

Константин ДЯДЮРА, д-р техн. наук, проф.,

Юля РОГОВИК, студентка

Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: dyadyura.k.o@op.edu.ua,
10514669@stud.op.edu.,

ТЕХНОЛОГІЯ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ У МЕДИЦИНІ

Анотація. У процесі розробки моделей біомедичних виробів необхідно враховувати метод подальшого їх друку, адже кожен з них накладає специфічні вимоги на макет моделі, зумовлені особливостями матеріалів та технологічного процесу. Передбачена стандартизація процесів моделювання та друку.

Ключові слова: тривимірний друк, технології 3D-друку, модель, біопринтинг, стандарт.

У промисловості технологія тривимірного друку знайшла застосування наприкінці 80-х років минулого століття, із заснуванням компанії 3D Systems. Але стрімкого розвитку зазнала лише у 2000-х – після створення принтера із достатньо високою якістю друку. Наразі тривимірний друк є корисним інструментом науковців та виробників практично будь-якої сфери. Стандартний алгоритм 3D-друку передбачає створення цифрової тривимірної моделі, подальшу її конвертацію у формат, «зрозумілий» принтеру, друк та обробку виробу.

Модель може бути отримана шляхом розробки у певному програмному середовищі або сканування з фізичного об'єкта. Отримане зображення конвертується у стандартний STL формат, що представляє поверхню моделі як мережу трикутників різних розмірів, визначених роздільною здатністю. Об'єкт виготовляється шар за шаром — кожен наступний шар повинен підтримуватися або попереднім шаром, або допоміжними елементами. Далі модель, включно з опорами, розділяється на шари, після чого відправляється на принтер. 3D-сканування передбачає створення моделей об'єктів реального світу. Отримання даних про геометрію поверхні об'єкта відбувається контактним або безконтактним, активним або пасивним методом сканування. При цьому отримують серію двовимірних зображень із яких комп'ютером формується тривимірна модель. Реінжиніринг – це спосіб ремонту пошкоджених деталей або вузлів виробу, який передбачає усунення тріщин, лагодження виступаючих елементів, перекривання зношених отворів і т.д. Використання технології 3D-друку є доцільним при потребі у дрібних, нетипових елементах для робіт або заміні відновлюваних деталей. Реінженіринг передбачає етап створення тривимірної моделі (проекування у програмному середовищі або сканування) та реверсивний етап. Реверсивний реінженіринг потребує використання CAD програми, у якій відбувається налаштування системи координат для моделі у форматі STL, а також її редагування. Отримана цифрова модель повинна бути сумісною із типом 3D-принтера, який її відтворюватиме [1, с.11].

Етапи розробки тривимірної моделі у програмному середовищі:

- отримання інформації для створення точної моделі (наприклад, креслень);
- безпосереднє створення 3D-моделі у спеціалізованому програмному середовищі;
- корекція розмірів, дрібних деталей;
- слайсинг моделі (визначаються шари).

Методи одержання проєкційних даних для побудови моделі поділяють на категорії неруйнівного дослідження внутрішньої структури об'єкта (томографія) та сканування зовнішньої поверхні.

Узагальнений процес побудови 3D-моделі реального об'єкту налічує етапи:

- безпосереднього сканування або ж одержання даних;
- попередньої обробки;
- сегментації;
- реконструкції моделі;
- візуалізації тривимірної моделі.

Попередня обробка передбачає маніпуляції із даними для зменшення шумів, редагування контрасту, масштабування і т.п. Сегментація застосовується у випадку потреби у виділенні окремих об'єктів на зображенні. Реконструкція тривимірної моделі означає перехід від «хмари» точок, які описують поверхню, до конкретної форми (каркасної, полігональної, функціональної) [2, с. 384]. Технології 3D-друку виникали відповідно до потреб ринку, крокуючи в ногу з відкриттям нових матеріалів. Вони різняться способом побудови шарів, точністю відтворюваності моделі, механічними властивостями виробів, шорсткістю їх поверхні, швидкістю збірки та собівартістю процесу. Та в галузі біомедичного друку придатними для використання вважаються лише декілька з них. Доцільно буде приділити саме їм увагу. При стереолітографічному (SLA) друку використовується властивість фотосмол затвердівати під впливом видимого або ж УФ-випромінювання. Виріб формується у процесі пошарового освітлення смоли, або нанесенням малюнка лазерним променем чи цифровим проектором. Об'єкт може будуватись у напрямку «знизу-угору» або ж навпаки. У першому разі платформа, поміщена у верхніх товщах наповненої смолою ванни, підсвічує необхідний малюнок. Після затвердіння шару платформа опускається на певну глибину і процес повторюється. Висота шару коливається у межах (12...150) мкм. Зворотний напрямок передбачає поміщення заготовки у ванну зі смолою, виготовленою з прозорого матеріалу, що пропускає УФ-випромінювання, як-от поліетилентерефталат. Ближній шар смоли твердіє, після чого підіймається на товщину наступного шару, простір між платформою та верхнім шаром виробу заповнює рідка смола і знову освітлюється. Цей спосіб потребує менших витрат сировини та забезпечує вищу точність відтворення, а також виключає вплив повітря, яке пригнічує полімеризацію. Та при цьому виріб може бути пошкоджений при випадковому зчепленні затверділої смоли з основою, при піднятті готової конструкції. Необхідно враховувати й те, що складні вироби, навантаження на які розподіляється нерівномірно, потребують додаткових опор для безпечного їх відділення й подальшого переміщення [3, с. 5]. Обидва способи забезпечують гарне зчеплення шарів конструкції. Постобробка передбачає промивання виробу від незатверділої смоли. Метод проекції з використанням цифрового проектора, є альтернативою лазерному «прямому письму», потребує менших витрат, дозволяє значно скоротити тривалість виробництва, адже проекція здатна охопити весь об'єм майбутнього виробу і полімеризація різних шарів протікатиме одночасно. Глибина затвердіння для фотосмоли визначається кількістю використаної енергії, отже її можна регулювати, змінюючи потужність джерела і тривалість опромінення. Комбінацію прямого письма та проєціювання використовують для підвищення роздільної здатності великих виробів. Вибіркове лазерне спікання (SLS друк) налічує три етапи: осадження порошку, його затвердіння та опускання будівельної платформи на глибину наступного шару. Частинки порошкового матеріалу плавляться та тверднуть під дією лазерного випромінювання, яке розповсюджується оптичною системою при скануванні контурів і шарів моделі. Осадження здійснюється за допомогою валика. Під час процесу у камері з інертним газом, де відбувається спікання, підтримується температура, лише на кілька градусів нижча, аніж потрібна для розм'якшення матеріалу, що дозволяє значно скоротити тривалість процесу та поліпшити якість вихідного продукту [4, с. 10]. Порошок, який не затвердів під час виготовлення попереднього шару, замінює опорні конструкції, у кінці видаляється і є придатним для повторного використання. Серед різноманіття матеріалів, придатних для обробки даним методом, особливу увагу привертають пластмаси зі специфічними механічними властивостями. Вироби є досить довговічними й витривалими, в окремих випадках відтворення їх складної конструкції не є можливим для друку іншими методами.

Серед методів, які знайшли застосування у біопринтингу: фотолітографія, стереолітографія, пряма екструзія [5].

На разі науковці, що займаються питанням 3D-друку для застосування у медичній галузі, зокрема, в імплантології, мають на меті скорочення часу обробки результатів сканування тіла, проектування потрібних структур та створення біосумісних імплантатів.

Міжнародна організація із стандартизації розробила документи, у яких наведені рекомендації щодо організації роботи із використанням технології 3D-друку. Деякі з них: ISO/DIS 27548, ISO/ASTM TR 52916:2022, ISO/IEC 3532-1.

ISO/DIS 27548 розкриває метод тестування для визначення інтенсивності викидів частинок і летких органічних сполук із настільного 3D-принтера, робота якого основана на екструзії матеріалів (Fused Filament Fabrication, FFF). Такі принтери є найдоступнішими і часто використовуються у непромислових середовищах, таких як навчальні та офісні приміщення. У документі описано метод кондиціонування у камері з контрольованими умовами (температура, вологість, швидкість руху повітря), процедуру моніторингу та аналізу отриманих даних. Наведені рекомендації не є дієвими при аналізі роботи із сировиною, викиди від якої не вимірюються використаними детекторами, наприклад, ПВХ [9].

У ISO/ASTM TR 52916:2022 розглянуто способи обробки та оптимізації медичних зображень для точних твердих моделей на основі реальних даних про людей і тварин, тобто, на основі зображень, отриманих в процесі томографії. Серед факторів, що впливають на точність: роздільна здатність, шуми, контрастність. Файли формату DICOM не рекомендують для безпосереднього друку. Існує проблема залежності похибки 3D-реконструкції анатомічної структури від товщини зрізу при томографічному обстеженні. Можлива автоматична зміна конфігурації інтервалу зрізу за допомогою ізотропного перетворення для DICOM файлу [10].

Незалежно від призначення виробу, створеного методом тривимірного друку, алгоритм його моделювання, стандарти обробки даних про нього, технології друку є уніфікованими для різноманітних матеріалів. Складність реалізації створення виробів пояснюється специфічними вимогами до складу, фізичних характеристик об'єкта – до вирішення цих питань, здебільшого, підходять із точки зору модифікацій матеріалу, а не технологічного процесу. Тривимірний друк набув широкого застосування у медичній галузі. Разом з тим виникла потреба стандартизації вимог до виробничих умов та матеріалів з метою забезпечення охорони праці. На разі рекомендації до аналізу виробничого процесу є недосконалими. Через активний розвиток технології друку охопити усі можливі варіанти матеріалів, забезпечивши цим інформаційну основу для уповноважених служб та виробників, є неможливим – відповідальність за безпеку на виробництві покладається безпосередньо на особу-виробника.

Література

1. Ємець, А.Б. Реінжиніринг деталей типу корпус з використанням адитивних технологій : магістерська дис. : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Ємець Анастасія Богданівна. – Київ, 2021. – 129 с.
2. Бабков В.С. 3D-моделювання об'єктів на основі 2D та 3D-проекційних даних / В.С. Бабков // Матеріали IV науково-практичної конференції „Донбас-2020: наука і техніка – виробництву”, 27-28 травня 2008 р. – Донецьк: ДонНТУ Міністерства освіти і науки, 2008. – С. 383–387
3. Muehlenfeld, C., & Roberts, S.A. (2018). 3D/4D Printing in Additive Manufacturing: Process Engineering and Novel Excipients. 3D and 4D Printing in Biomedical Applications.
4. Kafle A, Luis E, Silwal R, Pan HM, Shrestha PL, Bastola AK. 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). *Polymers (Basel)*. 2021;13(18):3101. Published 2021 Sep 15. doi:10.3390/polym13183101
5. Azlin, M., Ilyas, R A., Zuhri, M., Sapuan, S.M., Harussani, M.M., Sharma, S., Nordin, A.H., Nurazzi, N M., & Afifah, A.N. (2022). 3D Printing and Shaping Polymers, Composites, and Nanocomposites: A Review. *Polymers*, 14(1), 180. <https://doi.org/10.3390/polym14010180>