на 3D-принтерах. Поставлена мета передбачає необхідність розв'язання таких завдань:

- з'ясувати зміст поняття та принципів 3D-моделювання за допомогою AutoCAD і SolidWorks;

- навести функціональну схему 3D-принтера;
- запропонувати принципи моделювання механічних деталей за допомогою AutoCAD і SolidWorks для друку на 3D-принтерах;

- окреслити переваги та недоліки 3D-друку із застосуванням моделей механічних деталей, виготовлених за допомогою AutoCAD і SolidWorks.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Однією з найбільш поширених технологій швидкого прототипування, що дає змогу автоматизувати створення натурних макетів, є екструзійна технологія 3D-друку, яка заснована на методі пошарового формування об'ємних деталей струменем розплавленого пластику, що видавлюється. 3D-принтер фактично є верстатом із числовим програмним управлінням, у якого замість фрези або різця є екструдер. Функціональну схему 3D-принтера наведено на рис. 1.

Варто зазначити, що програмування принтера проводиться на індустріальній мові G-code, яка підтримується більшістю обробних центрів. 3D-моделі створюються методом ручного комп'ютерного графічного дизайну або за рахунок 3D-сканування. Ручне моделювання, інакше – підготовка геометричних даних для створення тривимірної комп'ютерної графіки, нагадує скульптування, а 3D-сканування – це автоматичний збір і аналіз даних реального об'єкта, його форми, кольору та інших характеристик із подальшим перетворенням на цифрову тривимірну модель. І ручне, і автоматичне створення 3D-друкованих моделей може викликати труднощі у середнього користувача. У зв'язку із цим в останні роки набули поширення 3D-друковані торгові майданчики [9].

Моделі для 3D-принтерів створюють переважно фахівці, і займає цей процес набагато більше часу, ніж сканування. Однак уже сьогодні у зв'язку з бурхливим розвитком комунікацій шаблони стали доступні кожному. Тривимірне зображення оригіналу можна отримати також за допомогою звичайної фотографії з подальшою конвертацією в 3D. Окрім того, останнім часом на ринку з'являється все більше 3D-сканерів, включаючи портативні ручні варіанти, здатні знімати зображення великогабаритних об'єктів [3; 8; 9].

Тривимірний метод пошарового створення фізичної моделі подібний до основного висхідного методу в нанотехнології – «знизу – вгору» [10].

Що стосується виробництва механічних деталей із використанням 3D-принтерів, то воно є адитивним, маючи на увазі будівництво механічних деталей за рахунок додавання, нанесення послідовних шарів необхідного матеріалу, а не видалення зайвого, як у випадку із субтрактивними методами. Моделі, виготовлені адитивним методом, можуть застосовуватися на будь-якому виробничому етапі, для виготовлення як дослідних зразків (швидке прототипування), так і самих готових виробів (швидке виробництво).

Слід відзначити, що програми для створення моделей для друку на 3D-принтері доволі поширені у промисловому виробництві, до найбільш затребуваних варто віднести SolidWorks та AutoCAD.

SolidWorks – одне з найбільш універсальних середовищ моделювання, яке об'єднує функції редагування сітки поряд із наборами інструментів для моделювання поверхонь і 3D-об'єктів. Про-

грамне забезпечення надає велике робоче середовище, яке незамінне в сучасному 3D-дизайні.

Зауважимо, що тривимірна геометрія в SolidWorks побудована з ескізів, які найчастіше є двовимірними і намальовані на площинах. Ескізи можуть стати тривимірними кривими за використання команд «Підігнати сплайн», «Сплайн на поверхні» або «3D-ескіз». Кожен ескіз містить розміри, що визначають креслення й обмеження, котрі описують ставлення елементів ескізу один до одного або до інших елементів тривимірної моделі. Наприклад, лінія може проходити паралельно, збігатися або бути перпендикулярно іншому парному елементу.

SolidWorks пропонує інструментарій поверхневих і твердих операцій, які створюють елементи механічних деталей. Структурування операцій моделювання якнайкраще відображає кінцеву мету проєкту.

Основні відмінності Solidworks від AutoCAD полягають у тому, що AutoCAD краще підходить для 2D-креслень і непараметричного проєктування, тоді як Solidworks найкраще підходить для

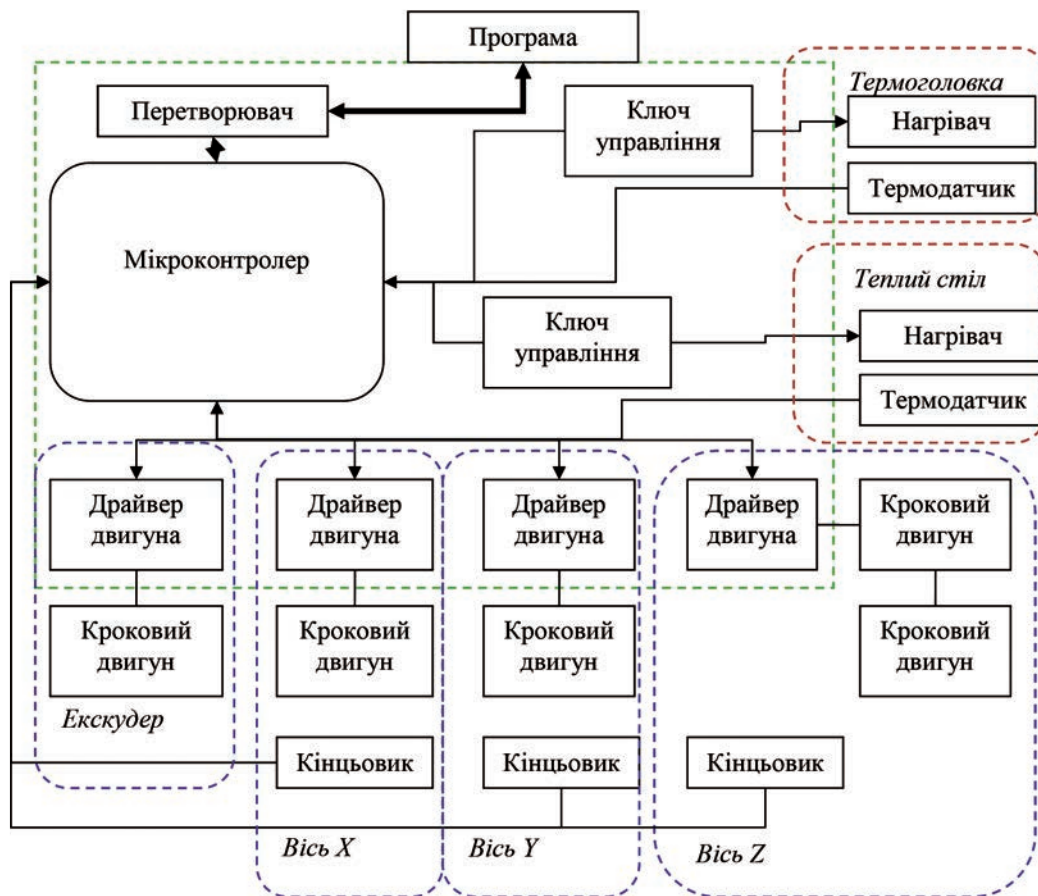


Рис. 1. Функціональна схема сучасного 3D-принтера

3D-проектування і параметричного проектування; AutoCAD більш гнучкий як для 2D, так і для 3D CAD, тоді як Solidworks краще підходить для спеціалізованого 3D-рендеринга.

Оскільки AutoCAD LT є золотим стандартом для промислових САПР, він може гнучко адаптуватися до 2D- або 3D-проектів, використовуючи локальні мережеві диски, якщо швидкість підключення обмежена. Більшість адитивних виробництв використовують AutoCAD.

AutoCAD спочатку використовувався як спосіб моделювання 2D-геометрії і розвинувся, щоб включити різні варіанти 3D-моделювання, як-от тверді тіла, поверхні і сітки. Багато практиків, як і раніше, використовують його переважно для 2D-креслень і 2D-креслення (2D CAD), але його можливості роблять його відмінним рішенням для моделювання проектів 3D-друку. Є можливість повернути об'єкт у тривимірному просторі, щоб дивитися на нього з будь-якої точки огляду, що робить його дуже корисним для функціональної візуалізації всього об'єкта.

Варто констатувати, що AutoCAD перетворився на групу програм, адаптованих до галузей, із різними настройками призначеного для користувача інтерфейсу. Наприклад, в AutoCAD Architecture попередньо завантажені деталі, загальні для проектування будівельних виробів, такі як двері і вікна; AutoCAD Electrical надає доступ до бібліотеки часто використовуваних символів електротехніки. AutoCAD Mechanical дає змогу створювати і змінювати механічні конструкції або AutoCAD MEP, який є варіантом, який дозволяє 3D-моделювання механічних, електричних і сантехнічних конструкцій для будівництва в програмі САПР.

Переваги та недоліки 3D-друку з AutoCAD наведено в табл. 1.

SolidWorks – це програмне забезпечення для автоматизованого креслення, яке було розроблено в 1995 р. засновником SolidWorks Corporation.

SolidWorks максимально підходить для 3D-моделювання за рахунок набору функцій для 3D-моделювання.

Відзначимо, що SolidWorks використовується в різних галузях промисловості, таких як автомобільна й аерокосмічна техніка, будівництво, нафта і газ, альтернативна енергія та робототехніка. SolidWorks був розроблений у напрямі, протилежному AutoCAD; спочатку створений як програмне забезпечення для 3D-моделювання (програмне забезпечення САПР), він також був доданий у компоненти 2D-креслення. Фундаментальною основою під час роботи з SolidWorks є 2D-креслення як перший крок та подальша орієнтація на 3D, що робить його максимально відповідним роботі багатьох 3D-принтерів.

Переваги та недоліки 3D-друку з SolidWorks наведено в табл. 2.

Тоді як багато інструментів для 3D-друку засновані на форматах моделювання сітки, моделі SolidWorks засновані на поверхнях NURBS. Вони складаються з математично певних кривих, які називаються неоднорідними сплайнами раціональної підстави. Тут криві складаються з набору контрольних точок поряд із вектором.

Потім створюється поверхня шляхом інтерполяції між різними кривими за допомогою операцій loft, sweep і border. Це дає змогу додати поверхням такий напрям, як дотичність і безперервність кривизни, і дає точні визначення для великої різно-

Таблиця 1

**Переваги та недоліки 3D-друку з AutoCAD**

№	Переваги	Недоліки
1	Повноцінне професійне програмне забезпечення із величезною кількістю опцій і функцій	Спочатку розроблявся для 2D-дизайну, який нині має перевагу у використанні
2	Новатор у сфері комп'ютерного креслення, який від самого початку був галузевим стандартом	Щорічна абонентська плата перевищує 1 000 доларів США за умови комерційного використання
3	Спеціальна команда 3D-друку (3DPRINT) з 2015 р.	Потребує окремого навчання, найкраще підходить для тих, хто вже знайомий із принципами креслення і хоче додати компонент для 3D-друку або 3D-деталь
4	Широкий діапазон форматів між зберіганням файлів та їх спільним використанням в іншому програмному забезпеченні	-
5	Без абонентської плати, якщо є право на освітню ліцензію	-
6	Мобільний додаток і хмарне сховище та спільне використання для широкого спектра можливостей доступу	-

## Переваги та недоліки 3D-друку з SolidWorks

№	Переваги	Недоліки
1	Параметричне моделювання на основі елементів робить проектування (і процес проектування) в 3D інтуїтивно зрозумілим	Сумісний тільки з операційними системами Windows
2	Оплата ліцензії одноразова	Щорічна плата за обслуговування, яка приблизно дорівнює ціні однієї річної передплати AutoCAD, понад одноразової плати за ліцензію
3	Знижка на студентське видання	Обмежені можливості 2D
4	Різні варіанти моделювання дають змогу протестувати дизайн перед його друком	-
5	Побудований на основі 3D-моделювання	-
6	Включає інструменти проектування листового металу	-
7	Можливості хмарного зберігання та обміну 3DEXPERIENCE	-
8	Використовується у самих різних галузях машинобудування, тому є визнаним стандартом	-
9	Інтегрований САМ	-
10	Стандартизовані формати файлів роблять його сумісним з іншими програмами САПР	-
11	Остання версія дає змогу малювати від руки на мобільних пристроях	-
12	Остання версія об'єднує САМ і інструменти вивчення топології	-

манітності складних моделей. Перевага полягає у тому, що зберігання тривимірних даних у вигляді математичного опису значно зменшує розмір файлу порівняно з моделями сітки.

Математична точка не займає місця, і оскільки сплайн заснований на точках, а поверхня NURBS заснована на сплайнах, поверхні NURBS є абстрактними формами без обсягу. Для друку на принтері фактичного 3D-об'єкта всі поверхні тіла повинні бути перетворені на тверді тіла. Потім тверде тіло перетворюється на формат сітки. Нині SolidWorks пропонує три формати сітки, придатні для 3D-друку: STL (STereoLithography), AMF (додатковий формат виробництва на основі XML) і 3MF (3D-формат виробництва, власний 3D-формат для Microsoft Windows).

**Висновки.** Під час моделювання механічних деталей та подальшого їх друку на 3D-принтері роль людського фактора зведено майже до нуля, кожен готовий виріб у точності буде повторювати особливості оригінала. З огляду на таку тенденцію, можливо, у найближчий час 3D-принтери стануть обов'язковим атрибутом на сучасному промисловому виробництві. Технологію масового впровадження тривимірного друку можна назвати черговою технічною революцією. У поєднанні зі своїми можливостями вона здатна кардинально змінити світ.

Перспектива подальших досліджень ґрунтується на розробленні моделі автоматизованого формування механічної деталі з використанням SolidWorks та подальшим друком за допомогою 3D-принтера.

## Список літератури:

1. История 3D-печати. URL: <https://3dmf.ru/wiki/istoriya-3d-pechati.html> (дата звернення: 15.04.2021).
2. Чаговец В.В. Перспективи розвитку FabLab в Україні. *Новітні комп'ютерні технології*. Кривий Ріг : Криворізький національний університет, 2016. Т. XIV. С. 120–121.
3. Соловійова О.В. Технології 3D-друку. *Державний університет інфраструктури та технологій*. URL: [http://ageg.knuba.edu.ua/article/view/195097/pdf\\_25](http://ageg.knuba.edu.ua/article/view/195097/pdf_25) (дата звернення: 15.04.2021).
4. Водяницький І.О., Дереза О.О. Моделювання механічних передач. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали І Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції, м. Мелітополь, 01–24 квітня 2020 р. / ред. кол. В.М. Кюрчев та ін. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 83–87.
5. Проців В.В., Зіборов К.А., Твердохліб О.М. Проектування редукторів із використанням САПР КОМПАС. Національний гірничий університет, 2011. 178 с.

6. Михайлова А.Е., Дошин А.Д. 3D-принтер – технологія майбутнього. *Молодий вчений*. 2015. № 20. С. 40–44.
7. Кузяєв Д.Р. Вибір та аналіз середовища розробки 3D-моделей. URL: [https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/14157/3/Sbornik\\_%D0%90DED\\_2019\\_2\\_Kuzaev.pdf](https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/14157/3/Sbornik_%D0%90DED_2019_2_Kuzaev.pdf) (дата звернення: 15.04.2021).
8. Дереза О.О., Коломієць С.М., Дереза С.В. Тривимірне моделювання деталей машин в машинобудуванні. *Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції*: матеріали міжнародного науково-практичного форуму, м. Мелітополь, 21–22 червня 2019 р. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. Ч. 2. С. 29–31.
9. Gibson I., Rosen D., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2nd ed. Springer; 2015: 498 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-2113-3.
10. Longhitano G.A., Larosa M.A., Munhoza A.L.J., Carvalho Zavagliaa C.A., Ierardia M.C.F. Surface finishes for Ti-6Al-4V alloy produced by direct metal laser sintering. *Materials Research*. 2015. Vol. 18(4). P. 838–842.
11. Kelly J.F. *3D-Printing: Build Your Own 3D-Printer and Print Your Own 3D-Objects*. Que Publishing. 2013. 192 p.
12. Larson H., Kurman M. *Fabricated: The New World of 3D-Printing*. Wiley. 2013. 280 p.
13. McMahon C. *3D-Printing: Second Edition/Imagine Publishing Ltd*. 2013. 116 p.
14. Sheppard K. *3D-Printing – Unabridged Guide/Tebbo*. 2012. 174 p.
15. Hausman K. *3D-Printing For Dummies / For Dummies*. 2014. 384 p.
16. Barnatt C. *3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform*. 2014. 306 p.
17. Evans B. *Practical 3D-Printers: The Science and Art of 3DPrinting/ Evans B. Apress*. 2013. 332 p.

#### **Lazebnyi V.M. DESIGN OF MECHANICAL DETAILS WITH AUTOCAD AND SOLIDWORKS FOR 3D PRINTING**

*The article is devoted to the study of the principles of modeling mechanical parts using AutoCAD and SolidWorks for printing on 3D printers. The genesis of 3D printing is given and the priority directions of development are determined. The functional diagram of the 3D printer with the selection of the main components and the representation of the connections is offered. It is noted that 3D-models are created by the method of manual computer graphic design or by 3D-scanning, the principle of implementation of these methods and their features are described. It is emphasized that programs for creating models for printing on a 3D printer are quite common in industrial production, the most popular are SolidWorks and AutoCAD. The description of each program is given and the fundamental features of application are offered. The table shows the disadvantages and advantages of SolidWorks and AutoCAD separately, and comparatively analyzes them. It is emphasized that the main differences between Solidworks and AutoCAD are that AutoCAD is better suited for 2D drawings and non-parametric design, while Solidworks is best suited for 3D design and parametric design; AutoCAD is more flexible for both 2D and 3D CAD, while Solidworks is better suited for specialized 3D rendering. The mechanism of designing mechanical 3D parts is formed and the directions of movement at modeling are separated. It is emphasized that while many 3D printing tools are based on grid modeling formats, SolidWorks models are based on NURBS surfaces, they consist of mathematically defined curves called inhomogeneous splines of a rational basis, it is noted that in this case the curves consist of a set control points next to the vector, and storing three-dimensional data as a mathematical description significantly reduces file size compared to grid models, which is an advantage of simulation in SolidWorks.*

**Key words:** modeling, mechanical part, AutoCAD, SolidWorks, printing, 3D printer.