



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **155850** (13) **U**
(51) МПК (2024.01)
B33Y 30/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2023 02456	(72) Винахідник(и): Гороховський Єгор Юрійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 22.05.2023	(73) Володілець (володільці): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 18.04.2024	вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69002 (UA)
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 17.04.2024, Бюл.№ 16	

(54) 3D-ПРИНТЕР

(57) Реферат:

3D-принтер містить механізм подавання пластикового філаменту, закритий корпус, що розділений суцільною перегородкою на: робочу камеру, де розміщено нагрівальну платформу та механізм її позиціонування; екструдер та механізм його позиціонування; крокові двигуни, встановлені у відсіку. Відсік крокових двигунів, термоізолюваний від робочої камери, має вентиляційний отвір та вентилятор примусового охолодження. Крокові двигуни оснащені подовжувальними валами, що передають обертальний рух на каретки механізму позиціонування екструдера відносно осей X та Y.

UA 155850 U

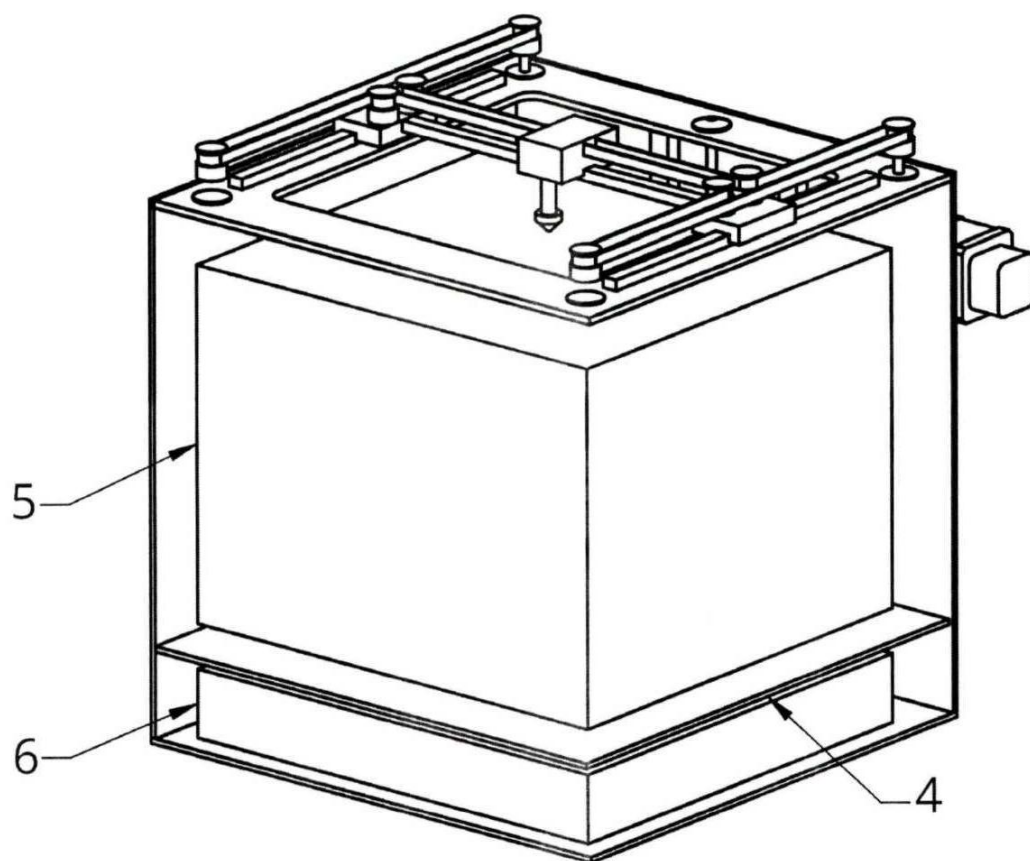


Fig. 2

3D-принтер належить до обладнання для технології 3D-друку за методом пошарового наплавлення термопластичних матеріалів (FDM, fused deposition modeling) та дозволяє уникнути перегрівання крокових двигунів та їх передчасного виходу з ладу при виготовленні моделі в робочому середовищі із температурою, вищою, ніж температура навколишнього середовища.

Виготовлення моделей шляхом пошарового наплавлення термопластичних матеріалів на даний час є одним з найбільш розповсюджених методів технології 3D-друку, який використовують у промисловості, медицині, наукових та освітніх установах.

Найбільш розповсюдженими є 3D-принтери користувацького класу, які не мають ізольованої робочої камери, і модель під час виготовлення контактує із навколишнім середовищем. Це гарантує простоту виготовлення таких 3D-принтерів, їх низьку вартість та забезпечує їх широке використання.

Однак суттєвим недоліком такого принтера є те, що, якщо температура повітря у приміщенні, де відбувається процес 3D-друку є недостатньою для поступового та рівномірного охолодження моделі, то це призводить до низької кінцевої якості виготовленої моделі або, взагалі, унеможлиблює її виготовлення. Адаже швидке та нерівномірне охолодження моделі у процесі виготовлення за FDM технологією є причиною жолоблення виробу, відклеювання його від нагрівальної платформи, розшарування та низької механічної міцності.

Дана проблема не є характерною при друці такими пластиками як PLA (полілактид) та PETG (поліетилентерефталат-гліколь), але вона часто унеможлиблює отримання деталей з таких пластиків як: ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол), нейлон (поліамід), POM (поліацеталь), PEEK (поліетеркетон), PEI (поліетерімід) та інших без використання 3D-принтерів промислового рівня.

Для розв'язання цієї проблеми користувачі 3D-принтерів початкового рівня часто застосовують теплозахисні кожухи, температура в яких внаслідок пасивного нагрівання під час виготовлення моделі підвищується до 55-65 °C, що дозволяє уникнути більшості вищезазначених проблем при друці такими пластиками як ABS та нейлон.

Відомі рішення з активним підігрівом робочої камери для друку більш термостійкими пластиками (PEI, PEEK). У такому випадку її температура може бути значно вищою, та становити понад 80 °C [McHugh M. Developing Capacity to 3D Print Polyether-ether-ketone Using Fused Filament Fabrication. A dissertation submitted in partial fulfillment of the degree of MAI (Engineering with Management). Dublin, Ireland: The University of Dublin, 2016. 69 p.].

Однак головною проблемою вищезазначених рішень є те, що більшість моделей крокових двигунів, які забезпечують переміщення кареток, нагрівальної платформи та подачу пластикової нитки, здатні безперебійно працювати в умовах, коли температура навколишнього середовища не перевищує 55 °C. При перевищенні цієї температури, яка є максимально припустимою, ефективне пасивне охолодження двигунів стає неможливим, що може бути причиною пропуску ними кроків та значно скорочує термін роботи, або навіть призводить до їх раптової несправності.

Відоме рішення [Gardner J. M., Stelter C. J., Yashin E. A., Siochi E. J. High Temperature Thermoplastic Additive Manufacturing Using Low-Cost, Open-Source Hardware. NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia, 2016. 17 p.], яке дозволяє виконувати друк високотемпературними пластиками (PEI та PEEK) за допомогою 3D-принтера Lulzbot Taz 4, що містить три незалежні осі, у якому рухома нагрівальна платформа переміщується у горизонтальній площині відносно осі Y, каретка з екструдером переміщується у горизонтальній площині відносно осі X перпендикулярно осі Y, а переміщення каретки з екструдером у вертикальній площині здійснюється відносно осі Z. 3D-принтер розміщений у додатково виготовленому термоізоляційному коробі з алюмінієвою рамою та боковими стінками з пінопласту, у яких передбачено дверцята для забезпечення доступу і спостереження за 3D-принтером під час його роботи. Навколо дверцят передбачено гумове ущільнення для запобігання тепловтратам. Примусове повітряне охолодження крокових двигунів здійснюється стисненим повітрям, яке подається від зовнішнього джерела через еластичні трубки до герметичних кожухів навколо двигунів, що дозволяє уникнути їх перегрівання.

Попри доведену здатність виготовляти моделі з високотемпературних термопластів за допомогою даного принтера, можна визнати, що подібний підхід значно ускладнює конструкцію 3D-принтера, робить його громіздким та збільшує собівартість.

Ознаками, спільними з аналогом, є наявність:

- термоізолюваного робочого об'єму;
- крокових двигунів;
- нагрівальної платформи, що переміщується відносно осі Y;

- екструдера;
- механізму позиціонування екструдера;
- механізму подавання пластикового філаменту.
- примусового охолодження двигунів.

5 Однак вищезазначений аналог має такі недоліки:

- крокові двигуни розташовані у середовищі із підвищеною температурою;
- охолодження двигунів здійснюються завдяки примусовій циркуляції стисненого повітря у кожухах крокових двигунів, що потребує додаткового джерела та магістралей для примусового охолодження двигунів.

10 Отже, зазначені недоліки ускладнюють конструкцію принтера, що потребує додаткового обладнання (джерело стисненого повітря).

Відомий 3D-принтер для друку високотемпературними термопластами [Skrzypczak N. G., Tanikella N. G., Pearce J. M. Open source high-temperature RepRap for 3-D printing heat-sterilizable PPE and other applications. HardwareX. 2020. Vol. 8. e00130. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00130>]. Даний принтер складається із закритого корпусу; нагрівальної платформи, яка переміщується за трьома осями (X, Y, Z) як у горизонтальній, так і вертикальній площинах; нерухомо закріпленого у верхній частині принтера екструдера та крокових двигунів, що розташовані в окремому відсіку поза межами робочої камери, яка забезпечує робочу температуру, що дозволяє їм функціонувати в оптимальних температурних умовах; механізму подавання пластикового філаменту.

Спільними з найближчим аналогом ознаками є наявність:

- закритого корпусу, що розділений на робочу камеру, у якій підтримується робоча температура, та відсік крокових двигунів;
- крокових двигунів, розташованих у окремому відсіку корпусу 3D-принтера;
- 25 - нагрівальної платформи, що переміщується відносно осі Y;
- екструдера;
- механізму позиціонування екструдера;
- механізму подавання пластикового філаменту.

Недоліками цього 3D-принтера є складна та нестандартна кінематична схема із нерухомих екструдером, яка передбачає рух робочого столу за трьома осями (X, Y, Z). Подібне рішення значно ускладнює кінематичну схему 3D-принтера, потребує більшого робочого об'єму та реалізована із використанням високовартісних компонентів. Це призводить до високої кінцевої вартості принтера. Крім того, через те, що крокові двигуни не закріплені стаціонарно та рухаються разом із нагрівальною платформою, не вдалося реалізувати повну ізоляцію робочого об'єму від відсіку, в якому розташовані крокові двигуни.

35 В основу корисної моделі поставлена задача розробити 3D-принтер, який шляхом розміщення крокових двигунів у відсіку, повністю ізольованому від робочої камери, дозволяє підвищити якість отримуваних моделей та забезпечити оптимальні умови функціонування крокових двигунів.

40 Суттєвими ознаками 3D-принтера є наявність: крокових двигунів; корпусу з перегородкою, яка розділяє його внутрішній об'єм на робочу камеру та термоізольований відсік з примусовим охолодженням для розміщення крокових двигунів, які мають подовжувальні вали для забезпечення руху кареток; нагрівальної платформи; екструдера та механізму подавання пластикового філаменту.

45 Відмінними від аналогу ознаками є:

- розміщення крокових двигунів у відсіку, що виконаний термоізольованим та має примусове охолодження;
- крокові двигуни мають подовжувальні вали для забезпечення руху кареток механізму позиціонування екструдера відносно осей X та Y.

50 Поставлена задача вирішується тим, що 3D-принтер, який містить механізм подавання пластикового філаменту, закритий корпус, що розділений суцільною перегородкою на: робочу камеру, де розміщено нагрівальну платформу та механізм її позиціонування; екструдер та механізм його позиціонування; крокові двигуни, встановлені у відсіку, згідно з корисною моделлю, відсік крокових двигунів, термоізольований від робочої камери, має вентиляційний отвір та вентилятор примусового охолодження, а крокові двигуни оснащені подовжувальними валами, що передають обертальний рух на каретки механізму позиціонування екструдера відносно осей X та Y.

60 3D-принтер містить корпус 1, що має вентиляційний отвір 2, механізм подавання пластикового філаменту 3, суцільну перегородку 4, робочу камеру 5, відсік 6 для розміщення крокових двигунів, крокові двигуни 7, 8, 9, вентилятор 10, нагрівальну платформу 11, механізм

позиціонування нагрівальної платформи, який складається із каретки нагрівальної платформи 12, напрямних каретки нагрівальної платформи 13, 14, передачі "гвинт-гайка" 15, механізм позиціонування екструдера, який складається із каретки 16 з екструдером 17, напрямних осі X 18, 19 та прямої осі Y 20, шківів 21, 22, ремінної передачі 23, подовжувальних валів 24, 25, які у верхній частині закріплені у радіальних підшипниках 26, 27.

Суть корисної моделі пояснюють креслення, на яких зображено:

на фіг. 1 наведено зовнішній вигляд;

на фіг. 2 показано розділення внутрішнього об'єму корпусу на робочу камеру та відсік для крокових двигунів;

на фіг. 3 наведено принципову схему.

У нижній частині корпусу 1 3D-принтера передбачено вентиляційний отвір 2; ззовні корпусу 1 розташований механізм 3, який забезпечує подачу пластикового філаменту до екструдера, що зображено на фіг. 1. Внутрішній об'єм 3D-принтера, що наведено на фіг. 2, розділений суцільною перегородкою 4 на робочу камеру 5, у якій може бути забезпечена підвищена температура, що необхідна для виготовлення моделі відповідної якості, та відсік 6 з примусовим охолодженням для розміщення крокових двигунів. На фіг. 3 зображено принципову схему 3D-принтера: усередині відсіку 6 розташовані крокові двигуни 7, 8, 9 та вентилятор охолодження 10. Нагрівальна платформа 11 за допомогою каретки 12 переміщується напрямними 13, 14 завдяки передачі "гвинт-гайка" 15. Крокові двигуни 7, 8 забезпечують переміщення каретки 16 з екструдером 17 напрямними осі X 18, 19 та осі Y 20 і передають обертальний рух на шкві 21, 22 ремінної передачі 23 за допомогою подовжувальних валів 24, 25, які у верхній частині закріплені у радіальних підшипниках 26, 27.

Для підтвердження забезпечення оптимального температурного режиму роботи крокових двигунів 3D-принтера було проведено порівняння із режимами принтера, крокові двигуни якого знаходились безпосередньо у робочій камері. Для цього із пластику ABS були виготовлені моделі у вигляді куба із розмірами 30×30×30 мм. Налаштування принтерів мали такі параметри: сопло екструдера 0.4 мм, температура екструдера - 255 °С, температура нагрівальної платформи 105 °С; висота шару - 0,2 мм, кількість шарів моделі вгорі та знизу 5, кількість периметрів 3, щільність заповнення моделі - 55 %; швидкість друку 45 мм/с, орієнтовний час виготовлення моделі - 119 хв.

Перед початком друку включали підігрів робочої поверхні принтерів, очікували підвищення температури повітря всередині робочого об'єму до 43-45 °С, після чого запускали робоче завдання 3D-принтера. Температуру крокових двигунів вимірювали за допомогою мультиметра DT UT-61A з діапазоном вимірювання від -40 °С до 1000 °С, похибка ± 1 %, безпосередньо на корпусі двигунів за 10 хв до закінчення завдання. Температура повітря у приміщенні, де виконувались роботи, становила 20,7 °С.

Принтер № 1, виконаний за звичайною схемою, із нагрівальною платформою, що горизонтально переміщується відносно осі Y; кареткою з екструдером, яка горизонтально переміщується відносно осі X та вертикально - відносно осі Z. Для підтримання підвищеної температури робочого об'єму під час виготовлення моделі принтер був розміщений у коробі із пінополістиролу із товщиною стінки 20 мм.

Принтер №2, виконаний за запропонованою схемою (нагрівальна платформа вертикально переміщується відносно осі Z; каретка з екструдером горизонтально переміщується відносно осей X та Y). Крокові двигуни, відповідно до схеми, що пропонується, були розміщені в окремому відсіку, оснащеному вентилятором діаметром 60 мм потужністю 4 Вт. Обертальний рух крокових двигунів передавався на шкві ремінної передачі осей X та Y за допомогою подовжувальних валів. Підтримання підвищеної температури під час виготовлення моделі забезпечувалось закритим корпусом принтера, виготовленим із фанери товщиною 8 мм із додатковою термоізоляцією полотном зі спіненого поліетилену на алюмінієвій основі, товщиною 5 мм.

Були отримані такі результати. Температура всередині термозахисного короба принтера № 1 становила 62,3 °С, що на 7 °С вище, за максимально допустиму температуру зовнішнього середовища для двигунів (55 °С), а середня температура крокових двигунів при цьому дорівнювала $(84,3 \pm 1,54)^\circ\text{C}$. Отже, за даних умов було визначено перегрівання крокових двигунів, що може бути причиною їх некоректного функціонування та виходу з ладу.

Температура всередині робочої камери принтера № 2 становила 65,1 °С, температура відсіку крокових двигунів - 27,2 °С, середня температура крокових двигунів – $(45,6 \pm 0,58)^\circ\text{C}$. Отже, за даних умов було забезпечено температуру зовнішнього середовища для двигунів, яка була менше, за максимально припустиму на 27,8 °С.

Запропонована корисна модель дозволяє виготовляти моделі з пластиків, які потребують підвищеної температури робочої камери для отримання якісних виробів та забезпечувати необхідний рівень охолодження крокових двигунів під час роботи 3D-принтера.

5

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

10

3D-принтер, який містить механізм подавання пластикового філаменту, закритий корпус, що розділений суцільною перегородкою на: робочу камеру, де розміщено нагрівальну платформу та механізм її позиціонування; екструдер та механізм його позиціонування; крокові двигуни, встановлені у відсіку, який **відрізняється** тим, що відсік крокових двигунів, термоізований від робочої камери, має вентиляційний отвір та вентилятор примусового охолодження, а крокові двигуни оснащені подовжувальними валами, що передають обертальний рух на каретки механізму позиціонування екструдера відносно осей X та Y.

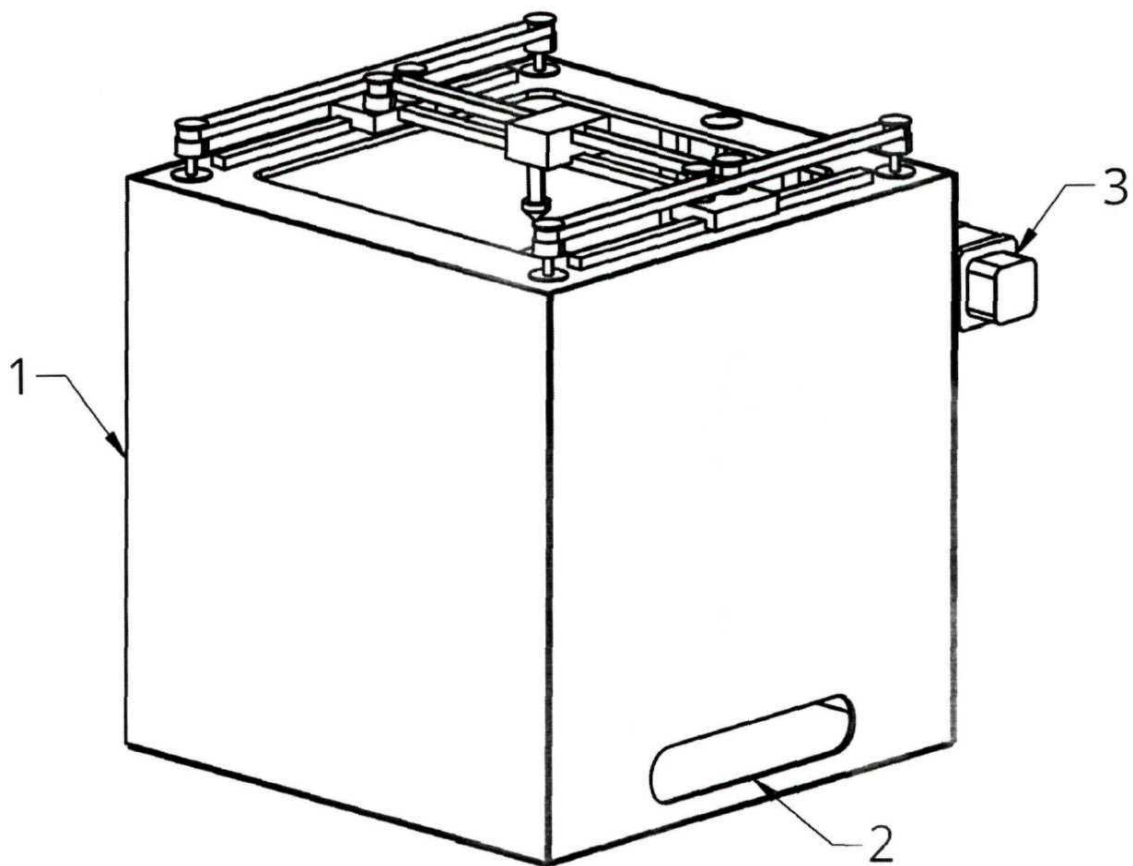


Fig. 1

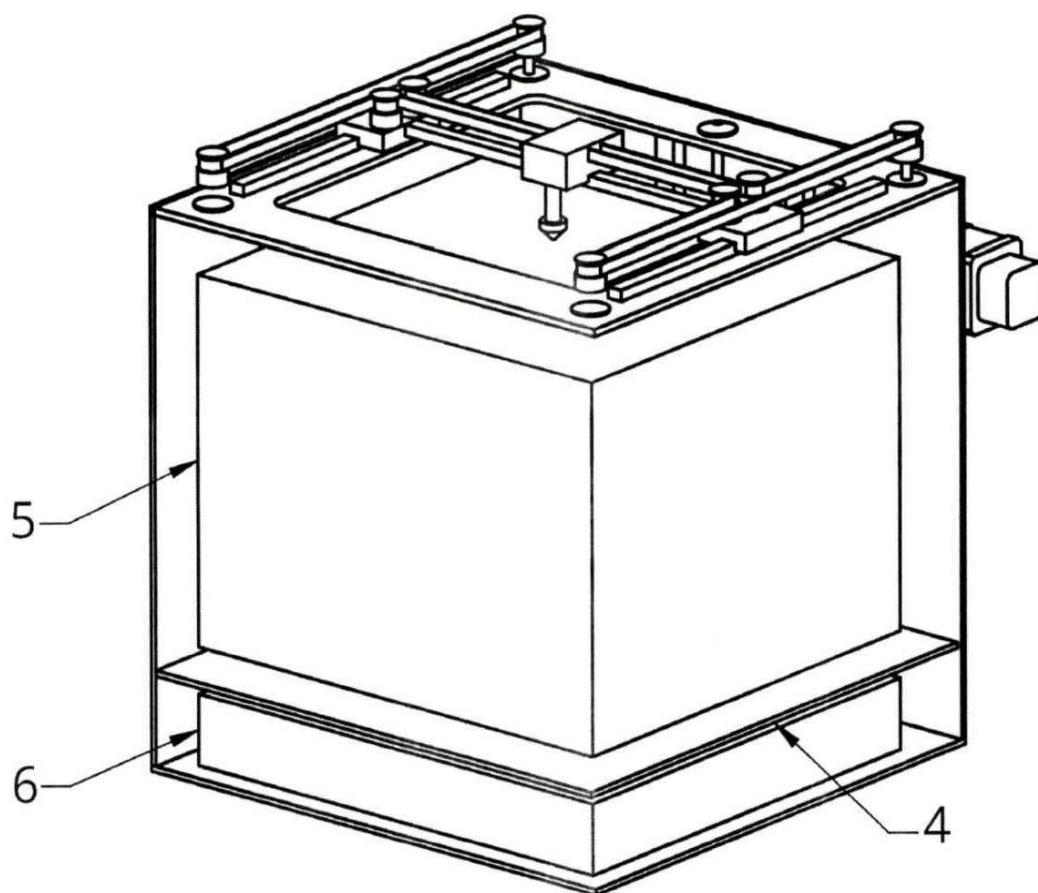
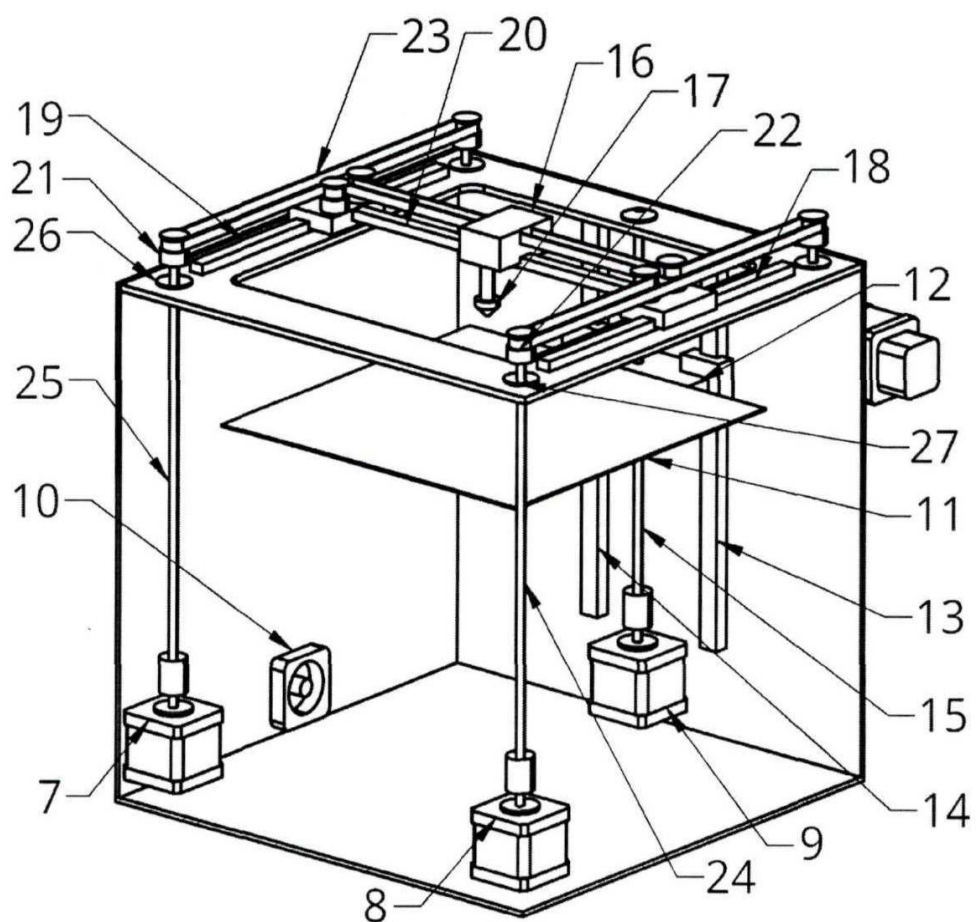


Fig. 2



Фіг. 3