

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-49>  
УДК 678.027.3

**ДУКА ОЛЕКСАНДР**

Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0009-0001-8231-856X>  
e-mail: [s4n1220@gmail.com](mailto:s4n1220@gmail.com)

**ПОЛІЩУК ОЛЕГ**

Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0002-9764-8561>  
e-mail: [opolishchuk71@gmail.com](mailto:opolishchuk71@gmail.com)

## МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЇ 3D-ДРУКУ РОБОТИЗОВАНИМ МАНІПУЛЯТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА ROBODK

У статті розглянуто методику моделювання та симуляції процесу 3D-друку пелетним екструдером із застосуванням програмного середовища RoboDK. Використання роботизованих систем у виробничих процесах дозволяє підвищити точність нанесення матеріалів, зменшити витрати та мінімізувати ймовірність помилок. Одним із ключових аспектів впровадження таких технологій є попереднє цифрове тестування, що дозволяє оптимізувати параметри траєкторій руху маніпуляторів та перевірити їхню ефективність без необхідності фізичного втручання в обладнання. У межах дослідження реалізовано алгоритм створення віртуального середовища у RoboDK, що включає імпорт CAD-моделей, налаштування координатних систем, калібрування інструменту та побудову оптимальної траєкторії багатосьюового 3D-друку. Використання моделювання дає можливість оцінити можливі зіткнення, визначити допустимі діапазони руху маніпулятора та адаптувати параметри екструзії полімерного матеріалу відповідно до особливостей геометрії виробу. Проведена симуляція дозволила визначити оптимальні режими роботи екструзійної системи, а також скоригувати параметри керування для мінімізації похибок. Отримані результати демонструють доцільність застосування RoboDK для попереднього тестування та налагодження технологічних процесів роботизованого 3D-друку. Використання симуляції дозволяє значно скоротити час на розробку та налаштування виробничого процесу, зменшити ризики помилок та підвищити якість кінцевого виробу. Запропонований підхід може бути використаний для вдосконалення алгоритмів керування роботизованими маніпуляторами в інших сферах виробництва, що потребують високої точності та стабільності виконання операцій.

**Ключові слова:** RoboDK, 3D-друк, пелетний екструдер, адитивні технології, роботизована система, моделювання, симуляція, робот-маніпулятор, роботизована рука.

**DUKA OLEKSANDR, POLISHCHUK OLEH**

Khmelnytskyi National University

## MODELING A 3D PRINTING OPERATION USING THE ROBODK SOFTWARE ENVIRONMENT AND A ROBOT T MANIPULATOR

The article discusses the methodology for modeling and simulating the 3D printing process using a pellet extruder within the RoboDK software environment. The use of robotic systems in production processes allows for increased material deposition accuracy, reduced costs, and a minimized likelihood of errors. One of the key aspects of implementing such technologies is preliminary digital testing, which enables the optimization of manipulator motion trajectory parameters and the verification of their effectiveness without the need for physical intervention in the equipment. As part of the study, an algorithm for creating a virtual environment in RoboDK was implemented, including the import of CAD models, setting up coordinate systems, tool calibration, and the construction of an optimal multi-axis 3D printing trajectory. The use of modeling makes it possible to assess potential collisions, determine the permissible ranges of manipulator motion, and adapt the polymer material extrusion parameters according to the specific geometry of the product. The performed simulation allowed for the determination of optimal operating modes for the extrusion system, as well as the adjustment of control parameters to minimize errors. The results obtained demonstrate the feasibility of using RoboDK for preliminary testing and debugging of robotic 3D printing technological processes. The use of simulation significantly reduces the time for development and setup of the production process, decreases the risk of errors, and improves the quality of the final product. The proposed approach can be used to improve control algorithms for robotic manipulators in other manufacturing sectors that require high precision and operational stability.

**Keywords:** RoboDK, 3D printing, pellet extruder, additive manufacturing, robotic system, modeling, simulation, robot manipulator, robotic arm.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.02.2026  
Прийнята до друку / Accepted 11.03.2026  
Опубліковано / Published 28.05.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Дука Олександр, Поліщук Олег

### Вступ

Сучасний розвиток адитивних технологій зумовлює впровадження роботизованих маніпуляторів, оснащених системами екструзії полімерних гранул (пелет). Використання гранул замість традиційного філаменту дозволяє суттєво знизити собівартість виробництва та підвищити швидкість друку, що є критично важливим для виготовлення великогабаритних виробів у машинобудуванні та легкій промисловості [1, 2].

Головним викликом при реалізації такого процесу є складність траєкторій руху маніпулятора та необхідність синхронізації роботи екструдера з динамікою робота. На відміну від традиційних 3-осьових принтерів, промислові роботи мають більше ступенів вільності, що дозволяє друкувати складні геометричні форми під різними кутами, проте значно ускладнює програмування та підвищує ризик виникнення колізій [3]. Для вирішення цих завдань необхідне попереднє цифрове моделювання та симуляція процесу.

Програмне середовище RoboDK є ефективним інструментом для офлайн-програмування, що дозволяє інтегрувати CAD-дані безпосередньо в середовище керування роботом. Використання RoboDK дає змогу візуалізувати робочу зону, оптимізувати орієнтацію екструдера, виявити сингулярні положення маніпулятора та перевірити досяжність точок траєкторії ще до початку фізичного друку [4]. Це мінімізує ризик пошкодження обладнання та дозволяє точно налаштувати параметри екструзії залежно від швидкості руху робочого органа.

Таким чином, розробка алгоритмів симуляції в середовищі RoboDK є необхідним кроком для ефективного впровадження технологій pelletного 3D-друку. Це дозволяє не лише скоротити час на налаштування обладнання, але й забезпечити високу якість виробів при одночасному зниженні енергетичних та матеріальних витрат.

#### Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес 3D-друку pelletним екструдером, змодельований у середовищі RoboDK. Методологія базується на створенні віртуального робочого середовища, імпорту CAD-моделей, визначенні параметрів 3D-друку та тестуванні траєкторії руху.

#### Постановка завдання

Основним завданням є створення моделі процесу 3D-друку та визначення ефективності симульованого робочого середовища. Дослідження передбачає: інтеграцію pelletного екструдера та роботизованого маніпулятора у RoboDK; створення траєкторії руху для 3D-друку, аналіз можливих неточностей та налаштування швидкості робота для стабільного друку

#### Результати та їх обговорення

Створення віртуальної сцени в середовищі RoboDK є фундаментальним етапом проектування процесу роботизованого адитивного виробництва. Це дозволяє змодельувати повний цикл 3D-друку, перевірити кінематичну здатність маніпулятора та оптимізувати параметри нанесення матеріалу. На початковому етапі було здійснено імпорт тривимірних CAD-моделей робочої зони, включаючи маніпулятор, платформу для друку та допоміжне обладнання. Використання універсальних форматів (STEP, STL) забезпечило точність передачі геометричних характеристик об'єктів [4].

Для реалізації процесу друку в якості базового маніпулятора було обрано 6-осьову роботизовану руку Nigo One. Даний робот відрізняється високою роздільною здатністю позиціонування та відкритим програмним інтерфейсом, що робить його оптимальним для досліджень у сфері малогабаритного друку та прототипування. На рисунку 1 зображено базову конфігурацію віртуальної робочої станції у середовищі RoboDK. У нижній лівій частині екрана візуалізовано глобальну систему координат (Reference Frame), відносно якої розраховується положення всіх об'єктів у сцені (осі X – червона, Y – зелена, Z – синя). Також можна чітко спостерігати локальну систему координат, закріплену на кінцевому ефекторі (фланці) маніпулятора, яка визначає просторову орієнтацію інструменту. Правильне базування цих систем є критично важливим для того, щоб згенерована траєкторія друку коректно відображалася на фізичному робочому столі без просторових зміщень. Оскільки стандартна бібліотека RoboDK не містить готових моделей спеціалізованих pelletних екструдерів, для дослідження було використано та адаптовано базову модель екструзійної головки (рис. 2). Налаштування інструменту є одним із найвідповідальніших кроків в офлайн-програмуванні. На рисунку 2 проілюстровано деталізовану модель робочого органу (екструдера), яка включає систему охолодження, радіатор та безпосередньо сопло.

Ключовою операцією на цьому етапі стало калібрування TCP (Tool Center Point) - визначення центральної точки інструменту. Як видно з рисунка 2, систему координат інструменту (TCP) було зміщено точно на зріз сопла (позначено перетином червоної, зеленої та синьої осей з написом "Extruder").

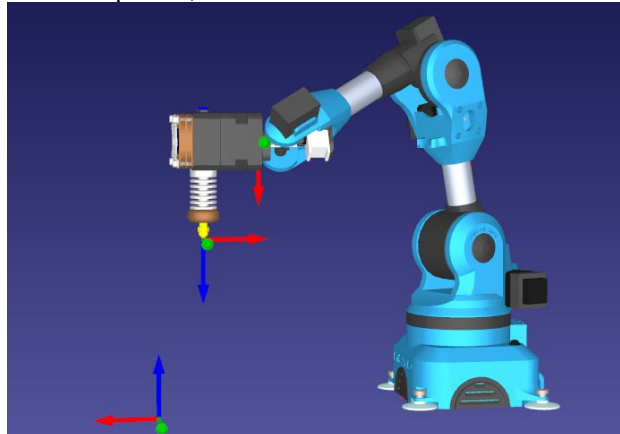


Рис.1. Зображення робочої станції в RoboDK

Вісь Z (синя стрілка) інструменту направлена вздовж напрямку екструзії матеріалу. Таке позиціонування забезпечує те, що програмне забезпечення буде розраховувати кінематику руху маніпулятора саме для кінчика сопла, гарантуючи точність нанесення полімерного розплаву відносно заданої траєкторії. Крім геометричних розмірів, в налаштуваннях інструменту було задано його масу та центр ваги для коректного розрахунку інерційних навантажень на шарніри маніпулятора під час швидких змін напрямку руху.

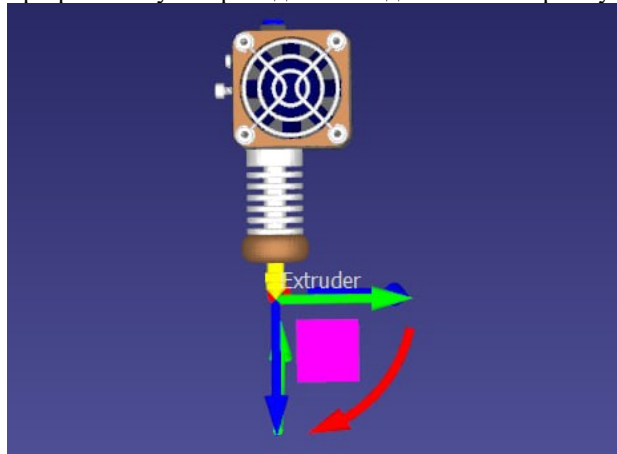


Рис.2. Модель екструдера

Для перевірки ефективності створеної моделі було обрано задачу генерації керуючої програми для друку об'єкта зі складною геометрією - циліндричної деталі з сітчастою структурою (типу вази). На рисунку 3 продемонстровано процес симуляції 3D-друку та інтерфейс утиліти обробки траєкторій (3D Printing Project) у середовищі RoboDK. У лівій частині рисунка 3 візуалізовано сам процес: робот послідовно проходить згенеровані точки. Жовтими та зеленими лініями відображено траєкторію руху сопла (Toolpath), де кожен шар деталі розбитий на множину координатних точок. Екструдер орієнтується строго перпендикулярно до площини друку поточного шару.

Окремої уваги заслуговує панель налаштувань, зображена у правій частині рисунка 3. Операція перетворення 3D-моделі у траєкторію робота включала в себе налаштування об'єкта прив'язки (Reference), інструменту (Extruder) та алгоритмів оптимізації. Особливістю застосування 6-осьового робота для 3D-друку, на відміну від класичної 3-осьової декартової кінематики, є проблема досягнення лімітів осей шарнірів під час кругових рухів. Щоб вирішити цю проблему, в блоці "Optimization parameters" було активовано функцію дозволу обертання інструменту навколо осі Z ("Allow a tool Z rotation of +/- 40 deg"). Це налаштування дозволяє маніпулятору плавно переорієнтувати 6-ту вісь під час руху по колу, уникаючи різких ривків та неможливості завершити контур через кінематичні обмеження.

У процесі симуляції було виконано комплексний аналіз траєкторії на наявність колізій (зіткнень інструменту з уже надрукованими шарами або елементами самого робота). RoboDK автоматично підсвічує проблемні зони, що дозволило превентивно скоригувати положення стартової точки ("Preferred joints for the start point") та кут нахилу екструдера. Також аналіз результатів симуляції дозволив визначити необхідні параметри швидкості переміщення ТСП (швидкості друку) для їх подальшої синхронізації зі швидкістю подачі пелет шнеком екструдера. Це є критичною умовою для забезпечення рівномірності товщини стінки виробу.

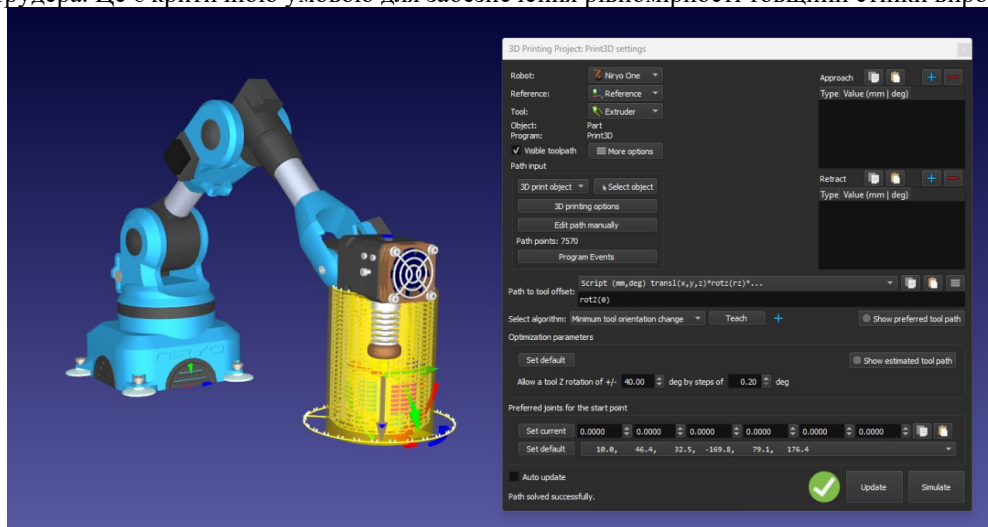


Рис.3. Моделювання траєкторії руху та налаштування 3D-друку

На завершальному етапі було проведено порівняння результатів віртуальної симуляції з роботою реального роботизованого комплексу. Перенесення згенерованого G-коду у вигляді програми рухів на реальний маніпулятор Niryo One та запуск тестового алгоритму підтвердили високу відповідність фізичних рухів тим, що були змодельовані у RoboDK. Програмне забезпечення успішно згенерувало плавну траєкторію без сингулярних зупинок, що підтверджує правильність обраної стратегії оптимізації.

#### Висновки

У результаті проведеного дослідження було підтверджено високу ефективність використання програмного середовища RoboDK для моделювання процесів роботизованого 3D-друку pelletним екструдером. Розроблено та реалізовано алгоритм підготовки віртуального середовища, який включає створення кастомного інструменту, налаштування кінематики маніпулятора та генерацію оптимальних траєкторій багатоосового друку. Основні переваги запропонованого підходу полягають у: можливості попереднього виявлення та усунення колізій і сингулярних положень робота до початку фізичного друку, оптимізації витрат матеріалу (pellet) за рахунок точного налаштування швидкостей руху та екструзії, значному скороченні часу на пусконаладжувальні роботи. Застосування цифрового моделювання в середовищі RoboDK дозволяє не тільки підвищити якість готових виробів, але й відкриває перспективи для автоматизації складних адитивних процесів у машинобудуванні та легкій промисловості. Отримані результати можуть бути базою для подальших досліджень у сфері друку виробів зі вторинної полімерної сировини.

#### Література

1. Craig, J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. – Pearson, 2017.
2. Nof, S.Y. Handbook of Industrial Robotics. – Wiley, 2019.
3. Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B. *Additive Manufacturing Technologies*. – Springer, 2015.
4. RoboDK Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://robodk.com/doc/en/>.
5. Niryo One, an accessible robot for makers powered by open source [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://niryo.com/niryo-one-accessible-robot-open-source/>.
6. Pollak M., Kocisko M., Torok J. “Design of a robotic 3D printing system” Faculty of Manufacturing Technologies, Technical University of Kosice, 2024.

#### References

1. Craig, J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. – Pearson, 2017.
2. Nof, S.Y. Handbook of Industrial Robotics. – Wiley, 2019.
3. Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B. *Additive Manufacturing Technologies*. – Springer, 2015.
4. RoboDK Documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://robodk.com/doc/en/>.
5. Niryo One, an accessible robot for makers powered by open source [Electronic resource]. – Режим доступу: <https://niryo.com/niryo-one-accessible-robot-open-source/>.
6. Pollak M., Kocisko M., Torok J. “Design of a robotic 3D printing system” Faculty of Manufacturing Technologies, Technical University of Kosice, 2024.