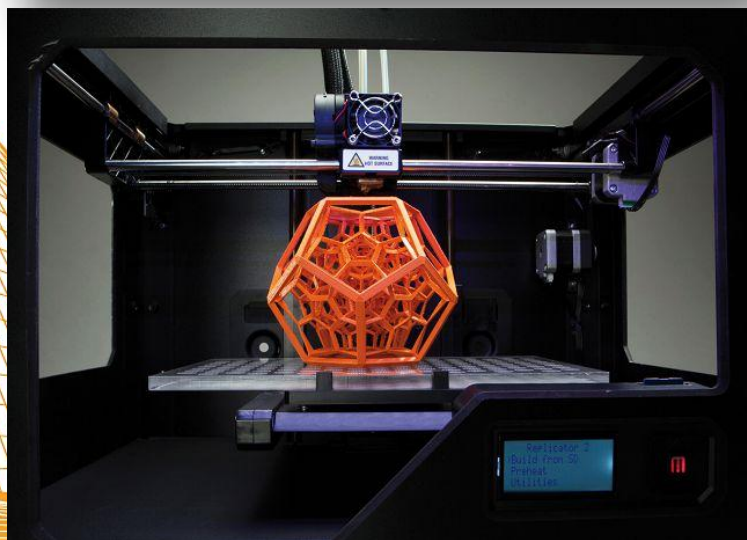
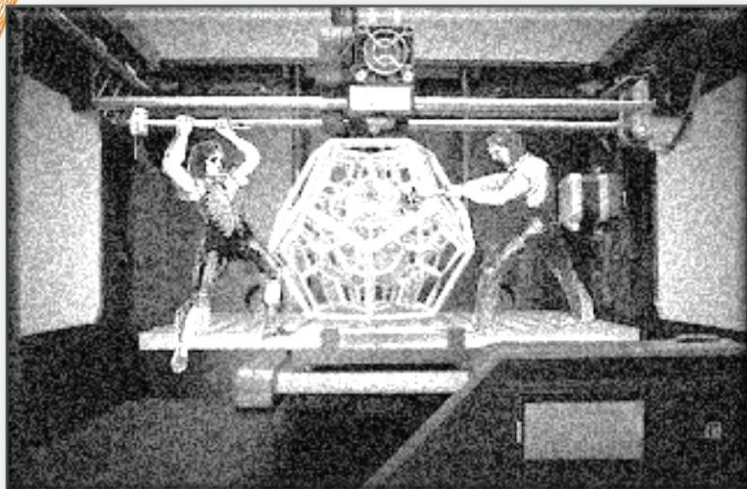




ОСНОВИ 3D-ДРУКУ

електронний посібник

Зміст

Поняття та призначення 3D-принтера	Підготовка 3D-принтера до друку
Історія створення 3D-принтера	Підготовка 3D-об'єкта до друку
Класифікація 3D-принтерів	Програмне забезпечення 3D-друку
3D-сканери	Поняття G-коду
Конструкція 3D-принтера	Програма CURA
Матеріали для 3D-друку	Налаштування програми CURA
Програми для створення 3D-об'єктів	Інтерфейс програми CURA
Типи файлів	Дефекти 3D-друку
	Глосарій



Поняття та призначення 3D-принтера

3D-принтер — це периферійний прилад, що використовує метод пошарового створення фізичного об'єкта за цифровою 3D-моделлю.

Широке розповсюдження в усьому світі отримав термін **Additive manufacturing** — цей термін найбільш точно можна перекласти як виробництво додаванням або пошарове виробництво.

Процес 3D-друку складається з наступних **основних етапів**:

- ☐ Створення тривимірної моделі того об'єкта, який заплановано виготовити,
- ☐ «Розрізання» цієї моделі на безліч шарів,
- ☐ Безпосередньо друк на принтері шар за шаром.



MAX PRINTING SIZE: 200*200*180MM
1KG ABS/PLA FILAMENT



Історія створення 3D-принтера

Офіційно його винахідником прийнято вважати інженера на ім'я Чак Халл. Звичайно, він не винайшов 3D-принтер. Але американському вченому вдалося створити прабатька сучасних пристроїв – «установку для стереолітографії». Відбулося це у 1986 році.

Два роки по тому винахідник Скотт Крамп придумав технологію «**FDM**», яка стала основою 3D-принтерів, призначених для друку невеликих предметів у невеликій кількості.

Вже у 1995 році Технологічний інститут в Массачусетсі офіційно ввів термін «3D-друк», а через рік з'явився і інший термін – «3D-принтер». Так називали прилад, створений компанією «3D Systems» (модель Actua 2100). У 2005 році почали випускати принтери високої якості друку, а через три роки з'явився відомий «**Reprap**» - 3D-принтер, який зміг відтворити сам себе. Сьогодні існує біля ста різних видів матеріалів для друку.



Основні переваги

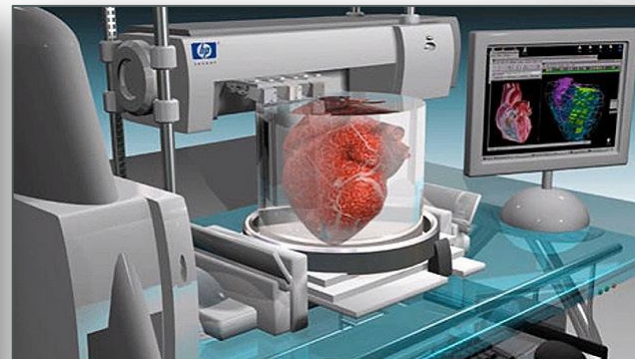
У порівнянні з традиційними методами виробництва 3D-друк має наступні переваги:

1. Швидкість – час виготовлення об'єкта складає від декількох хвилин до декількох годин. Відсутня необхідність виготовляти оснастку.
2. Деталі, що виготовляються, можуть мати складну геометричну форму, при цьому складність деталі практично не впливає на швидкість її виготовлення.
3. Велика кількість різноманітних матеріалів для друку – полімери, метали, кераміка, біоматеріали, харчові продукти і навіть папір.



Що може 3D-принтер

Зміст



Основи 3D-друку

3D
PRINTING

Що може 3D-принтер

Зміст



«Харчові» 3D-принтери, сконструйовані інженерами NASA, друкують обіди для космонавтів.

Спеціалісти компанії **Modern Meadows** навчили пристрій виробляти м'ясо. Для отримання м'язової тканини «картридж» просто заправили живими клітинами.

Фірма **Marta Stewart Crafts** випустила кондитерський принтер **Cricut Cake**, що «вирізає» їстівні прикраси для десертів.

Що може 3D-принтер

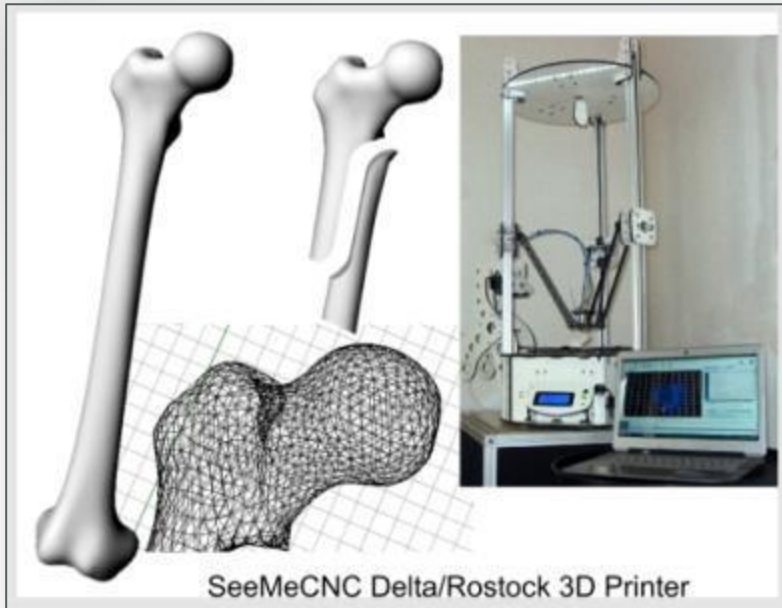
Зміст



Вчені **Корнельського університету** роздрукували хрящовий «корсет» людського вуха. У якості «3D-чорнил» використали змішані з гелем клітини ребра пацієнта. А дослідникам наукового центру **Organovo** (Сан-Дієго) вдалось отримати життєздатні клітини печінки.

Що може 3D-принтер

Зміст

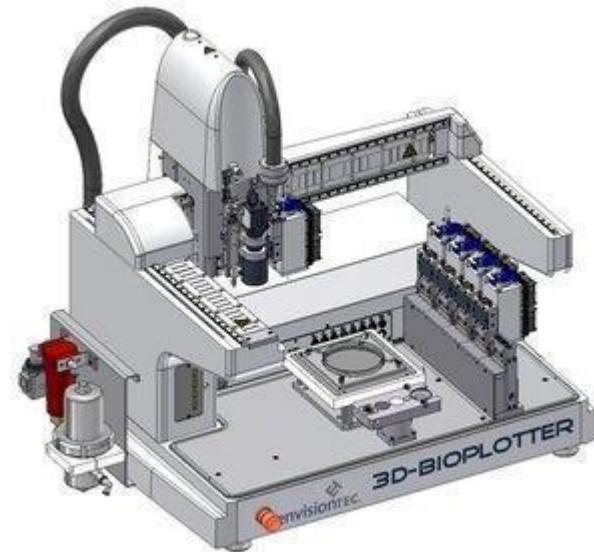
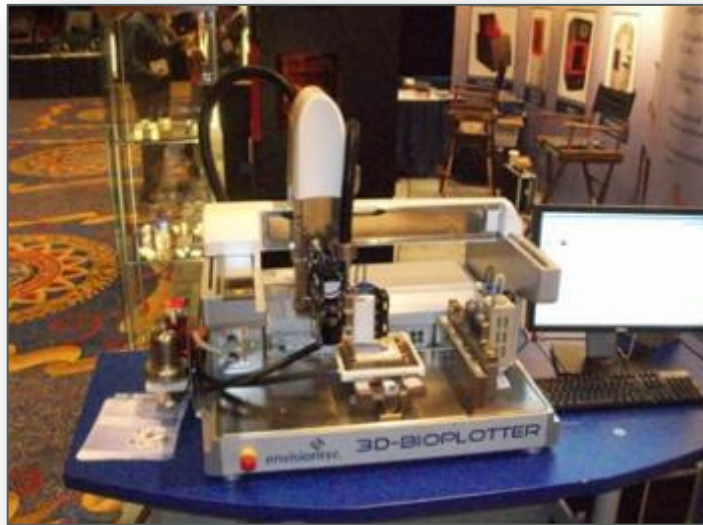


Втративши чотири пальці, **Річард фон Ес (Richard Van As)** вирішив не накопичувати величезну суму на механічні протези, а зробити їх у домашніх умовах. Він роздрукував на 3D-принтері першу модель **Robohand**. Впевнившись, що протез функціонує як треба, **Річард** виклав свій проект в Інтернет.

Що може 3D-принтер

Зміст

Система, що дозволяє «друкувати» (створювати, вирощувати) органи і тканини за допомогою спеціальних принтерів. Прототип одного з таких пристроїв - **3-D Bioplotter** - було продемонстровано під час заходу Rapid 2010, в Анахаймі, Каліфорнія.



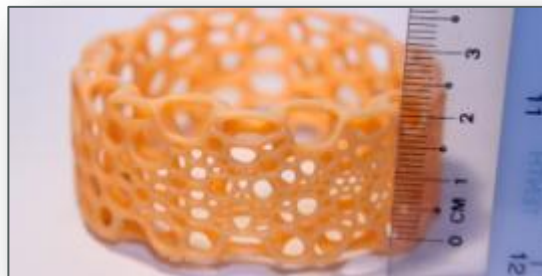
Bioplotter оснащений спеціальним соплом, здатним формувати речовину при температурі від - 50 до 150 градусів за Цельсієм.

Можливості системи вражають: принтер здатен «друкувати» фосфат кальцію, гідрогелі (колаген, фібрин, агарозу), різні полімери.

Що може 3D-принтер

Зміст

Віск, смола та фотополімери



За допомогою 3D-принтера можна створити ідеальну прес-форму для відливання справжніх виробів.

Багато майстрів називають такі машини «растішками» через технології створення восків для відливок за допомогою методу нарощування.



Основи 3D-друку

3D
PRINTING

Що може 3D-принтер

Зміст



Фотограф **Софі Кан (Sophie Kahn)**
відкрила художні можливості 3D-принтера.

Основи 3D-друку

**3D
PRINTING**

Що може 3D-принтер

Зміст



«Друк» одягу почався з експериментів дизайнерів **Джирі Евеніус (Jiri Evenhuis)** та **Жанни Кіттанен (Janne Kyttanen)**. Пізніше ідею підхопили лондонські та голландські модельєри. 3D-моделюванню предметів гардероба передую сканування тіла «замовника». Завдяки цьому роздрукований одяг сідає точно по фігурі.

Що може 3D-принтер

Зміст



3D-принтери вміють працювати й зі склом, що дає більшу чіткість зображення.

Що може 3D-принтер

Зміст



Німецькі техніки з **Fraunhofer-Gesellschaft** надрукували вісім роботів-павуків. За словами розробників, процес не складніший, ніж виготовлення одноразових гумових рукавичок. Американські інженери **Гарвардського** та **Массачусетського університетів** спроектували роботів, що самостійно збираються з роздрукованих деталей.

Що може 3D-принтер

Зміст

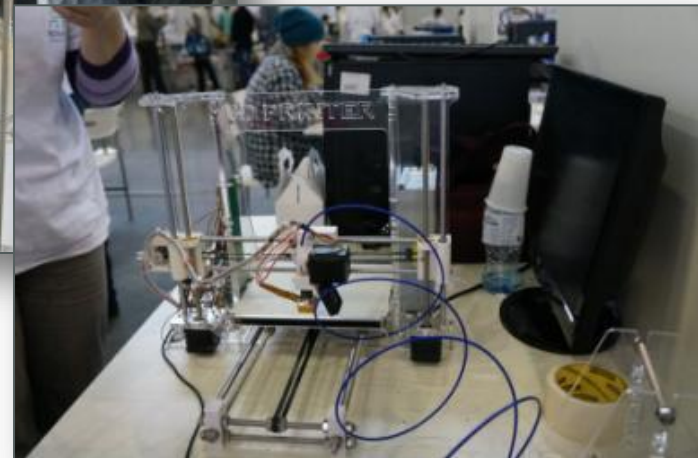


Концепт будинку, роздрукованого на 3D-принтері, представлений у доповіді **Берока Хошневіса (Behrokh Khoshnevis)** на конференції **університету Південної Каліфорнії**. Зі слів вченого, на одну 3D-будову площею 25 000 м² піде не більше дванадцяти годин. При тому, сантехніка та електропроводка вже включені у план «друку».

Що може 3D-принтер

Зміст

Конструювання 3D-принтерів



Основи 3D-друку

3D
PRINTING

Прототипування

Зміст

сканування

моделювання

створення
функціонального
прототипу

Матеріальне забезпечення

Програмне
забезпечення

3D-принтер

Витратний
матеріал

Компетенції

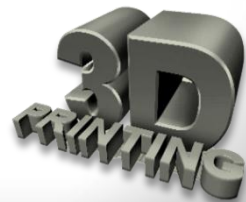
Інженерна
графіка



Інформаційна
грамотність



прототипування



Порядок створення об'єкту

Зміст

Створюється макет фізичного об'єкта у тривимірній формі



Макет завантажується в принтер

Друкується фізичний об'єкт

Класифікація 3D-принтерів

За призначенням:

Споживчий – для індивідуального використання. Продаються у розібраному вигляді і збираються самостійно за інструкцією. Працюють з пластиком **ABS** та **PLA**. Орієнтований на дизайнерів, художників та винахідників, що працюють вдома.

Персональний – може виготовляти невеличкі партії виробів. Використовуються в офісах, на невеликих підприємствах та в домашніх умовах. Орієнтований на дизайн-студії, маркетингові агенції, інженерні фірми та малий бізнес.

Професійний – для створення повномасштабних копій, проектування і створення архітектурних моделей. Орієнтований на великі компанії з постійною потребою у створенні моделей і прототипів високої якості та точності.

Виробничий – це високоточна машина, у якій обладнана велика робоча площа. Може працювати з будь-якими видами матеріалів. Може друкувати і готову продукцію. Орієнтований на найбільші компанії, яким необхідно виготовляти високоточні габаритні об'єкти.



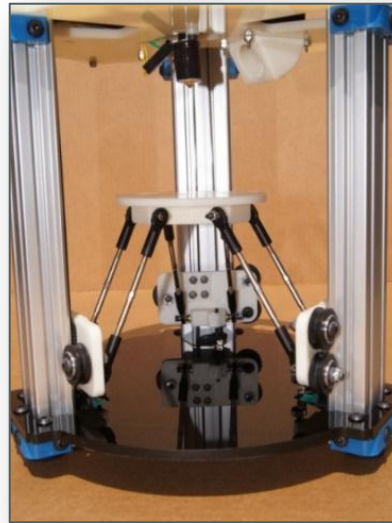
Класифікація 3D-принтерів

За схемою руху робочої голівки і робочої платформи:

За тим, що спрямовує – робоча голівка або робоча платформа рухаються за розташуванням, що спрямоване вздовж координатних осей. Платформи можуть бути рухомими та нерухомими.

З допомогою трьох маніпуляторів переміщення – так звана дельта-схема. В цьому випадку рухомими є або робоча платформа, або робоча голівка.

Багатоосеві маніпулятори – модернізовані промислові роботи.



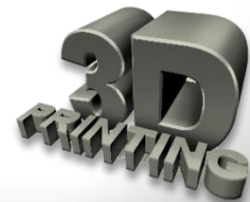
Класифікація 3D-принтерів

За технологією:

FDM (fused deposition modeling) – вичавлюється будь-який матеріал шар за шаром крізь сопло-дозатор, у тому числі різноманітні кулінарні принтери (використовують глазур, сир, тісто), медичні (друкують «живими чорнилами», коли якийсь набір живих клітин розміщується у спеціальному медичному гелі, що у подальшому використовується у біомедицині).

Polyjet – фотополімер малими дозами відстрілюється з декількох тонких сопел, і одразу полімеризується на поверхні об'єкта, що виготовляється під дією ультрафіолетового випромінювання. **PolyJet** відрізняється від стереолітографії можливістю друку різними матеріалами.

LENS (Laser Engineered Net Shaping). Матеріал у вигляді порошку видувається з сопла і потрапляє на сфокусований промінь лазера. Частина порошку пролітає повз, а та частина, що потрапляє у фокус лазера миттєво спікається і шар за шаром формує тривимірну деталь. За такою технологією друкують металеві об'єкти. Різнманітні порошки можна змішувати та при виготовленні одразу отримувати сплави.



Класифікація 3D-принтерів

За технологією:

LOM (laminated object manufacturing) – тонкі ламіновані листи матеріалу вирізаються за допомогою ножа або лазера, потім спікаються або склеюються у тривимірний об'єкт. Тобто укладається тонкий лист матеріалу, що вирізається по контуру об'єкта, таким чином отримується один шар, на нього укладається наступний лист і так далі. Після цього всі листи пресуються або спікаються. Так друкують 3D-моделі з паперу, пластику або з алюмінію. Для друку моделей з алюмінію використовується тонка алюмінієва фольга, що спікається за допомогою ультразвукової вібрації.

SL (Stereolithography) – стереолітографія. У ванні з рідким полімером промінь лазера проходить по поверхні, і в цьому місці полімер під дією ультрафіолету полімеризується. Після кожного шару платформа з деталлю опускається і так далі. Після друку необхідна постобробка об'єкта — видалення зайвого матеріалу та підтримки, іноді поверхню шліфують. Залежно від необхідних властивостей кінцевого об'єкта модель запікають у так званих ультрафіолетових духовках. Фотополімер токсичний. Необхідні засоби захисту.

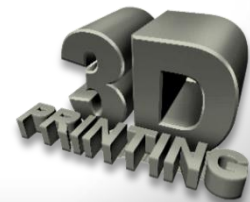


Класифікація 3D-принтерів

За технологією:

LS (laser sintering) – лазерне спікання. Схоже на SL, тільки замість рідкого фотополімеру використовується порошок, який спікається лазером. Переваги: порошком може бути бронза, сталь, нейлон, титан. Недоліки: поверхня пориста, деякі порошки вибухонебезпечні, спікання відбувається при високих температурах, готові деталі довго охолоджуються.

3DP (three dimensional printing). На матеріал у формі порошку накладається клей, що зв'язує гранули, потім поверх склеєного шару накладається свіжий шар порошку і так далі. Переваги: у клей можна додати фарбу, порошок скла, кістковий порошок, переробну гуму, бронзу і навіть деревну тирсу, можна друкувати їстівні об'єкти з цукру або з шоколадного порошку. Порошок склеюється спеціальним харчовим клеєм, в який може додаватися барвник та ароматизатор. Недоліки: достатньо груба поверхня, матеріал необхідно піддавати постобробці (запікати), щоб надати необхідні властивості.



Класифікація 3D-принтерів

За типом матеріалів, що використовуються:

Пластик. Використовується для створення виробів, що не підлягають значним механічним, термічним та іншим видам навантажень.

Порошок. Принцип: виходячи з моделі, голівка, що друкує, починає наносити у визначені місця спеціальну єднальну речовину; на неї тонким валиком буде наноситися порошок, який спікається з речовиною. У подальшому процес повторюється.

Гіпс. В якості порошку використовується гіпс, шпаклівка, цемент тощо. Обов'язкова наявність єднальної речовини. Такі принтери частіше за все використовуються у створенні інтер'єрних прикрас.

Фотополімер. Використовуються рідкі фотополімери. Ультрафіолетовий лазер засвічує визначені місця, орієнтуючись на комп'ютерну модель. У подальшому вони будуть тверднути під дією ультрафіолету.

Віск. Чіткість і точність виконаних контурів є бездоганною.



Класифікація 3D-принтерів

Зміст

3D-ручка:

Це інструмент для малювання пластиком, що дозволяє створювати тривимірні об'єкти. Використовується для творчості, розвивальних занять з дітьми, корекції виробів, надрукованих за допомогою 3D-принтера, і дрібного побутового ремонту пластикових предметів.

Популярність пристрою пов'язана з можливістю вийти за рамки звичайної творчості: малювати на будь-яких поверхнях та прямо у повітрі, поєднувати двовимірні та тривимірні зображення.

Завдяки розповсюдженню 3D-ручок з'явився новий вид мистецтва – **3D-pen art** (переклад: мистецтво, що створене за допомогою 3D ручки).



Класифікація 3D-сканерів

Зміст

Якщо функцією 3D-принтера є відтворення реального об'єкта на основі 3D-моделі, то **3D-сканер** відіграє протилежну роль - пристрій **аналізує реальний об'єкт та збудує на підставі отриманої інформації 3D-модель**.

Класифікація 3D-сканерів не така велика: розрізняють **контактні** та **безконтактні** сканери. Безконтактні, у свою чергу, поділяють ще на два види: **лазерні** та **оптичні**.

Контактні 3D-сканери досліджують (зондують) об'єкт безпосередньо через фізичний контакт, поки сам предмет перебуває на прецизійній повірочній плиті, відшліфованій і відполірованій до визначеного ступеня шорсткості поверхні. Якщо об'єкт сканування має нерівну поверхню або не може стабільно лежати на горизонтальній поверхні, то його будуть утримувати спеціальні лещата. До недоліків можна віднести необхідність безпосереднього контакту з поверхнею об'єкта. Тому існує ймовірність змінити предмет або пошкодити його.



Класифікація 3D-сканерів

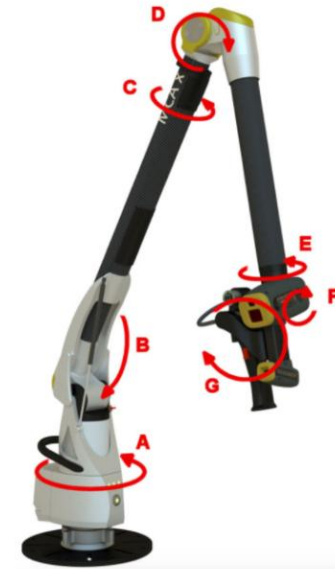
Безконтактні сканери: **активні** та **пасивні**, **фасадні** та **інтер'єрні**.

Лазерні сканери.

Лазери у таких сканерах працюють за принципом тріангуляції, вираховуючи інформацію про об'єкт за допомогою хмари крапок.

Оптичні сканери.

Частіше за все оптичні сканери мають у конструкції дві відеокамери у зв'язці з кінопроектором. Використовуються для сканування ювелірних прикрас, часто використовується в медицині. Комп'ютерна томографія – спеціальний медичний метод візуалізації, який створює тривимірне зображення внутрішнього простору об'єкта, використовуючи велику серію двовірних рентгенівських знімків.



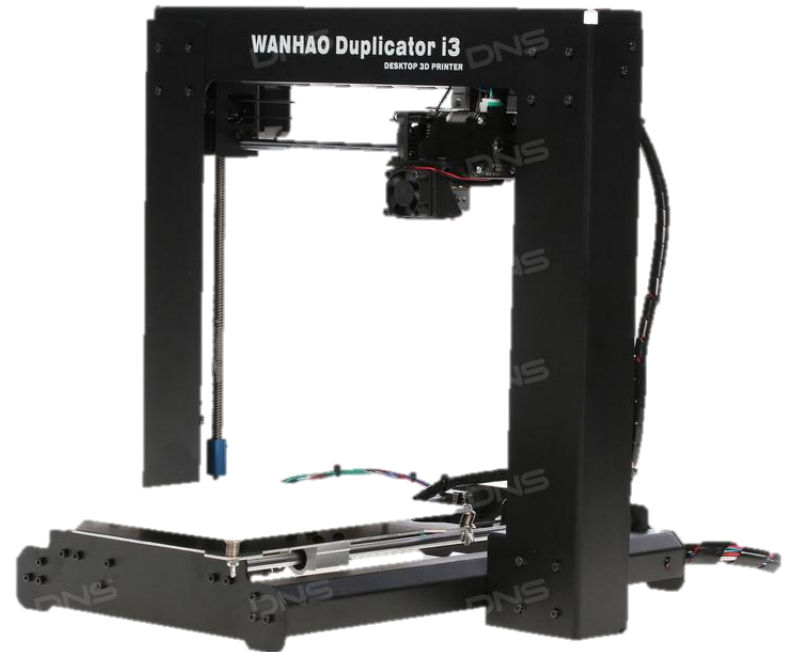
Конструкція 3D-принтера

Зміст

Основними елементами конструкції 3D-принтера є:

- ☐ Корпус
- ☐ Робоча голівка (екструдер, лазер або ніж)
- ☐ Робоча платформа або ванна
- ☐ Система для збереження та подачі витратних матеріалів
- ☐ Електронна система управління

Крім того, залежно від типу технології, використовуваних матеріалів і призначення, може бути система охолодження, система подачі єднальних матеріалів, ультрафіолетовий випромінювач або лазер, система вентиляції, аварійні системи техніки безпеки тощо.



Матеріали для 3D-друку

Технологія FDM 3D-друку є найбільш розповсюдженою, тому вибір матеріалів саме для таких 3D-принтерів найширший. У світі сформувалась єдина класифікація матеріалів, якої дотримується більшість виробників.

Залежно від спеціалізації, матеріали для **FDM 3D-друку** поділяються на декілька груп, кожна з яких призначена для визначеного типу виробів.

Універсальні пластики загального призначення

Використовуються для створення виробів, що не зазнають значних механічних, термічних і інших видів навантажень. Застосовуються частіше за інші.



Матеріали для 3D-друку

ABS — акрилонитрилбутадієнстирол

Перший матеріал, з якого почали виготовляти пластикову нитку для домашніх настільних адитивних принтерів. Його недоліком вважають стійкий пластмасовий запах, що виділяється під час друку. Virізняється міцністю і зносостійкістю.



PLA — полілактид є найбільш екологічно чистим і вдалим витратним матеріалом для тривимірного друку. Даний вид пластику є термопластичним поліефіром, який створюється з біологічних відходів (цукровий буряк або силос кукурудзи).



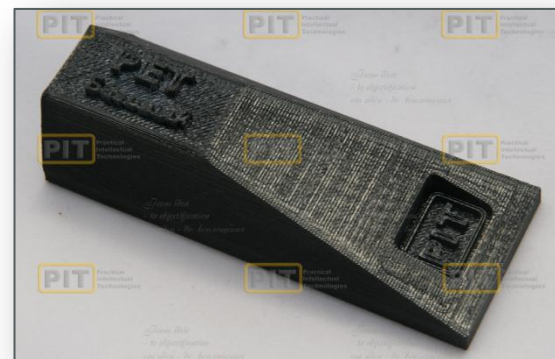
Технічні пластики

PET — поліетилентерефталат або поліестер.

Один з найбільш розповсюджених термопластиків у промисловості. Добре відомий як матеріал для виготовлення пластикових пляшок. Використовується, коли необхідне сполучення міцності і в'язкості одночасно. Застосовується для виробів, що контактують з харчовими продуктами.

PC — полікарбонат. Один з найбільш міцних матеріалів для **FDM** 3D-друку. Широко використовується в промисловому виробництві, найвідоміші приклади — компакт-диски, тактичні захисні армійські окуляри.

Використовується для виготовлення високоміцних виробів, що працюють під високим навантаженням. Дозволяє створювати вироби, які пропускають світло.



PBT — полібутилентерефталат.

Конструкційний технічний пластик, що кристалізується. Відрізняється високою стійкістю до абразивного зносу і низьким коефіцієнтом тертя.

При виготовленні деталей, може бути заміною таких матеріалів як мідь, бронза, алюміній, конструкційні реактопласти та скловолокно.

NYLON — нейлон. Виключно міцний, зносостійкий і гнучкий пластик сімейства поліамідів.

Використовується в промисловості для виробництва деталей, що працюють під високим навантаженням, а також для виготовлення високоміцних тросів, тканин, струн музичних інструментів тощо.



Elastan — еластан. Гнучкий синтетичний пластик на основі каучуку. Застосовується для виготовлення демпферних, антивібраційних і герметизуючих елементів, а також для виробів, що експлуатуються при різких коливаннях температури. За властивостями нагадує тверду гуму. Має високий опір ударним навантаженням.

Plastan — пластан. Гнучкий синтетичний пластичний матеріал на основі каучуку. Еластичність і пружність нижчі, ніж у еластана, а міцність - вища. Застосовується у виробництві деталей, що працюють під впливом як динамічних, так і статичних навантажень. За властивостями нагадує м'які метали (бронза, свинець, золото).



Матеріали для 3D-друку

Зміст

Декоративні пластики

Laywood — пластик, що імітує деревину. Пластик складається з дрібнодисперсного деревного порошку і полімерного з'єднувача, схожого на **PLA**. Застосовується для друку виробів, що імітують деревину. При певному режимі друку, дозволяє імітувати фактуру натурального дерева: вікові кільця, кора та інше.

BronzeFill — пластик, що імітує бронзу. Пластик складається з дрібнодисперсного бронзового порошку і полімерного з'єднувача, схожого на **PLA**. Застосовується для друку виробів, що імітують бронзу, латунь та інші подібні метали. Містить до 80% бронзового порошку. Має електропровідність, дозволяє включати вироби в електричні ланцюги. Після поліровки набуває металевого блиску.



Допоміжні матеріали

PVA — полівінілацетат (ПВА).

Водорозчинний напівпрозорий матеріал, в основі якого є вінілацетат.

Використовується в **FDM** 3D-друку для побудови технологічної підтримки при друкуванні складних виробів. Повністю розчиняється у воді. Добре видаляється механічно.

HIPS — полістирол.

Термопластичний полімер, на основі стиролу. Використовується для побудови технологічної підтримки, при друкуванні складних виробів. Розчиняється органічним розчинником лімоненом. Добре видаляється механічно.



Матеріали для SLA-друку

Макетні

Підходять для виготовлення макетів, моделей, прототипів, а також для виготовлення майстер-моделей для вакуумного лиття. Ці матеріали не призначені для виробів, що зазнають різні види навантажень.

Воскові

Смоли на базі воску дозволяють виготовляти з них точні і деталізовані воскові моделі, що виплавляються, для лиття. Такі моделі використовують для виробництва ювелірних прикрас, литих стоматологічних виробів і високоточних деталей.



Матеріали для 3D-друку

Зміст

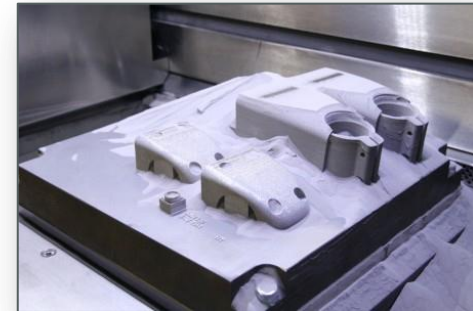
Матеріали призначення

Група матеріалів, що використовуються при виготовленні виробів для стоматології, протезування, імплантації.



Технічні

Фотополімерні смоли, основною якістю яких є стійкість до різних навантажень, що дозволяє використовувати їх для виготовлення міцних, зносостійких виробів.



Декоративні

Застосовуються для створення декоративної продукції. Virізняються рядом властивостей, що не притаманні іншим матеріалам, наприклад: прозорість, флюоресценція, еластичність і так далі.



Програми для створення 3D-об'єктів

Зміст

Top 25

Most Popular 3D Modeling Software for 3D Printing

		General		3D Printing Community				Total Score
		Social	Website	Forums	YouTube	Databases	Google	
1	Blender	61	91	100	100	27	100	80
2	SketchUP	87	82	79	49	80	74	75
3	SolidWorks	95	81	42	52	25	75	62
4	AutoCAD	100	78	46	43	4	85	59
5	Maya	91	80	35	50	3	93	59
6	3DS Max	90	83	24	53	2	78	55
7	Inventor	98	80	29	31	15	75	55
8	Tinkercad	78	57	38	5	100	31	51
9	ZBrush	83	69	45	42	4	50	49
10	Cinema 4D	84	76	6	28	1	62	43
11	123D Design	85	67	21	14	18	50	42
12	OpenSCAD	1	65	33	2	100	29	38
13	Rhinoceros	17	75	50	21	6	49	36
14	Modo	82	63	10	9	1	45	35
15	Fusion 360	93	81	10	3	2	4	32
16	Meshmixer	1	62	18	7	9	28	21
17	LightWave	23	52	1	8	0	32	19
18	Sculptris	0	67	7	6	4	26	19
19	Grasshopper	9	60	4	5	1	32	18
20	FreeCAD	4	59	15	8	11	5	17
21	Mol3D	0	53	3	1	0	28	14
22	3Dtin	4	57	0	0	11	1	12
23	Wings3D	0	66	1	1	0	2	12
24	K-3D	0	62	1	1	0	2	11
25	BRL-CAD	0	60	1	0	0	1	11



Програми для створення 3D-об'єктів

Зміст

Blender. Своєю популярністю програма зобов'язана двом причинам: по-перше, в цій програмі стільки інструментів для роботи, що перед користувачами відкриваються просто безмежні можливості; по-друге, це безкоштовна програма з відкритим початковим кодом. З іншого боку, **Blender** складна для новачків, і на її освоєння потрібен час.



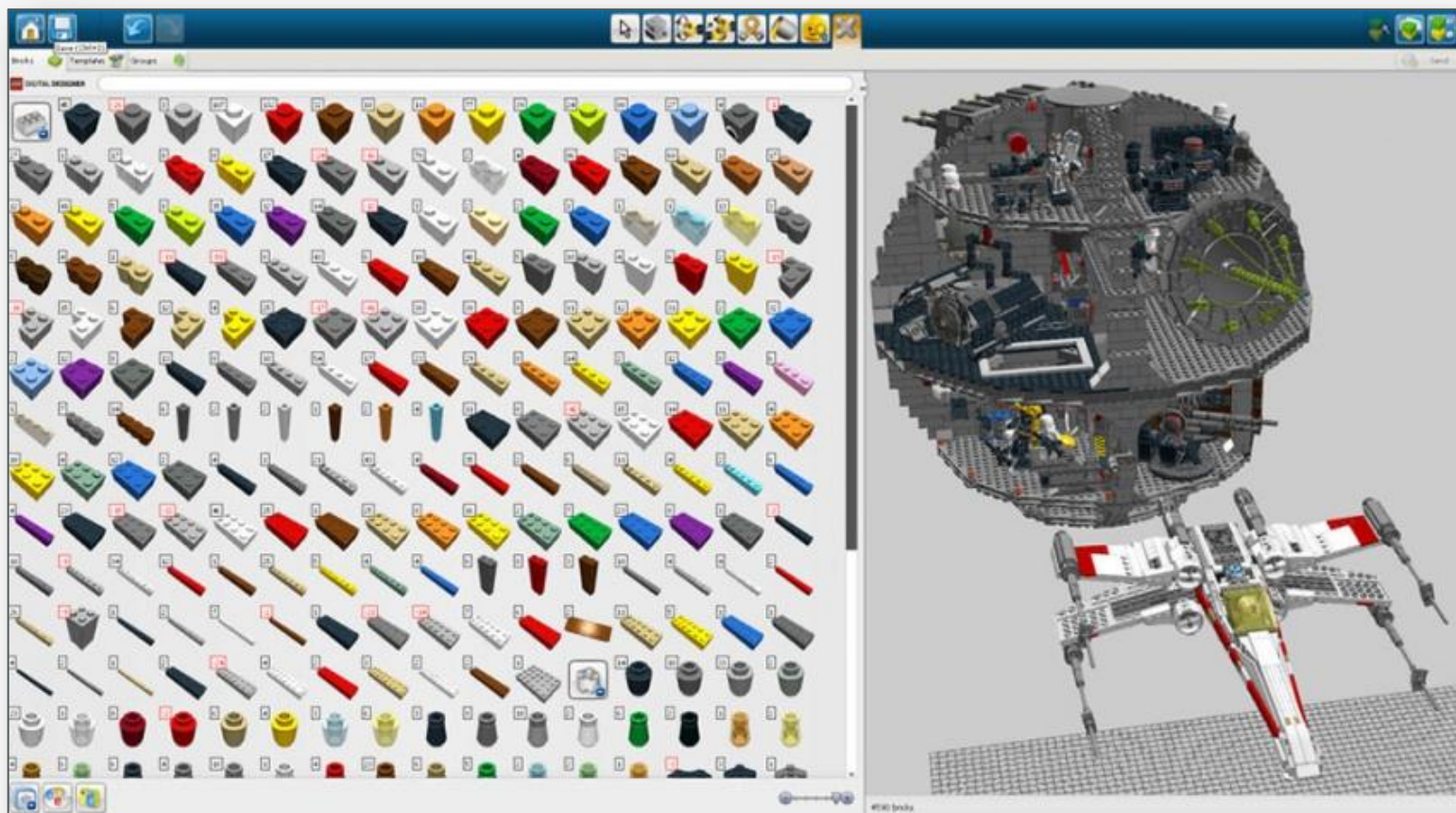
SketchUp. Ця програма славиться своїм дружнім інтерфейсом (важливий плюс для новачків) і має цілий арсенал інструментів. І що найголовніше, у неї є безкоштовна версія.



Програми для створення 3D-об'єктів

Зміст

LEGO DIGITAL DESIGNER



Основи 3D-друку

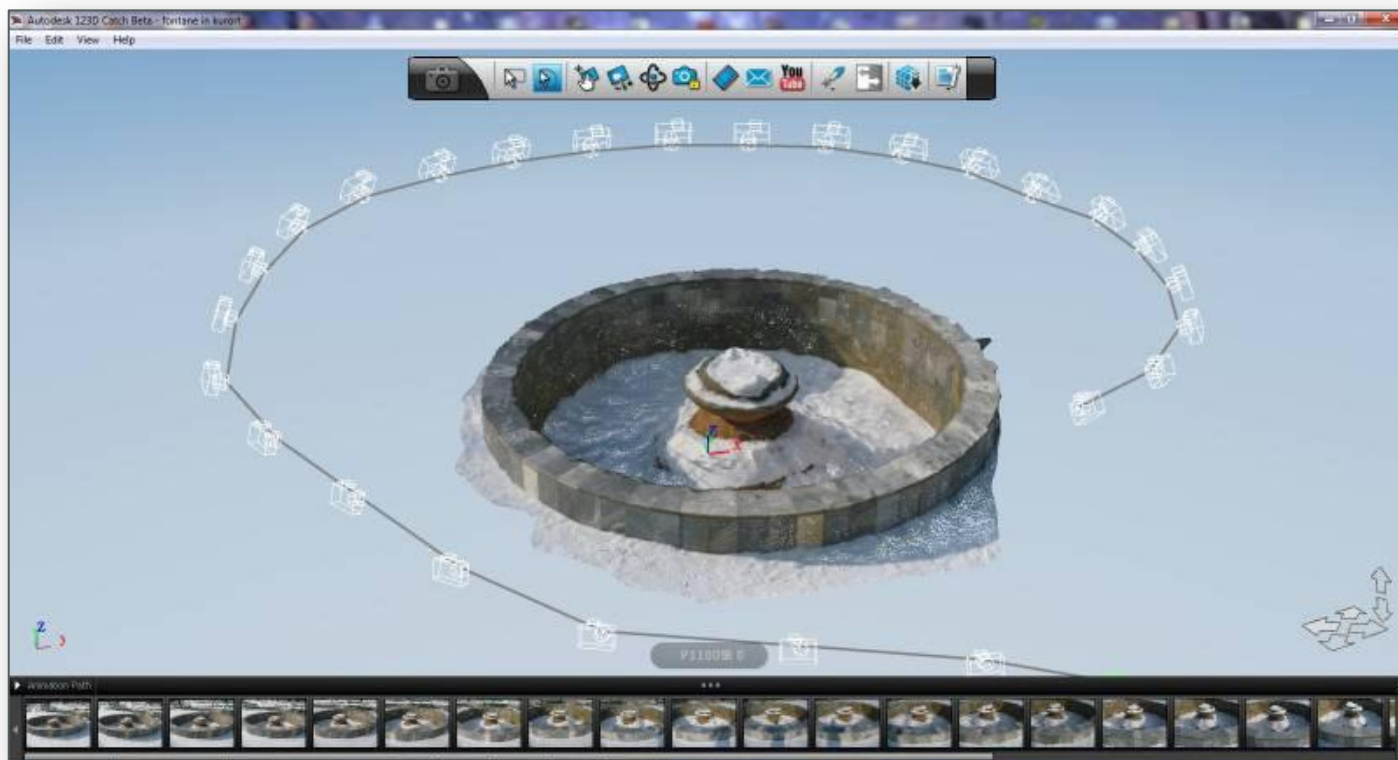
3D
PRINTING

Програми для створення 3D-об'єктів

Зміст

123D Catch

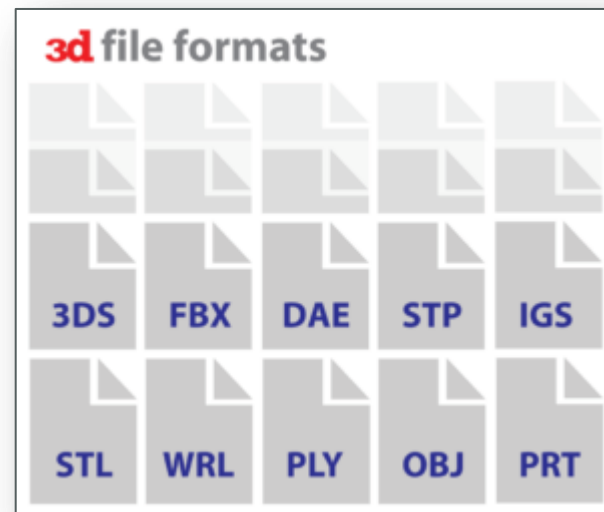
Це інструмент від **Autodesk**, який дозволяє створити 3D-об'єкт зі знімків камери. Існує версія і для **Android**, що дозволяє зробити із смартфона 3D-сканер.



Що таке формат 3D-файлу?

Основне призначення 3D-файлу - зберігати інформацію про 3D-модель у вигляді звичайного текстового або бінарного файлу. По суті вони кодують інформацію про геометрію, зовнішній вигляд, сцену і анімацію 3D-моделей. Геометрія моделі описує її форму. Зовнішній вигляд включає кольори, текстури, матеріал і тому подібне. Під сценою мається на увазі розташування джерел освітлення, камер і периферійних об'єктів. Ну і анімація характеризує переміщення 3d-моделі.

Проте не усі формати 3D-файлів зберігають усю цю інформацію. Наприклад, **STL**-формат зберігає тільки інформацію про геометрію й ігнорує інші дані. Існують сотні форматів 3D-файлів. В основному через те, що кожен розробник програмного CAD-забезпечення має власний, оптимізований саме під їхнє програмне забезпечення, формат файлів.



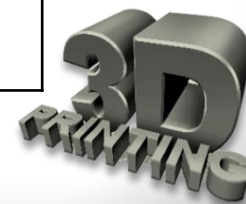
Типи файлів

Зміст

Для вирішення проблеми сумісності використовуються універсальні або **open source-формати**.

Найпопулярніші формати 3D-файлів і їх тип

Формат 3D-файла	Тип
STL (Stereolithography File)	Універсальний
OBJ (Relocatable Object Code)	ASCII варіант універсальний, бінарний - власний
FBX (Індексний файл для набору даних)	Власний
DAE (Digital Asset Exchange File)	Універсальний
3DS (Тривимірний графічний файл)	Власний
IGES (Заготовка (draft) iges 5.x)	Універсальний
STEP (STEP 3D Model)	Універсальний
VRML/X3D (Мова моделювання віртуальної реальності)	Універсальний



STL (від англ. **stereolithography**) — формат файлу, який широко використовується для зберігання тривимірних моделей об'єктів для використання в адитивних технологіях. Інформація про об'єкт зберігається як список трикутних граней, що описують його поверхню, і їх нормалей. **STL**-файл може бути текстовим (**ASCII**) або двійковим. Свою назву дістав від скорочення терміну «**Stereolithography**», оскільки спочатку застосовувався саме в цій технології тривимірного друку.

Конвертація файлів у формат STL

Для стандартної версії **Sketchup** для експорту в формат **STL** треба буде встановити спеціальне розширення. Адреса сайту:

https://extensions.sketchup.com/ru/search/site/?f%5B0%5D=im_file_id_ext_category%3A26.

На цьому ж сайті можна скачати і інші розширення для програми **Sketchup**.



Типи файлів

Зміст

Як встановити розширення?

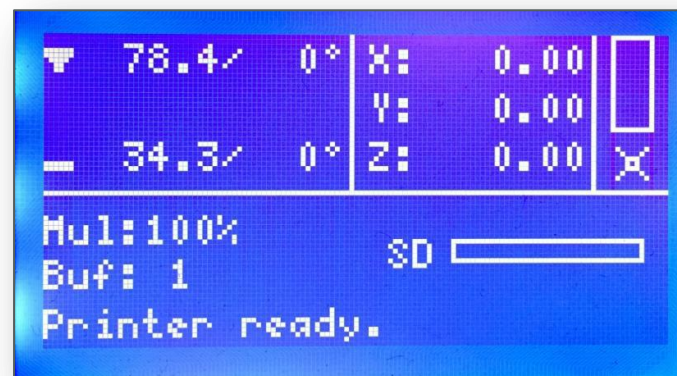
<https://www.youtube.com/watch?v=L6TqjA7MEHA>



Підготовка 3D-принтера до друку

Зміст

Будь-який 3D-принтер перед початком друку об'єкта необхідно налаштувати. Наприклад, при включенні принтера **Duplicator i3** відображається логотип **Wanhao** на ЖК-екрані і первинні налаштування температури. Як правило, при першому запуску на екрані відображається температура довкілля.



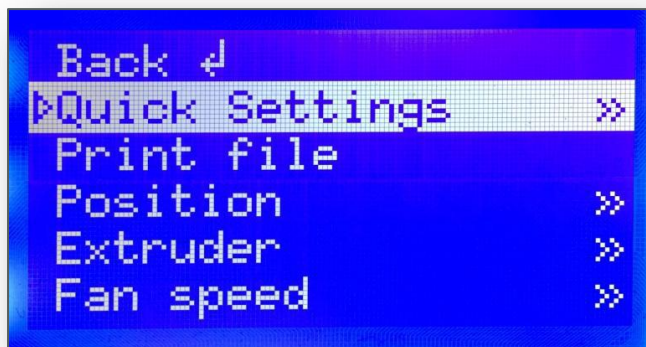
Наступний крок налаштування – **вирівнювання платформи**.

Деякі моделі мають функцію автоматичного вирівнювання, яку слід шукати в меню на екрані принтера. Платформи бувають з підігріванням і без підігрівання.

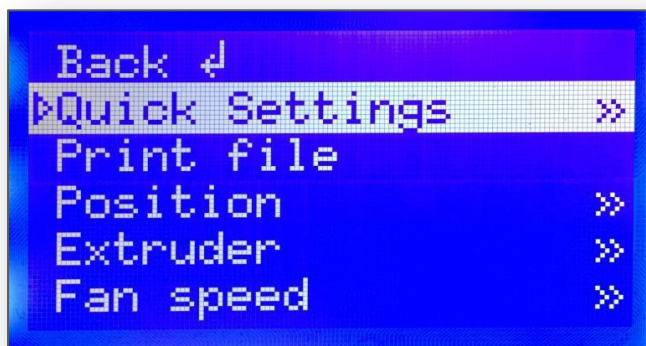
Підготовка 3D-принтера до друку

Зміст

Для ручного вирівнювання платформи необхідно перейти до функції меню **Швидке налаштування - Додому Всі**.



Далі перейти до функції **Швидке налаштування - Відключити крокові двигуни**. Тепер живлення відсутнє на кожному двигуні.

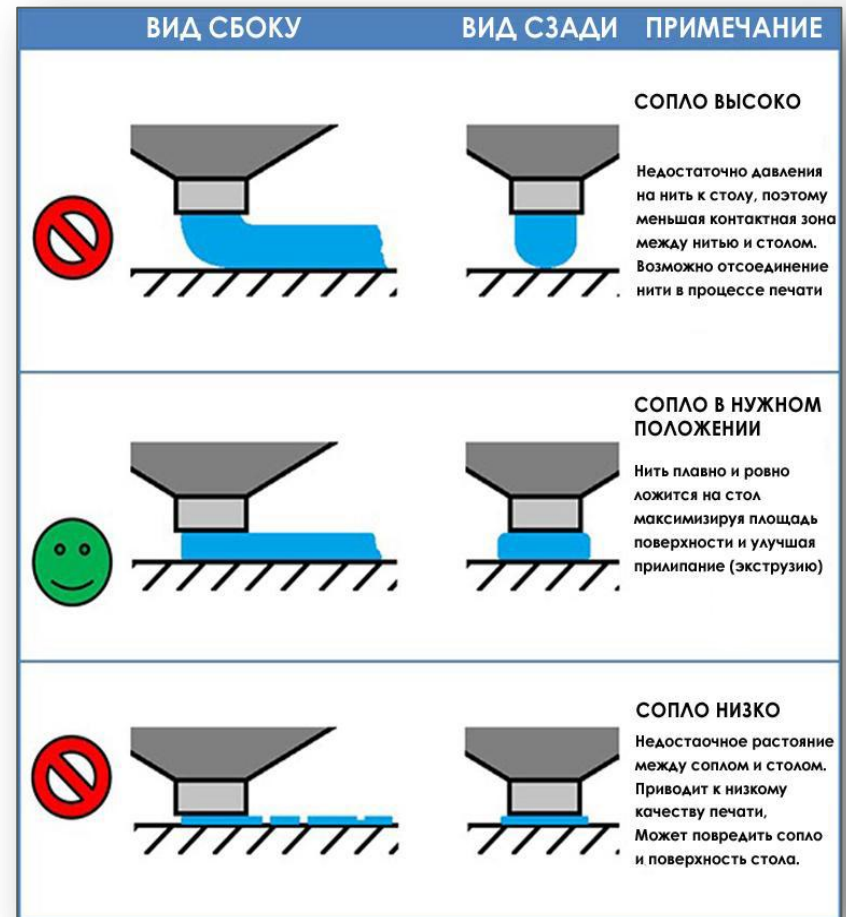


Підготовка 3D-принтера до друку

Зміст

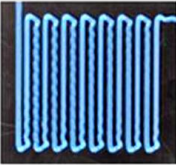
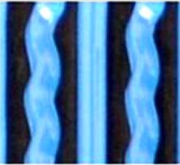
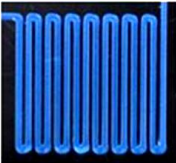
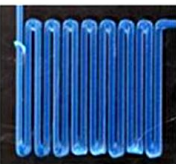
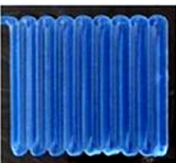
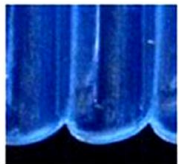
Таким чином, можна вільно перемістити екструдер по осі X. Платформа для друку може рухатися по осі Y також вільно. Вручну перемістити екструдер в різні положення над платформою для друку, одночасно регулюючи відстань між соплом екструдера і платформою з регулювальними гвинтами і аркушем паперу, поміщеним між платформою і соплом.

Відстань між соплом екструдера і робочою платформою повинна відповідати товщині паперу формату A4. Для успішної роботи ця товщина має складати близько 0,12 мм.



Підготовка 3D-принтера до друку

Зміст

	ДРУК	ЗБІЛЬШЕНО	ПРИМІТКА
			СОПЛО ДУЖЕ ВИСОКО
 ОК			
			
			
			
			СОПЛО ДУЖЕ НИЗЬКО

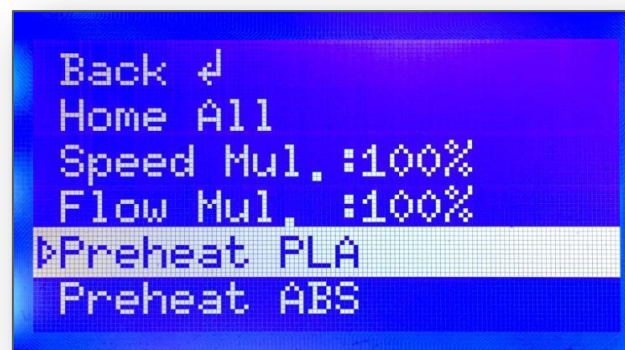
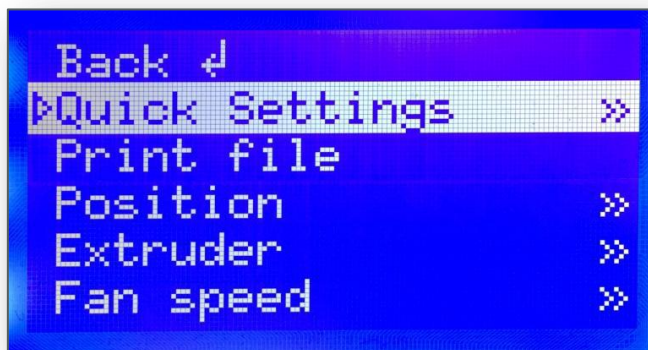
Якщо платформа встановлена занадто низько, друк може не прилипнути до поверхні, якщо занадто високо, то приведе до пошкодження покриття платформи і сопла. Якщо виникли проблеми, просто треба вирівняти свою платформу знову.

Підготовка 3D-принтера до друку

Зміст

Завантаження нитки

Першим кроком при завантаженні нитки є обрізка кінця нитки таким чином, щоб він був максимально гострим. Після цього необхідно перейти до функції **Швидке налаштування - Підігрів нитки** в залежності від матеріалу: **PLA** або **ABS**. Принтер починає підігрів екструдера до завданої температури.



Натиснути пружинний важіль екструдера вниз, щоб відкрити шлях нитки в нагрівальну камеру. В цей час необхідно вставити нитку в отвір до самого кінця екструдера. Потім відпустити важіль.

Підготовка 3D-принтера до друку

Зміст

Завантаження нитки

Перейти до функції **Екструдер - Положення екструдера**. Повернути джойстик управління за годинниковою стрілкою, щоб завантажити нитку. Переконайтеся, що нитка завантажується згори від верхньої частини котушки, щоб уникнути зминання під час друку. Після завантаження нитки, відпустити **Джойстик управління**. Машина зупинить екструзію.



Після того як двигун затягне нитку, невелика кількість пластика почне виходити з сопла. Після охолодження видалити цей пластик. Якщо ж на соплі залишається пластик, наступний екструдований пластик може приклеїтися на сопло замість платформи для друку.

Принтер готовий до роботи

Підготовка 3D-об'єкта до друку

Зміст

Слайсер – це програма для перетворення тривимірної моделі на зрозумілий принтеру набір команд, званий **g-code**. Найбільш популярні програми - **Cura**, **Slic3r**, **Kisslancer**, **Skineforge** та ін. **Слайсинг** - процес перекладу 3D-моделей в код, що управляє.



Білл Гейтс пояснює генерацію слайсером **g-code**

Підготовка 3D-об'єкта до друку

Зміст

Модель ріжеться (слайситься) по шарах. Кожен шар складається з периметра і/або заливки. Модель може мати різний відсоток заповнення заливкою, також заливки може і не бути (порожниста модель).

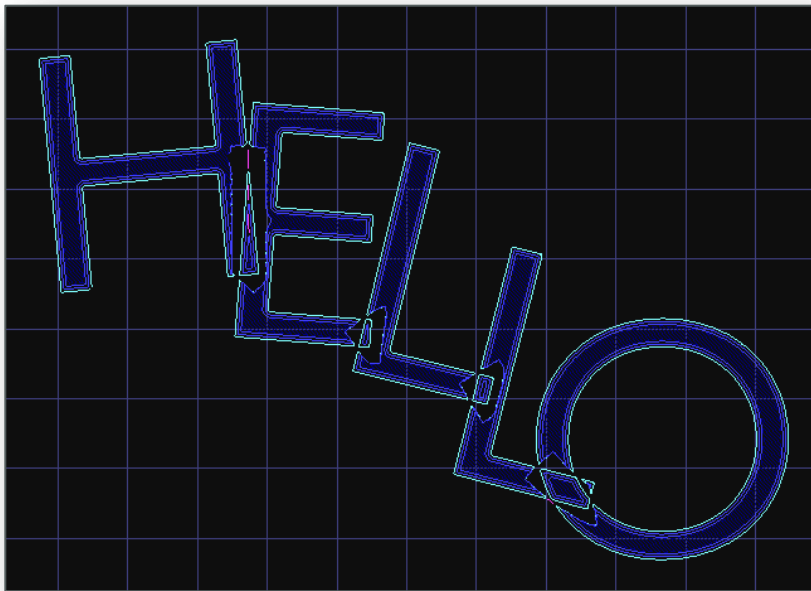
На кожному шарі відбуваються переміщення по осях ХУ з нанесенням розплаву пластика. Після друку одного шару відбувається переміщення по осі Z на шар вище, друкується наступний шар і так далі.



10 правил підготовки моделі до 3D-друку

1. Сітка

Пересічні грані і ребра можуть привести до кумедних артефактів слайсинга. Тому, якщо модель складається з декількох об'єктів, то їх необхідно звести в один.

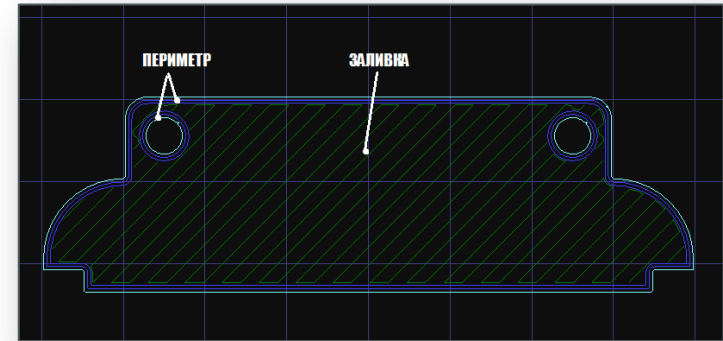


Не всі слайсери чутливі до сітки (наприклад, Slic3er). І, навіть, якщо сітка крива, а виправляти її руками немає бажання, то є корисний безкоштовний сервіс <https://service.netfabb.com>, який може допомогти у більшості випадків. Для цього необхідно увійти у свій обліковий запис **Google**.

Цей сервіс також допоможе, якщо слайсер повідомить, що об'єкт має незамкнений контур і не може бути надрукований.

10 правил підготовки моделі до 3D-друку

Кожен шар складається з периметра і/або заливки. Модель може мати різний відсоток заповнення заливкою, також заливки може і не бути (порожниста модель).



2. Плоска основа

Бажане, але не обов'язкове правило. Плоска основа допоможе моделі краще триматися на столі принтера. Якщо модель відклеїться (цей процес називають делямінацією), то порушиться геометрія основи моделі, а це може призвести до зміщення координат XY, що ще гірше.



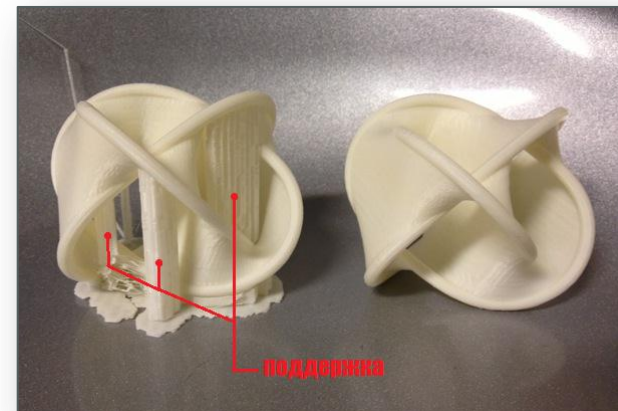
10 правил підготовки моделі до 3D-друку

3. Товщина стінок

Стінки повинні дорівнювати або бути товщими за діаметр сопла. Інакше принтер просто не зможе їх надрукувати. Товщина стінки залежить від того, скільки периметрів друкуватиметься. Так, при 3 периметрах і соплі 0,5mm товщина стінок має бути від 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3mm, а зверху може бути будь-яка. Тобто товщина стінки має бути кратна діаметру сопла, якщо вона менше $N \cdot d$, де N - кількість периметрів, d - діаметр сопла.

4. Мінімум елементів, які нависають

Для кожного елемента, який нависає, потрібна підтримувальна конструкція - підтримка. Чим менше таких елементів, тим менше треба підтримки, матеріалу і часу друку на них, і тим дешевшим буде друк. Крім того, підтримка псує поверхню, дотичну до неї. Допускається друк без підтримки стінок, які мають кут нахилу не більше 70 градусів.



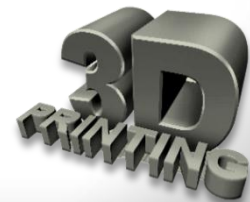
10 правил підготовки моделі до 3D друку

5. Точність

Точність по осях XY залежить від люфтів, жорсткості конструкції, ременів, загалом, від механіки принтера. Вона складає приблизно 0.3 мм для хобійних принтерів. Точність по осі Z визначається висотою шару (0.1-0.4 мм). Звідси і висота моделі буде кратна висоті шару. Також необхідно враховувати, що після охолодження матеріал усаджується, а разом з цим змінюється геометрія об'єкту. Існує ще програмна сторона проблеми - не кожен слайсер коректно обробляє внутрішні розміри, тому діаметр отворів краще збільшити на 0.1-0.2 мм.

6. Дрібні деталі

Дрібні деталі досить складно відтворюються на FDM принтері. Їх взагалі неможливо відтворити, якщо вони менші, ніж діаметр сопла. Крім того, при обробці поверхні дрібні деталі стануть менш помітними або зникнуть зовсім.



Підготовка 3D-об'єкта до друку

Зміст

10 правил підготовки моделі до 3D друку

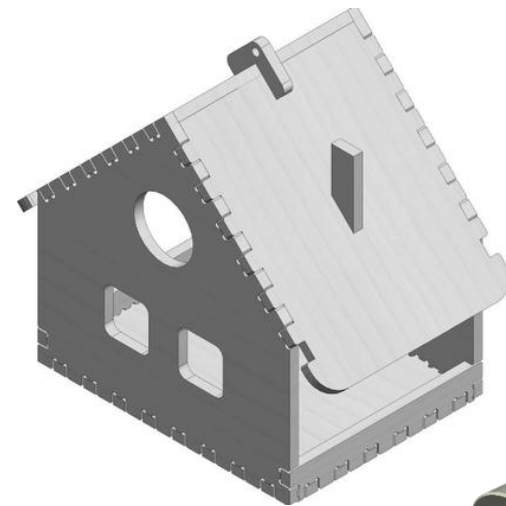
7. Вузькі місця

Вузькі місця дуже складно обробляти. По можливості необхідно уникати таких місць, до яких неможливо підібратися з шкіркою або мікродрилем. Звичайно, можна обробляти поверхню у ванні з розчинником, але тоді оплавляться дрібні елементи.



8. Великі моделі

При моделюванні необхідно враховувати максимально можливі габарити друку. У випадку, якщо модель більше цих габаритів, то її необхідно розрізати, щоб надрукувати по частинах. А оскільки ці частини склеюватимуться, то непогано б відразу передбачити з'єднання, наприклад, «ластівчин хвіст».

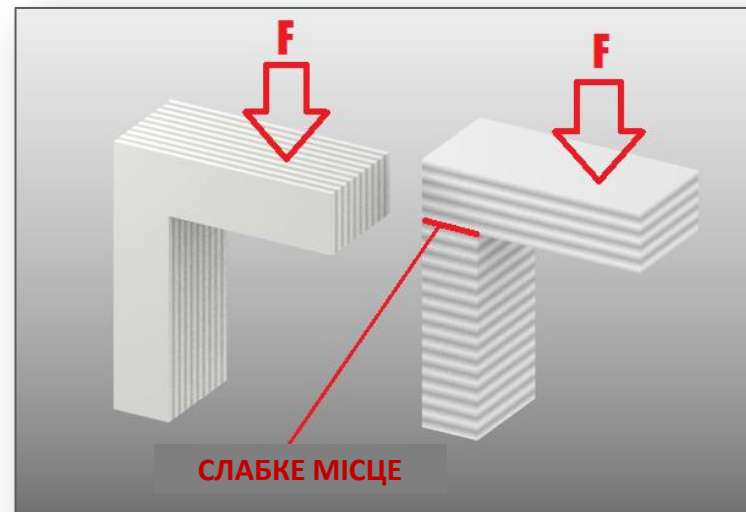


10 правил підготовки моделі до 3D друку

9. Розташування на робочому столі

Від того, як розташувати модель на робочому столі залежить її міцність. Навантаження повинне розподілятися упоперек шарів друку, а не вздовж. Інакше шари можуть розійтися, оскільки зчеплення між шарами не 100%.

Лініями показані шари друку. Від того як прикладена сила відносно шарів залежить міцність надрукованої деталі. У даному випадку для правої «Г» достатньо буде невеликої сили, щоб зламати її.



10. Формат файлу

Слайсери працюють з форматом файлу **STL**. Тому зберігати модель для друку треба саме в цьому форматі. Практично будь-який 3D-редактор уміє експортувати в цей формат самостійно або з використанням **плагінів**.



Запитання для самоконтролю

1. Що таке 3D-принтер?
2. Які основні етапи включає процес 3D-друку?
3. Які переваги 3D-друку у порівнянні з традиційними методами виробництва?
4. Як класифікують 3D-принтери за призначенням?
5. Як класифікують 3D-принтери за типом матеріалів, що використовуються?
6. Що таке 3D-сканер?
7. Які є матеріали для 3D-друку?
8. Які є програми для створення 3D-об'єктів?
9. Як підготувати 3D-принтер до друку?
10. Як виконати калібрування 3D-принтера?



Який повинен бути перший слайсер для новачка у 3D-друку?

Мова йде про універсальний слайсер для різних принтерів.

Simplify3D



Програмне забезпечення 3D-друку

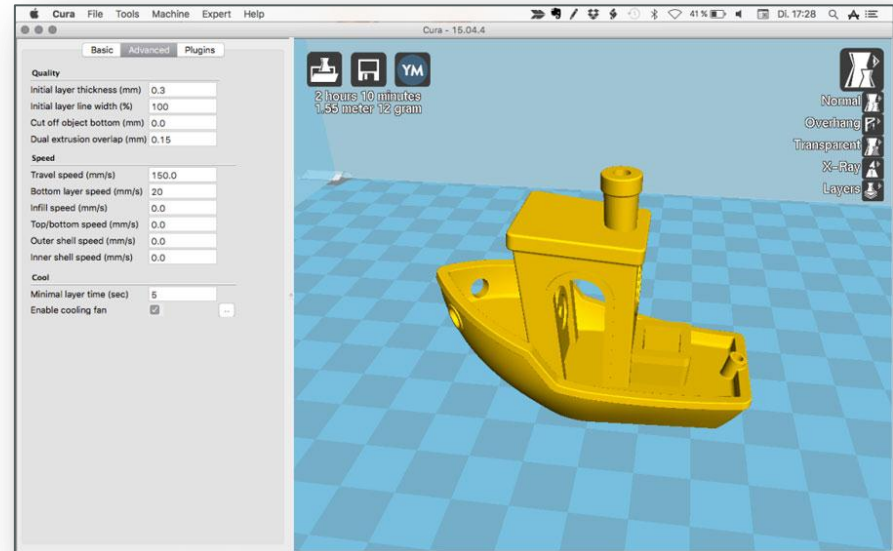
Для початківців

Cura — це стандартна програма-слайсер для всіх 3D-принтерів. У програми повністю відкритий початковий код, її можливості можна розширювати за допомогою плагінів. Це візуальна оболонка **Repetier Host**.

Дуже легка у використанні і дозволяє управляти найважливішими налаштуваннями 3d-друку через зрозумілий інтерфейс.

Режим **Basic** — щоб швидко увійти до курсу справи і змінити налаштування якості друку.

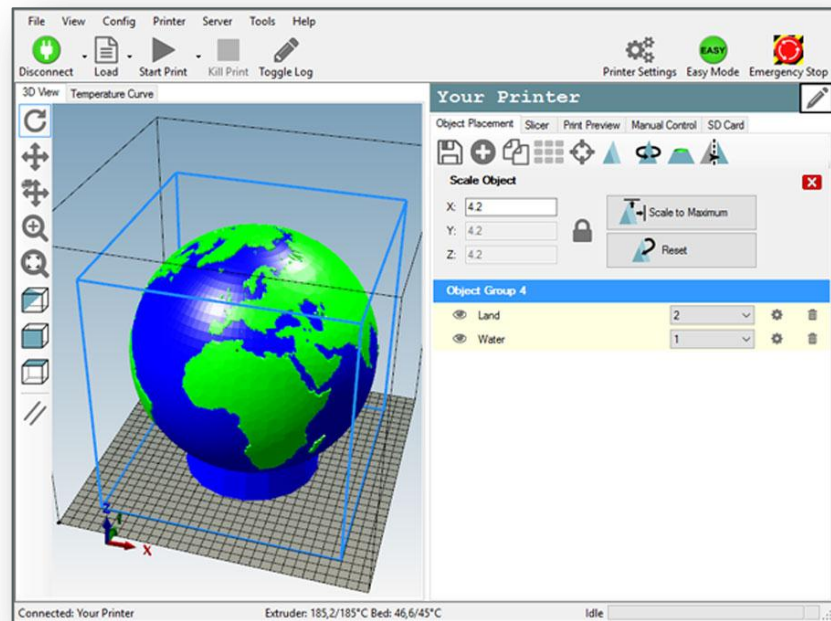
Режим **Expert** — для більш тонкого контролю. Програму **Cura** можна використати і для прямого управління принтером, але тоді принтер і комп'ютер мають бути сполучені один з одним.



Для тих, хто продовжує

Repetier Host – це наступний рівень програм-слайсерів для 3D-принтерів з відкритим початковим кодом. Це «прадід» програм для 3D-друку і фаворит співтовариства **RepRap**.

Укомплектована за схемою «все в одному», вона підтримує до 16 екструдерів, мультинарізка через плагіни, а також практично усі 3D-принтери пошарового наплавлення, які можна зустріти на ринку. Більше того, **Repetier Host** працює через **Repetier Server** видалено, так що управління 3D-принтером можливе через браузер, планшет або смартфон. Програма розраховує витрату пластика майбутньої ваги моделі і час на її створення.



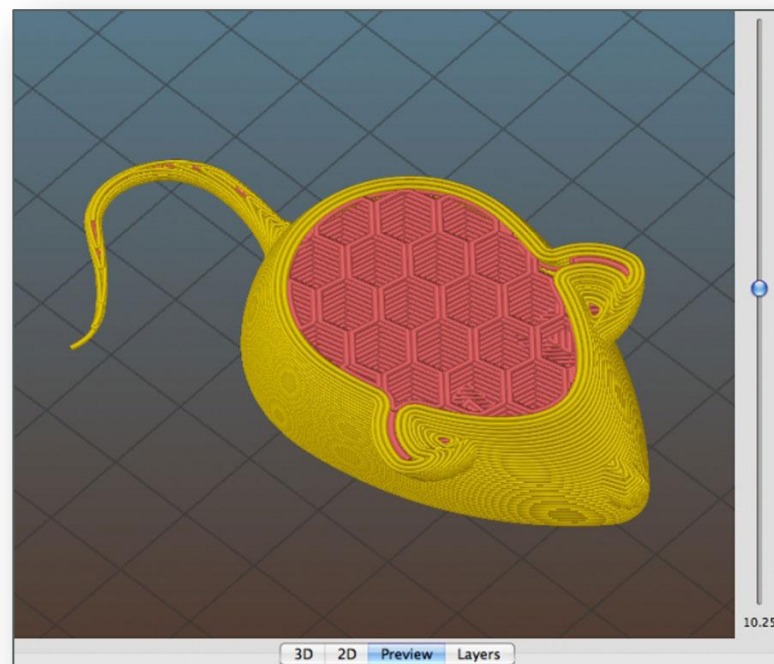
Програмне забезпечення 3D-друку

Зміст

Для професіоналів

Slic3r — слайсер з відкритим початковим кодом, що має репутацію носія супернового функціонала, якого ще ніде не зустрінеш. Поточна версія програми уміє показувати модель з безлічі ракурсів, так що користувач дістає кращі можливості попереднього перегляду.

У наявності неймовірне тривимірне стільникове заповнення - перший такого роду патерн, який може поширюватися на декілька шарів, а не повторюватися, як штамп. Це істотно підвищує міцність внутрішнього заповнення моделі і фінального роздруку.

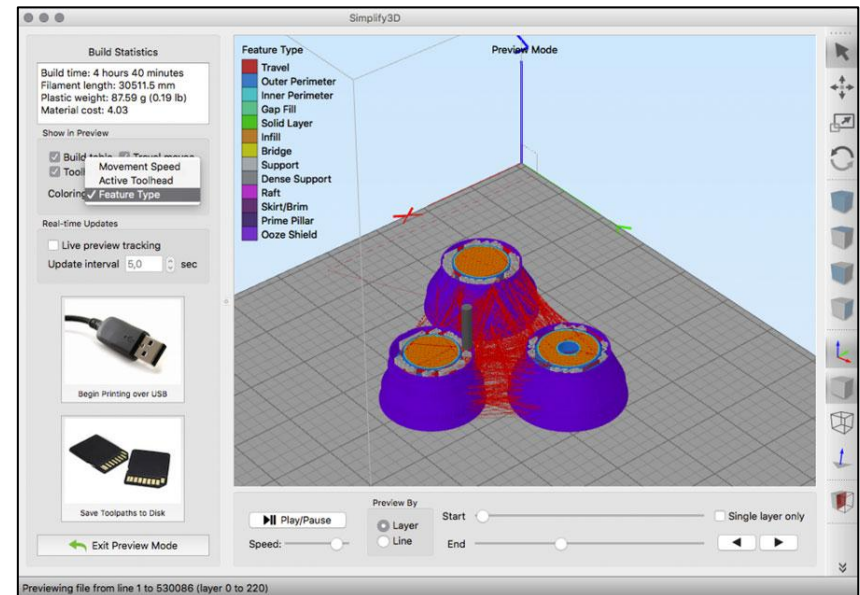


Програмне забезпечення 3D-друку

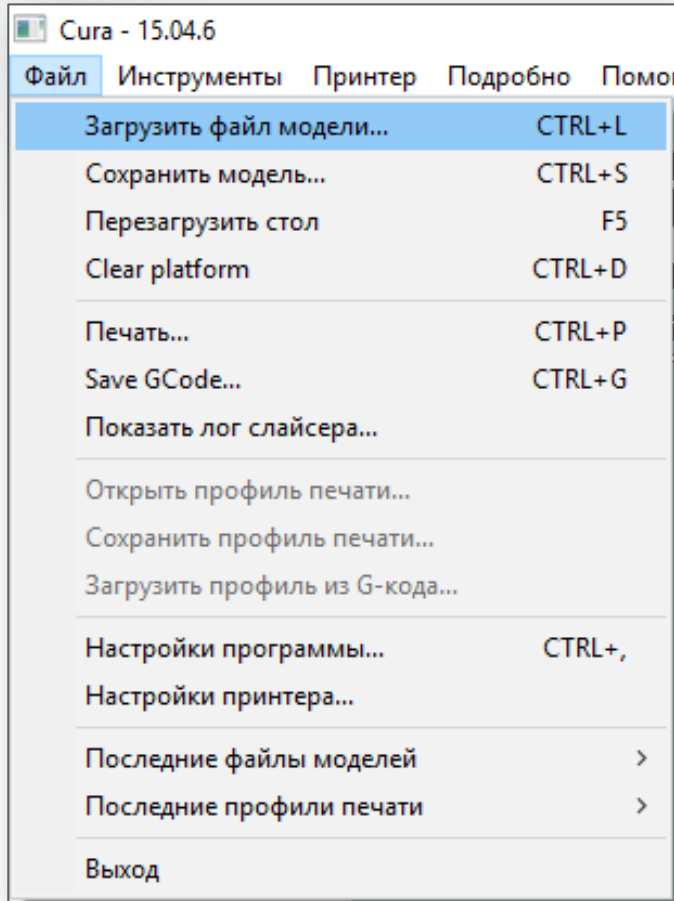
Для професіоналів

Simplify3D — це не просто програма-слайсер, це справжній швейцарський ніж для 3D-друку. Гнучкий алгоритм перевіряє модель на наявність проблем, виправляє їх, показує прев'ю процесу друку (ідеально для виявлення потенційних проблем) і потім нарізує її. Безкоштовної версії немає.

Simplify3D пропонує кращі серед конкурентів варіанти шаблонів заповнення. Для моделей, в яких потрібно мати підтримку, **Simplify3D** створить відповідні структури самостійно і надасть повний контроль за їх розміщенням. Для принтерів з подвійним екструдером, при друці різними матеріалами допоможе майстер **Dual Extrusion**, внаслідок чого, наприклад, видалити матеріал, що розчиняється, буде легше.



Програмне забезпечення 3D-друку



Відкрити файл можна в меню **Файл (File)**, далі обрати **Загрузить файл модели (Load model file)**, вказавши до неї шлях. У вікні, що відкрилося, обрати папку з файлами моделей, у вікні навігації, що з'явилося. Обрати файл моделі і натиснути кнопку **Открыть** або обрати іконку .

Файли **Cura** зберігаються у декількох розширеннях: безпосередньо модель (*.stl), групи моделей (*.amf) і код для принтера (*.gcode). Для збереження моделі, обрати **Файл (File)** – **Сохранить модель (Save model)** і обрати необхідне розширення.

Для збереження **G-code** обрати **Файл (File)** – **Save GCode** або натиснути іконку . У вікні, що відкрилося, вказати кінцеву теку для збереження файлів.

Поняття G-коду

Зміст

G-код — умовне іменування мови програмування пристроїв з числовим програмним управлінням.

Переважає число 3D-принтерів, що управляється спеціальною мовою команд, яка називається **G-код**. Спочатку ця мова була розроблена і стандартизована для управління ЧПУ-верстатами. А оскільки 3D-принтер по суті є різновидом ЧПУ верстата цілком логічно було «підігнати» його під ці стандарти. Проте в різних 3D-принтерах **G-код** може відрізнятися (можуть бути відсутніми деякі команди або навіть мати інше значення).



Сам принцип друку ґрунтується на промальовуванні голівкою принтера периметра майбутньої деталі і внутрішньої структури деталі на певній висоті (шарі). Тобто перед друком спочатку цілу тривимірну модель «слайсять» (нарізують по вертикалі (вісь **Z**) на шари заздалегідь заданої товщини). Для того щоб надрукувати реальний тривимірний об'єкт, для принтера необхідно створити ряд інструкцій, в яких треба прописати що робити 3D-принтеру при виконанні програми. Тобто, в який момент часу, в яку сторону і з якою швидкістю їхати друкарській голівці принтера (екструдеру), де саме включити подання матеріалу, або навпаки включити реверс. Яку підтримувати температуру на екструдері і на столі (якщо нагрів столу є), і на якій висоті її підвищити або знизити.

Враховувати діаметр сопла під час друку і багато чого іншого. Вручну написати подібний код, звичайно, можливо, але дуже важко. Для цього і були створені спеціальні програми - **слайсери** (нарізалки) від англійського **clice** (шар, скибочка). Працюють ці програми з файлами з розширенням (***.stl** і ***.amf**), а інструкції для принтера - це файли з розширенням ***.gcode**. Інструкції з друку (файли ***.gcode**) в принтер передають спеціальні програми. Або, за наявності дисплея на принтері, файли копіюються на SD-карту і зчитуються вбудованим картридером дисплея принтера.



Програма CURA

Зміст

Ця програма використовує тривимірну модель (як правило, у форматах **STL/OBJ** та ін.) для побудови траєкторії руху друкувальної голівки 3d-принтера, базовану на установках, заданих користувачем. У налаштуваннях слайсера, користувач обирає діаметр сопла, швидкість друку і переміщення, висоту шару та ін. Ця інформація експортується з програми, як файл **g-code**. Файл **g-code** - це простий текстовий файл з рядом текстових кодів і списком повних осей X, Y і Z системи координат, що використовуються для друку 3D-моделей. Програма безкоштовна, і її можна викачати з різних джерел. Наприклад,

https://www.losprinters.ru/files/uploads/Cura_i3/Cura_15.04.3.rar

Інсталяція CURA

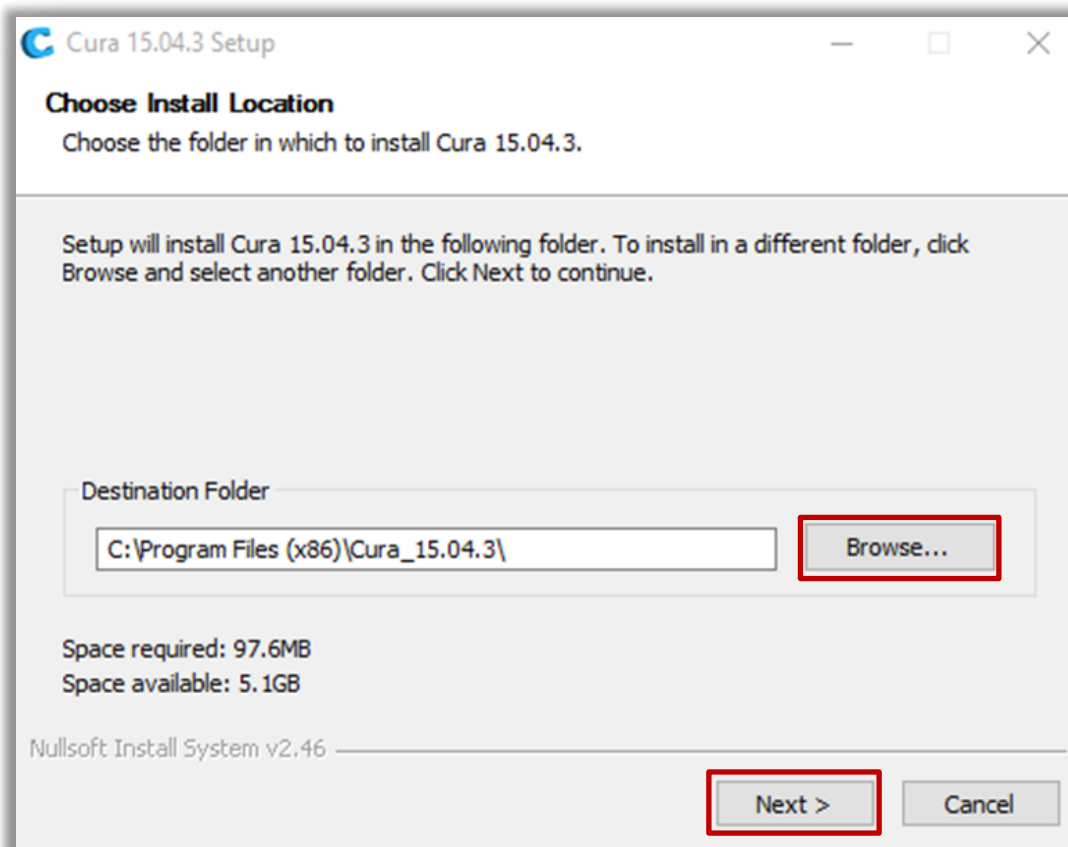
Інсталяція розпочинається із запуску викачаного інсталяційного файлу. Якщо раніше були встановлені інші версії цієї програми, їх треба заздалегідь видалити.



Програма CURA

Зміст

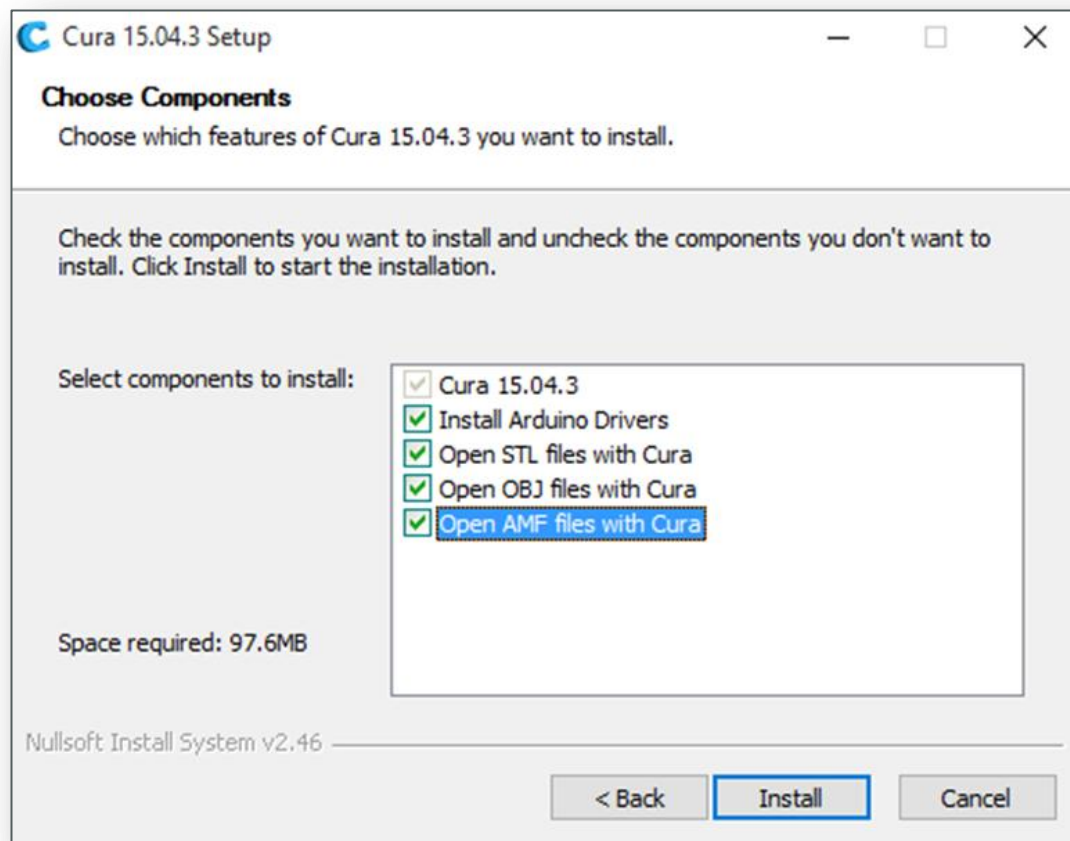
У першому вікні необхідно обрати місце для встановлення програмного забезпечення. Після того, як шлях для встановлення обрано, необхідно натиснути кнопку Далі (**Next**).



Програма CURA

Зміст

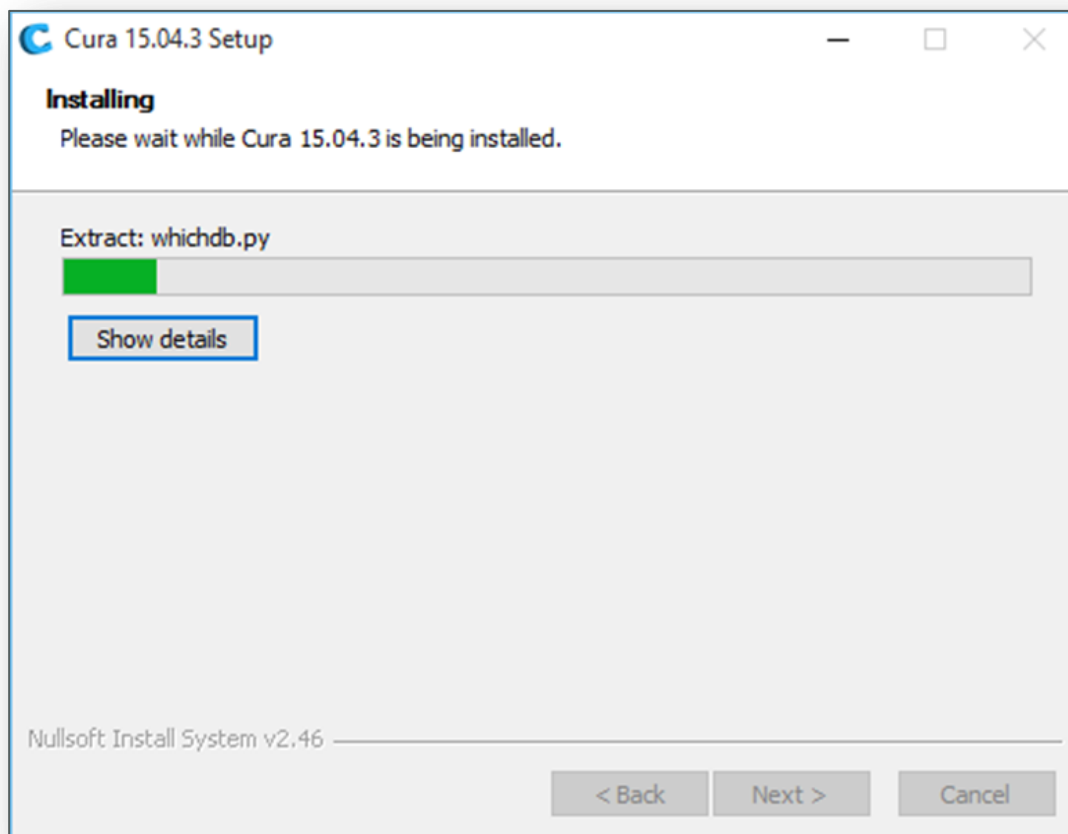
У вікні, що відкрилося далі, необхідно вибрати типи файлів, які повинні відкриватися в додатку Cura автоматично. Відмітити галочками, натиснути кнопку **Install**.



Програма CURA

Зміст

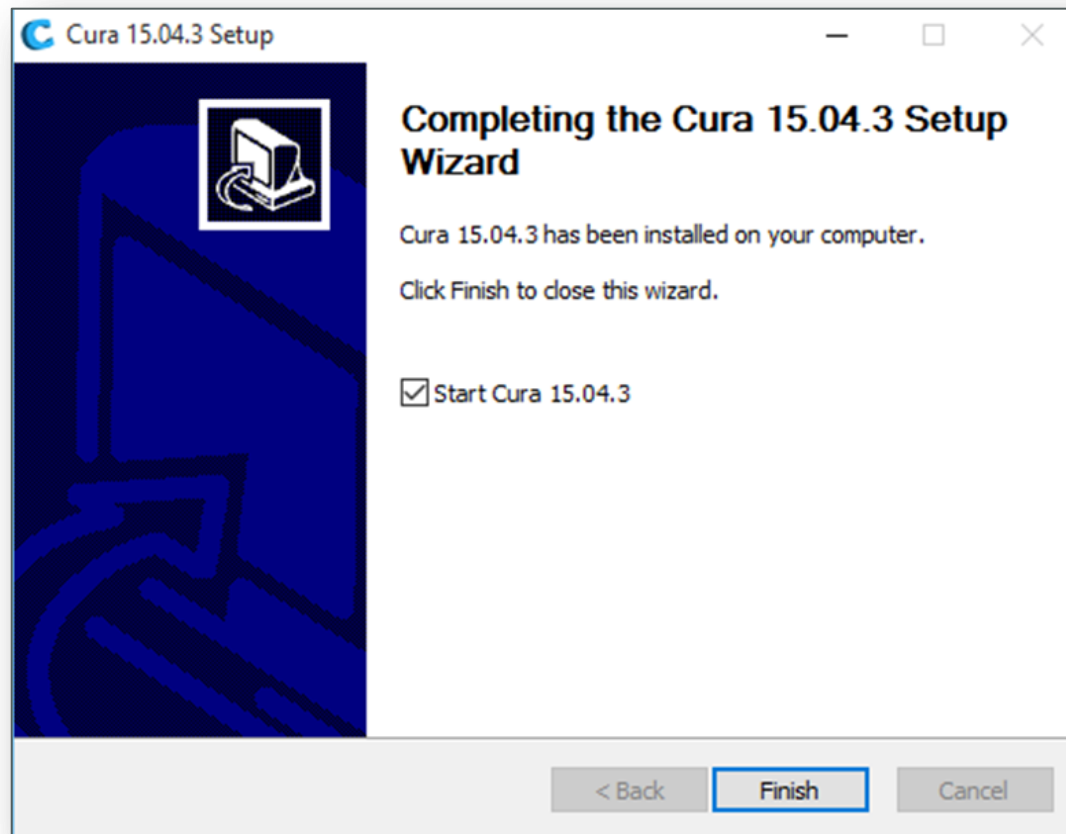
Почнеться встановлення програми Cura у вказане місце на комп'ютері. Необхідно дочекатися закінчення інсталяції.



Програма CURA

Зміст

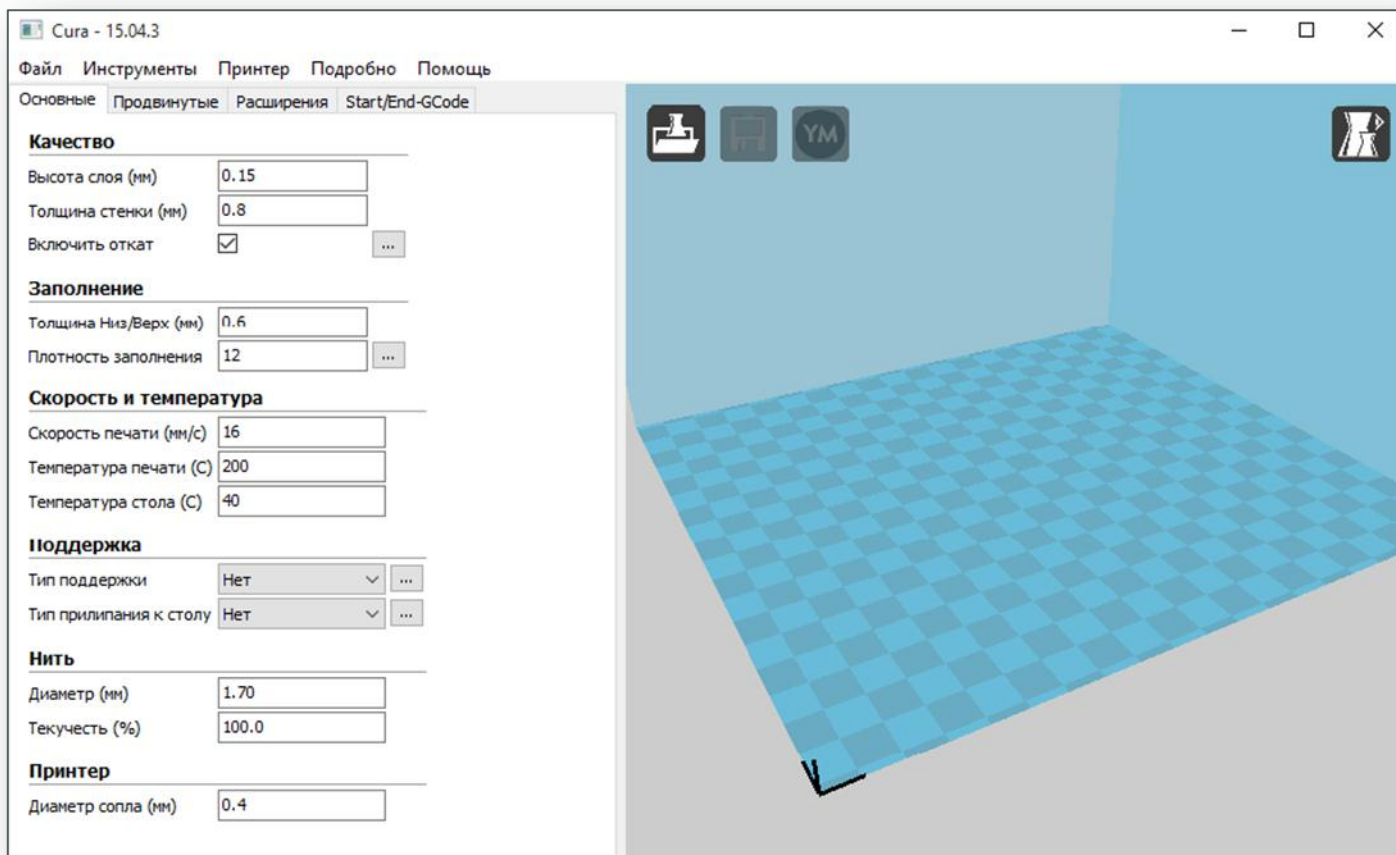
Натиснути кнопку Завершити (**Finish**) для закінчення установки.



Програма CURA

Зміст

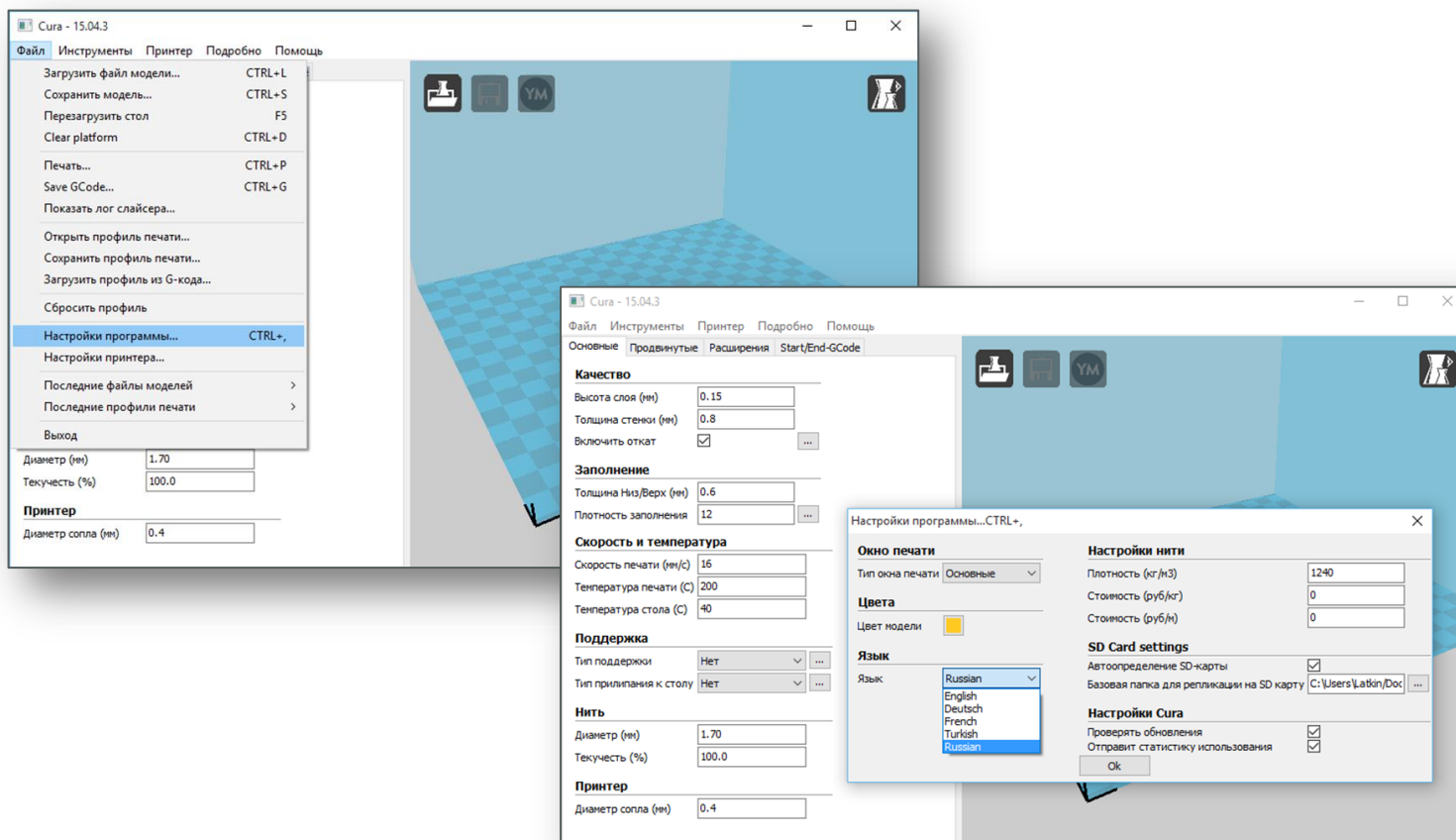
Завантажитися екран додатка **Cura** з усіма показаними нижче опціями:



Налаштування програми CURA

Зміст

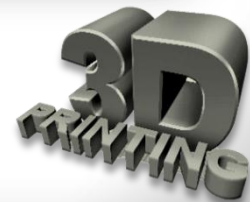
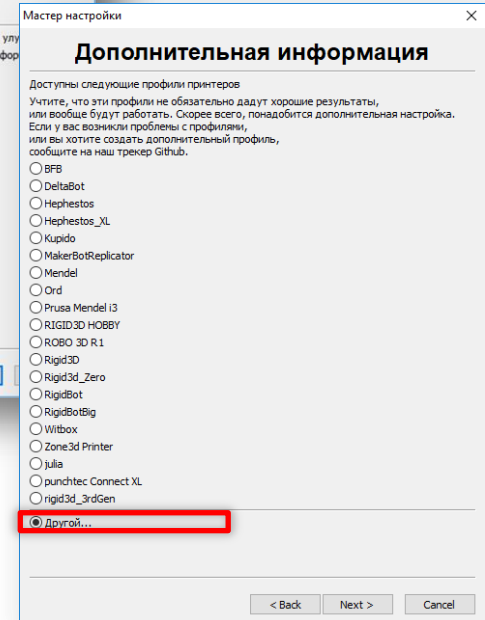
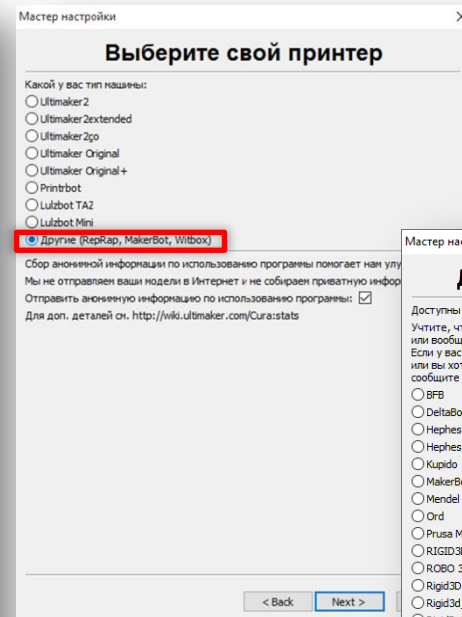
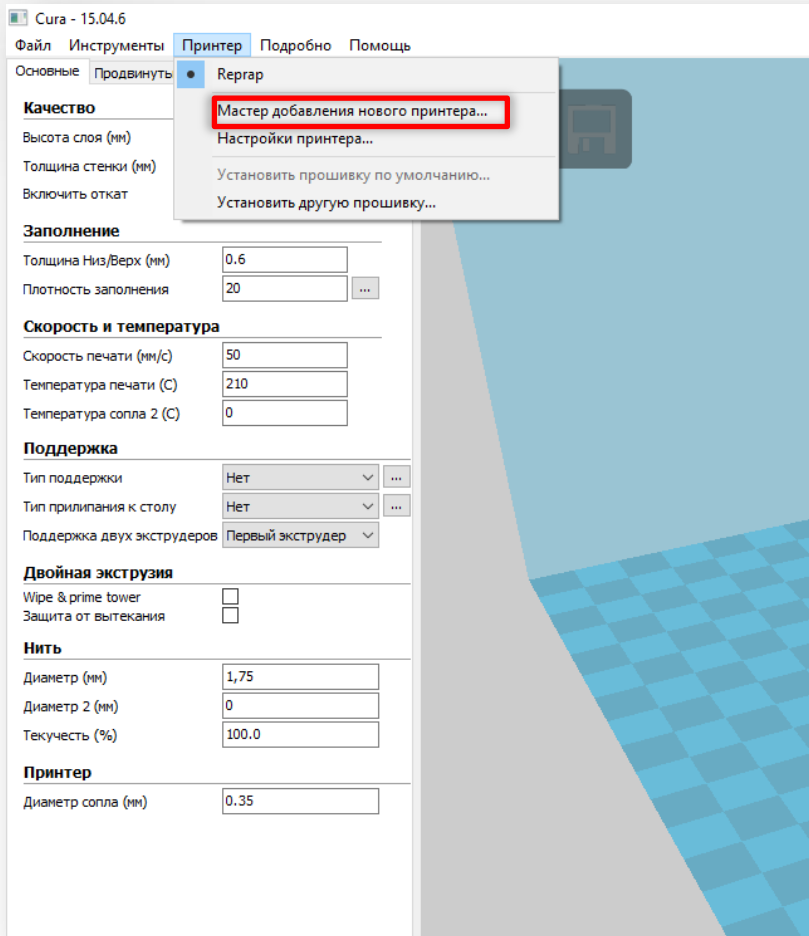
Якщо з будь-яких причин встановилася програма англійською мовою, треба перейти в розділ Файл (**File**) - Налаштування програми (**Program settings**), змінити мову на **Russian** або іншу і перезавантажити програму.



Налаштування програми CURA

Зміст

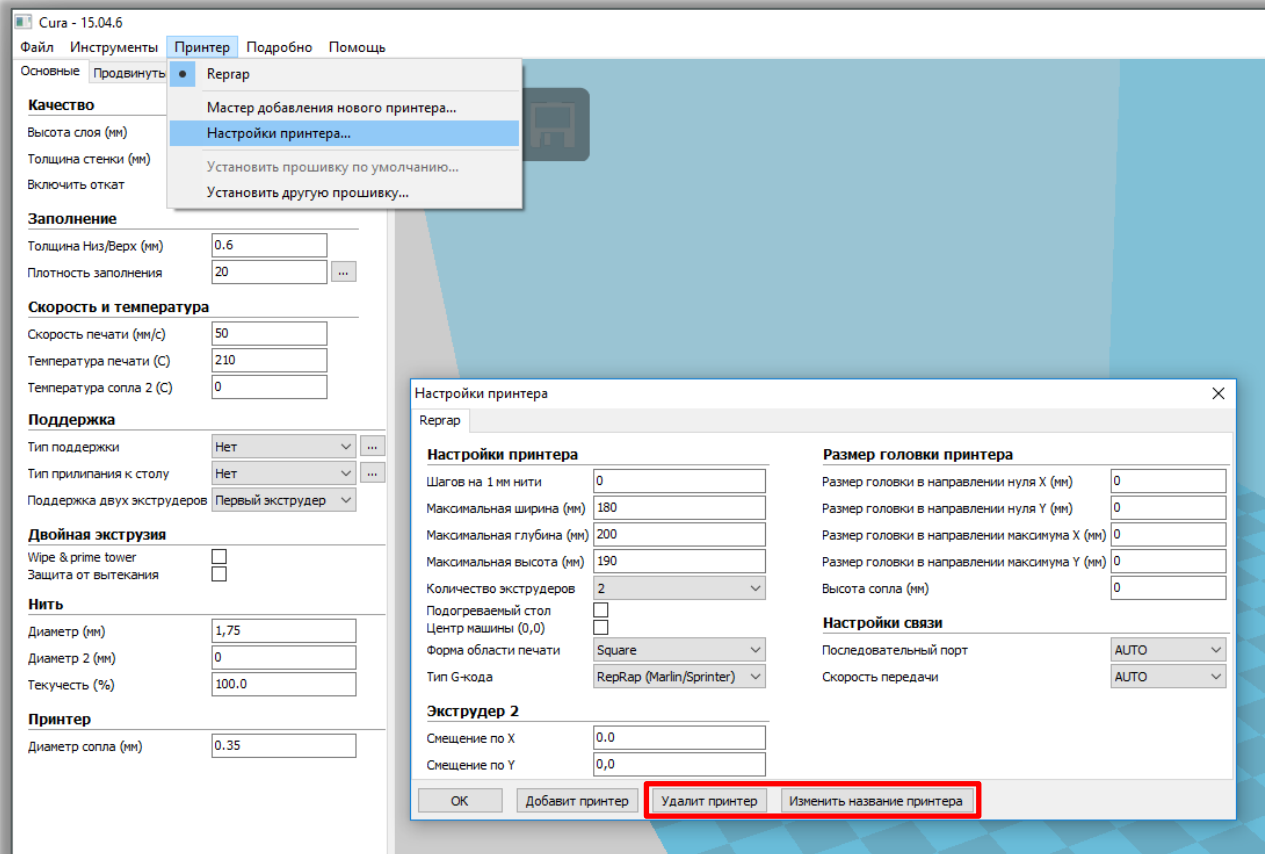
Перед початком друку необхідно перейти до вкладки **Принтер** та у меню, що випадає, обрати **Мастер добавления нового принтера**.



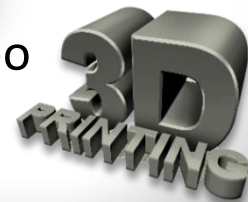
Налаштування програми CURA

Зміст

Після додавання профіля принтера знову перейдіть у розділ **Принтер - Налаштування принтера**, щоб відкоригувати розмір області друку відповідно до специфікації принтера:



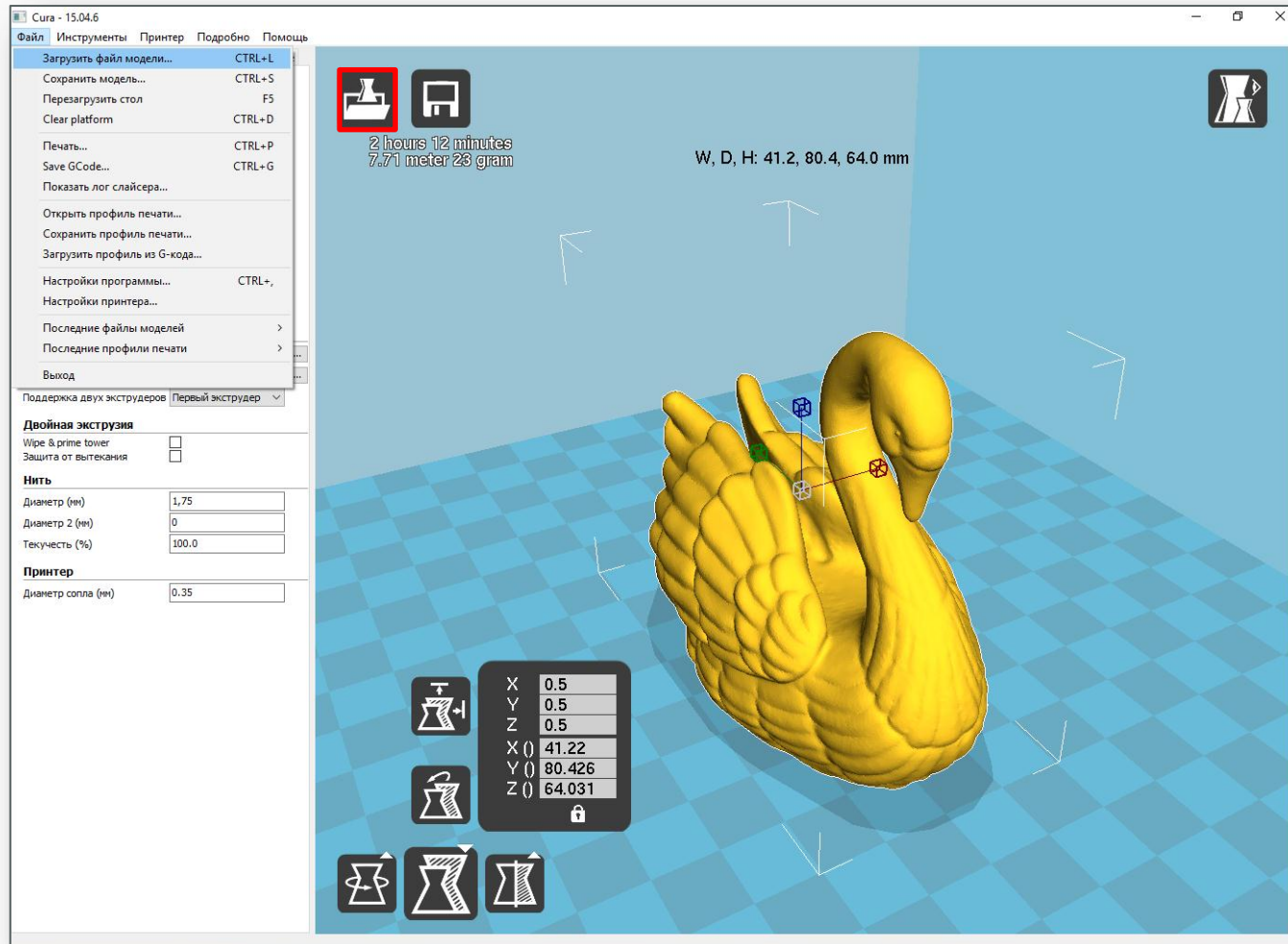
У цьому розділі можна видалити профіль принтера або перейменувати.



Робота з програмою CURA

Зміст

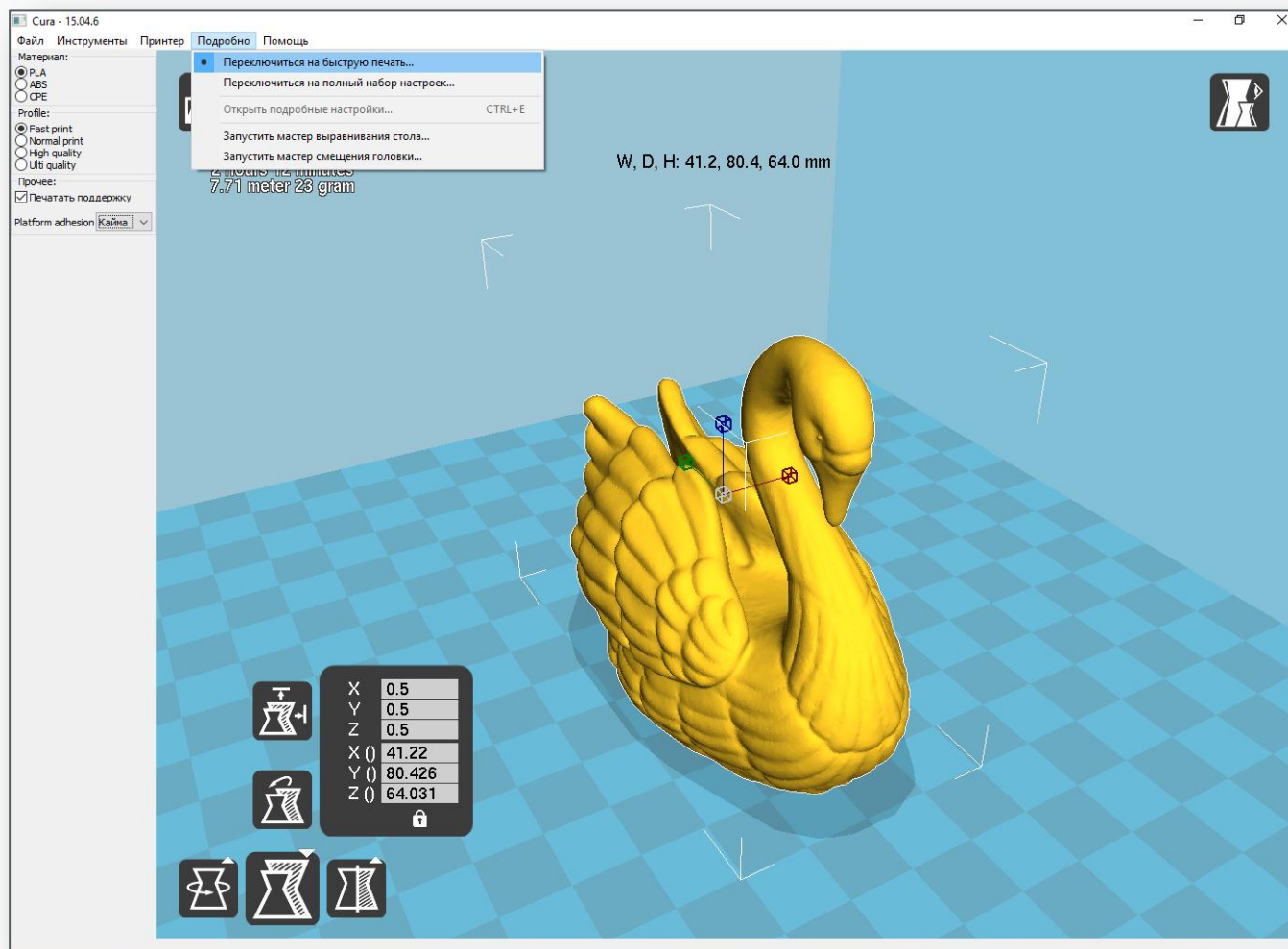
Завантажити об'єкт за допомогою кнопки **Загрузка файла (Load File)** або з меню **Файл – Загрузить файл модели**.



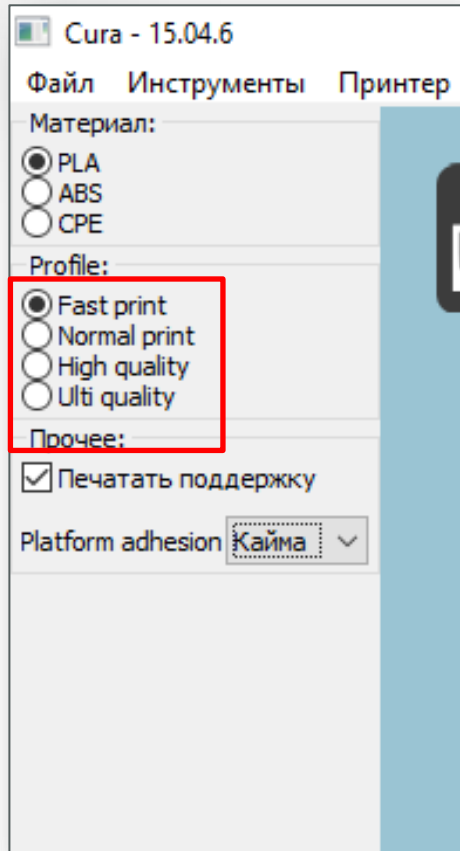
Робота з програмою CURA

Зміст

Перейти на вкладку **Подробно** – Переключиться на быструю печать.



Вибір налаштувань якості друку



Висока якість друку (High quality print)

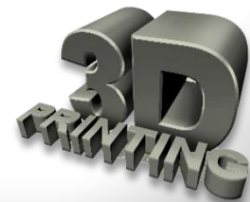
Налаштування високої якості друку підходять для передачі більшої детальності моделям. Має найменшу висоту шару, що робить переходи між шарами менш помітними. Загальний час друку збільшується, оскільки друкований об'єкт потребуватиме більшої кількості шарів.

Середня якість друку (Normal quality print)

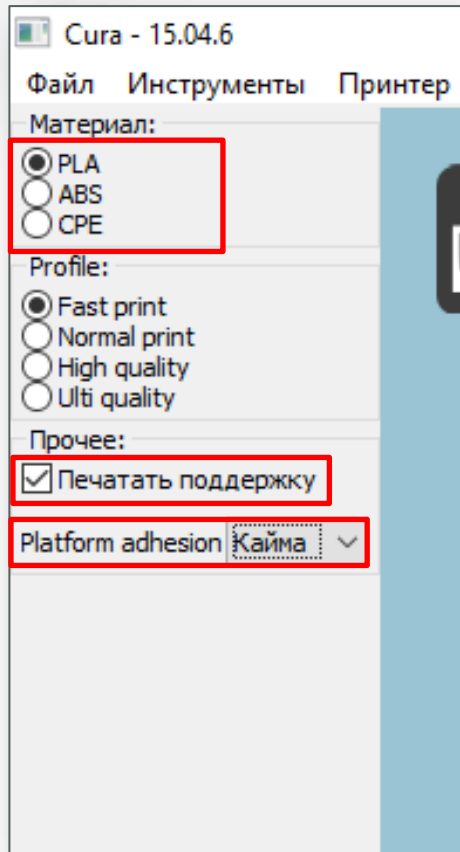
Налаштування середньої якості друку розроблені для деталей з середнім рівнем деталізації. Такі налаштування роблять переходи між шарами більше ступінчастими, ніж при високій якості друку, але при цьому час друку скорочується.

Швидкий друк (Fast low quality print)

Налаштування швидкого друку рекомендується використовувати для друку деталей простої форми.



Вибір налаштувань якості друку



Вибір матеріалу (Material)

Оберіть пластик, який ви хочете використати. На даний час більшість принтерів використовують пластик діаметром 1,75 мм.

Шари підтримки (Print support structure)

Принтер може друкувати моделі з елементами, що нависають в повітрі, без підтримки (залежно від розмірів цих елементів). Обрати опцію **Print support structure**, якщо друкована модель має велику кількість елементів, що нависають, і для її друку використання підтримки дасть кращий результат.

Кайма (Brim)

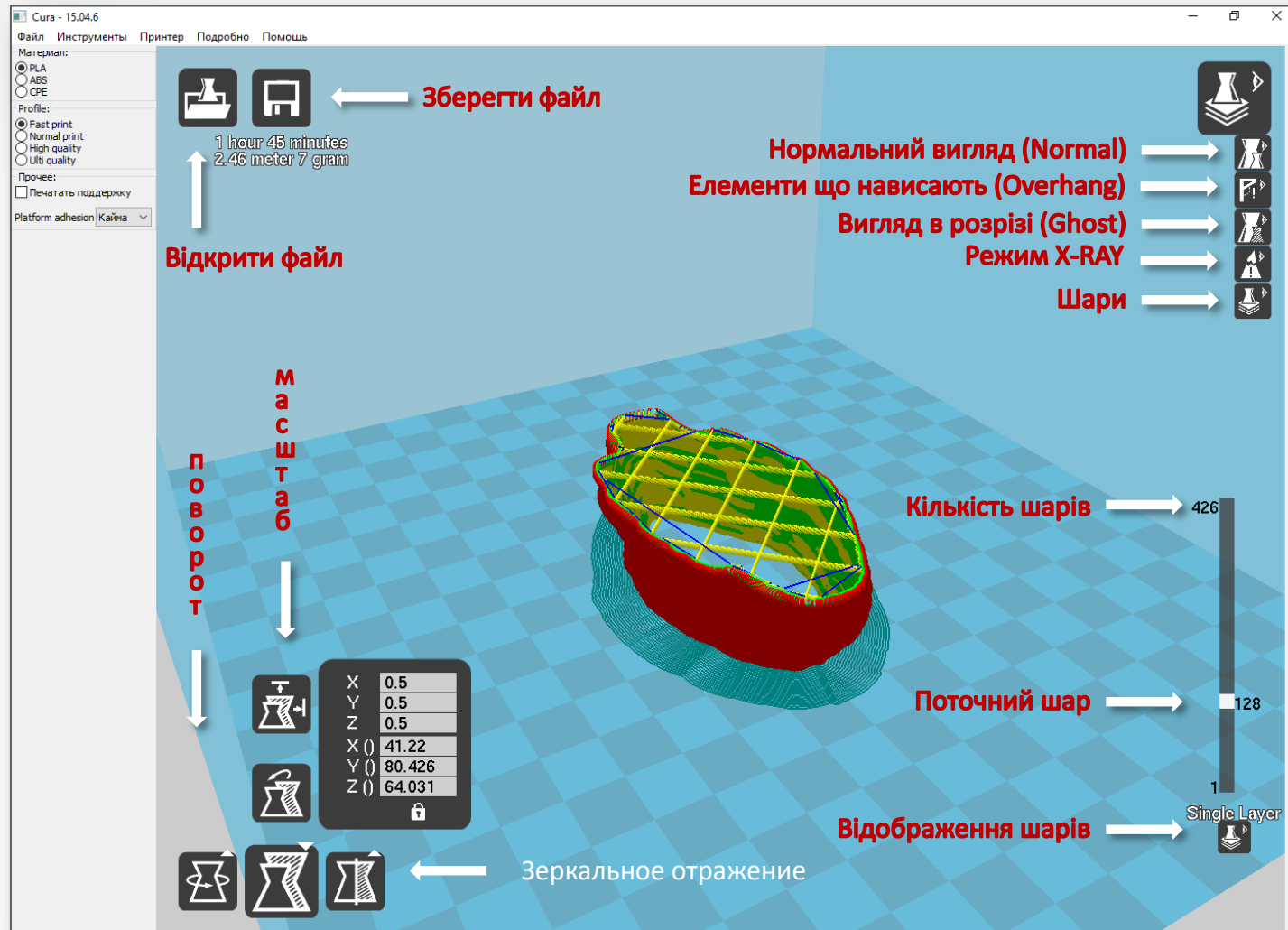
Використайте опцію **Brim**, якщо необхідно збільшити площу поверхні ділянки друку, таким чином забезпечуючи краще зчеплення друкованої моделі з платформою, на якій відбувається друк.



Інтерфейс програми CURA

Зміст

Для перегляду різноманітних опцій об'єкт має бути виділено



Інтерфейс програми CURA

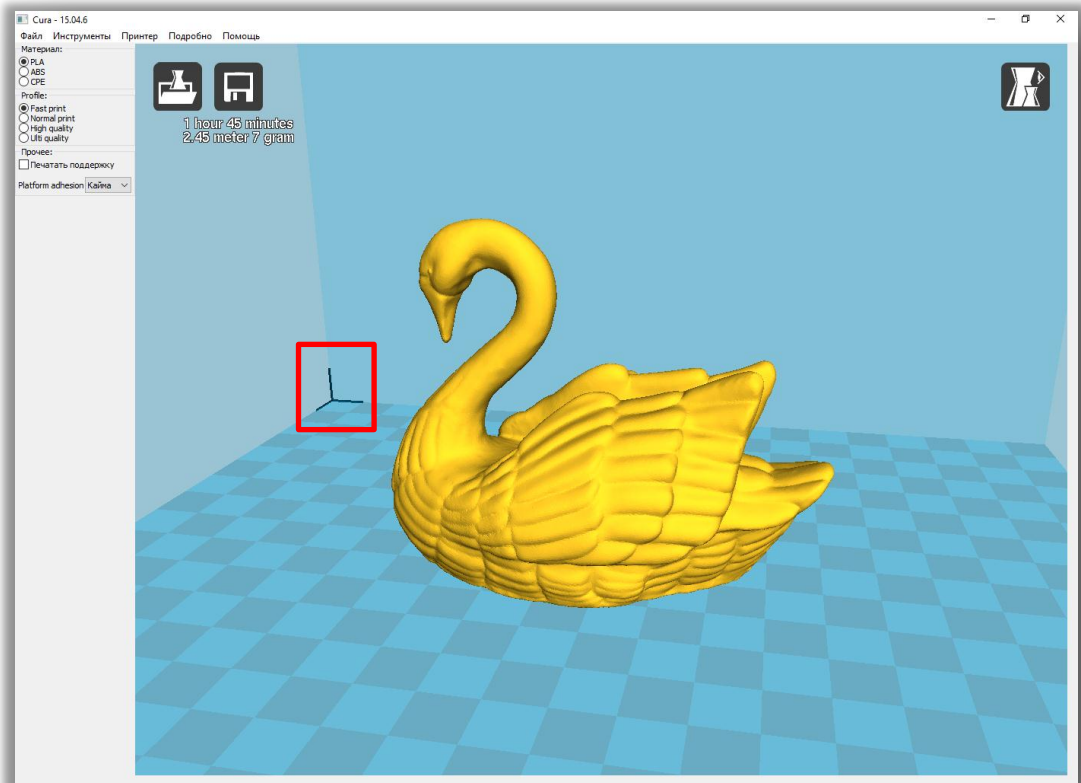
Зміст

Для перегляду різноманітних опцій об'єкт має бути виділено

Положення моделі (Model orientation)

Натисніть лівою кнопкою миші на модель і перетягніть її на бажане розташування.

Виділений чорним кольором кут є лівим кутом робочої платформи вашого принтера. Для перегляду моделі з різних кутів натисніть на праву кнопку миші і переміщайте курсор, утримуючи кнопку.



Інтерфейс програми CURA

Зміст

Для перегляду різноманітних опцій об'єкт має бути виділено

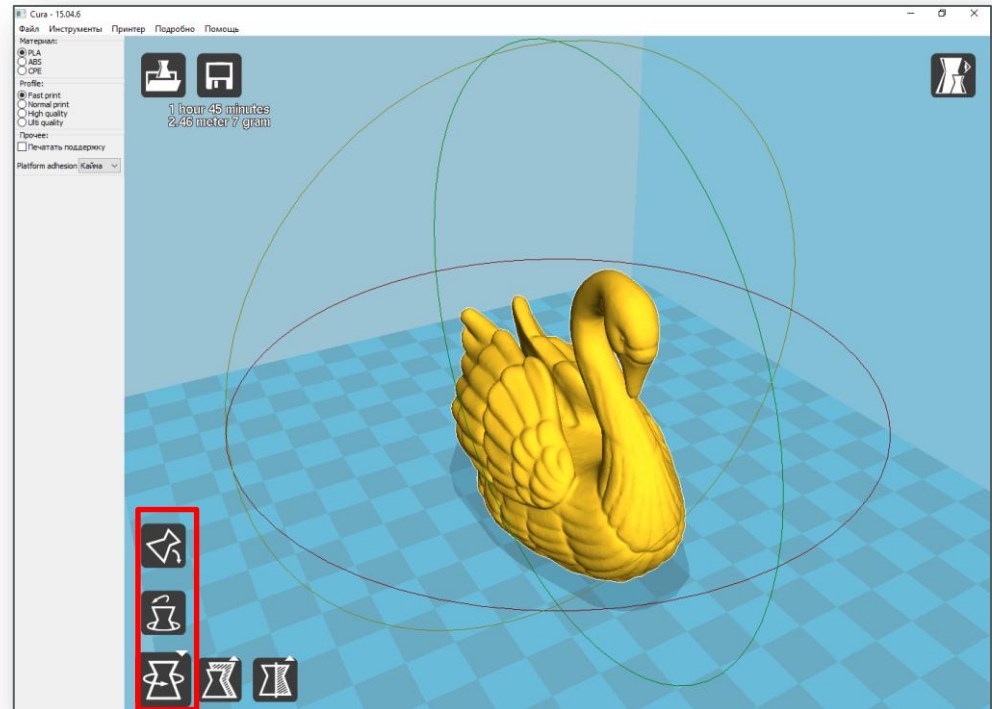
Обертання (Rotate)

Дає можливість розташувати модель в усіх трьох координатних осях. При натисненні на кнопку **Обертання (Rotate)** навколо моделі з'являться три кола.

Червоне коло — модель обертається навколо осі **Z**.

Жовте коло — модель обертається навколо осі **Y**.

Зелене коло — модель обертається навколо осі **X**.



Інтерфейс програми CURA

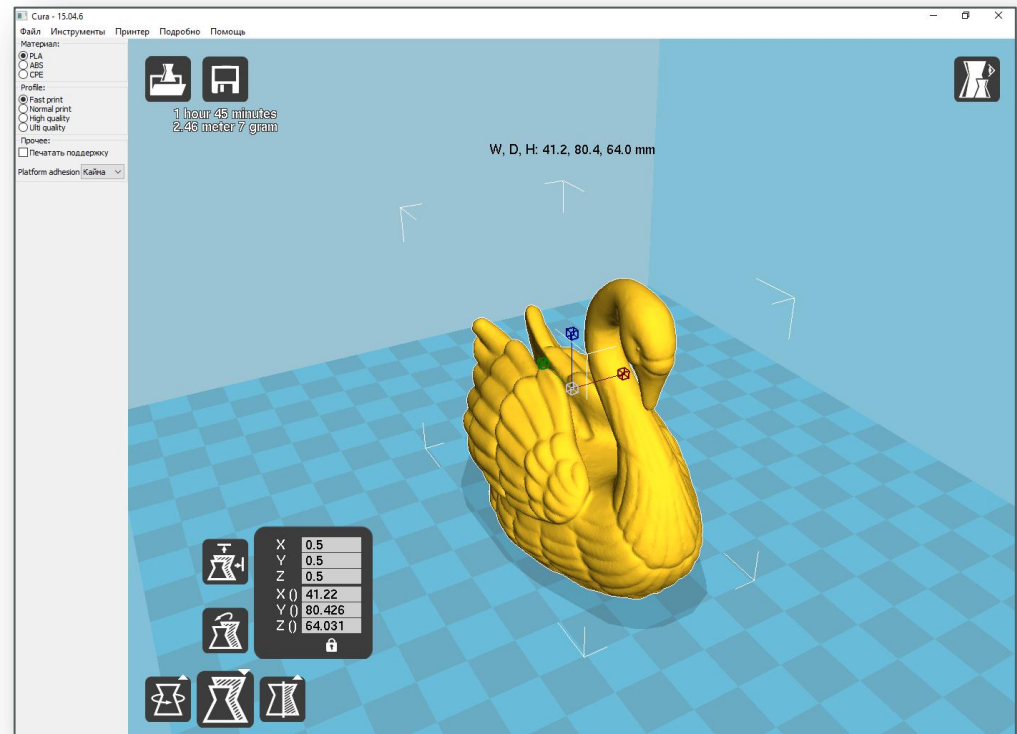
Зміст

Для перегляду різноманітних опцій об'єкт має бути виділено

Масштаб (Scale)

Відображає габарити моделі з можливістю зміни масштабу в осях X, Y, Z. Значення менше 1.0 зменшує розмір об'єктів, більше 1.0 збільшує розмір об'єктів.

За замовчуванням встановлюється початковий розмір об'єкта. Символ Замок в нижній частині вікна масштабування при зміні розмірів однієї з осей дозволяє автоматично змінювати розміри по інших осях.



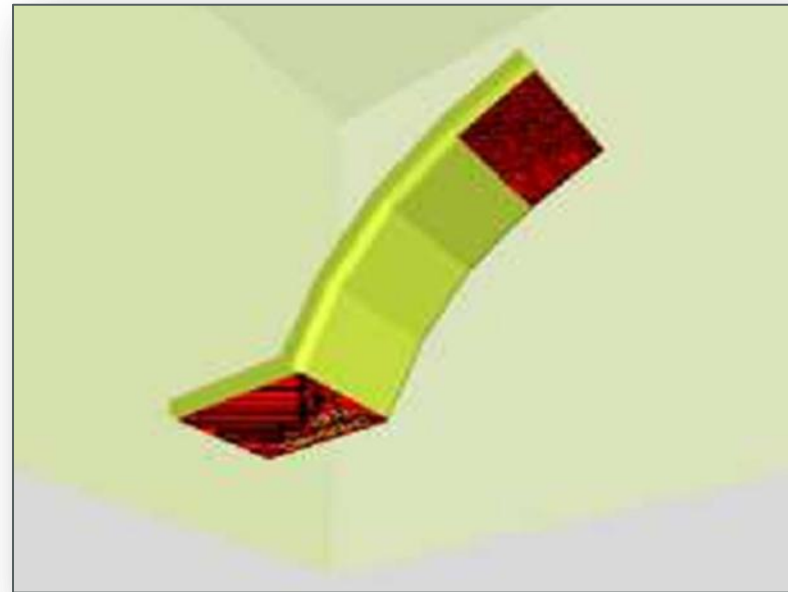
Інтерфейс програми CURA

Зміст

Для перегляду різноманітних опцій об'єкт має бути виділено

Елементи, що нависають (Overhang) 

Режим **Overhang** відображає ділянки деталі, для яких необхідно застосувати підтримувальний матеріал. Виділені червоним кольором області показують виступи, неправильні кути і частини, для яких потрібна підтримка.



Інтерфейс програми CURA

Зміст

Для перегляду різноманітних опцій об'єкт має бути виділено

Вигляд у розрізі (Ghost)

Опція **Ghost** надає моделі напівпрозорості, завдяки якій можна побачити, що знаходиться за зовнішнім шаром.

Режим X-RAY

Опція **X-RAY** (Рентген) допоможе оцінити внутрішню структуру моделі.

Шари

Ця опція використовується для огляду траєкторії руху друкувальної голівки і для перевірки відсутності пропущених шарів і порожнеч. Користуйтеся планкою, розташованою справа у вікні, для руху вгору і вниз по траєкторії переміщення шарів.



Запитання для самоконтролю

1. Які є програми-слайсери? Для чого вони потрібні?
2. Що таке gcode?
3. Опишіть порядок встановлення програми Cura?
4. Як налаштувати програму Cura для роботи з 3D-об'єктами?
5. Опишіть інтерфейс програми Cura.
6. Як виконати поворот 3D-об'єкта в програмі Cura?
7. Як налаштувати розміри 3D-об'єкта в програмі Cura?
8. Як зберегти файл gcode з 3D-об'єктом для друку?
9. Які налаштування 3D-об'єкта можна виконати в програмі Cura?
10. Як відобразити ділянки 3D-об'єкта, які потребують підтримки?



Дефекти 3D-друку

При створенні тривимірних об'єктів виникають різні проблеми, вирішувати які доводиться своїми силами.

Основні дефекти 3D-друку:

- ☐ Деформація - Відклеювання першого шару
- ☐ Зміщення першого шару (Слоняча нога)
- ☐ Зміщення шарів в моделі
- ☐ Відсутні шари
- ☐ Тріщини у високих об'єктах
- ☐ Дірки на верхньому шарі
- ☐ Волоски, павутина
- ☐ Недостатнє або надмірне екструдкування
- ☐ Зміщення шарів
- ☐ Засмічення сопла
- ☐ Крихкість пластика
- ☐ Сточування пластика (філаменту)
- ☐ Погане заповнення
- ☐ Просвічування внутрішньої структури
- ☐ Щілини між наповненням і стінками
- ☐ Перекіс моделі і т. д.



Деформація - Відклеювання першого шару

Опис проблеми

В основі моделі перший шар вигинається і не прилипає до платформи. Ця проблема також може спровокувати горизонтальні тріщини у верхніх секціях роздруку.

Чому виникла проблема?

Деформація основи першого шару відбувається через особливості пластика ABS і PLA. Пластик охолоджується дуже швидко і саме це може призвести до відлипання першого шару.

Рішення

- ☐ Використати платформу з підігрівом
- ☐ Використати клей (лак) для більшого зчеплення
- ☐ Замість скляної платформи використати картон, термоскотч, клей, лак
- ☐ Відкалібрувати платформу
- ☐ Додати край або підложку
- ☐ Відрегулювати налаштування температури і вентилятора



Дефекти 3D-друку

Зміщення першого шару (Слоняча нога)

Опис проблеми

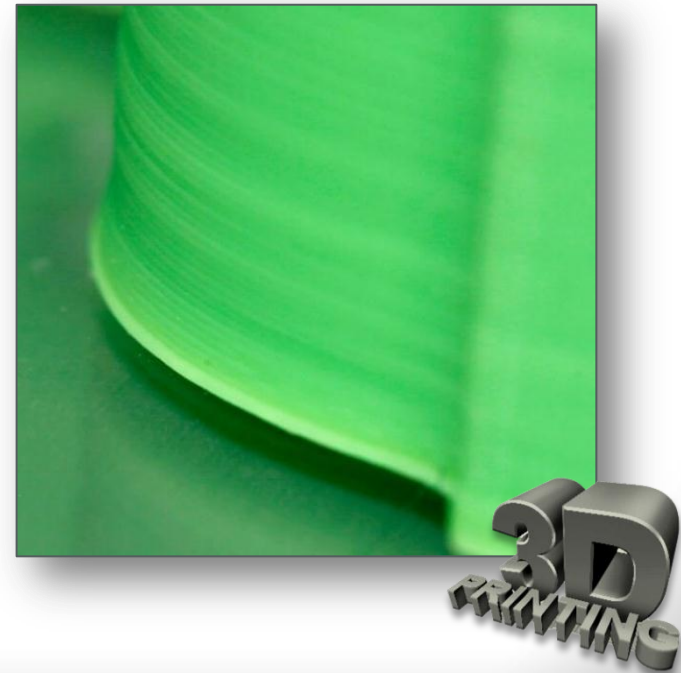
Основа моделі трохи зміщена.

Чому виникла проблема?

Як правило, основа моделі зміщується через вагу роздруку, яка тисне на перший шар, коли нижні шари ще не встигли вистигнути. Часто трапляється з принтерами з платформою, що підігрівається.

Рішення

- ☐ Збалансувати температуру платформи та швидкість вентилятора.
- ☐ Підняти платформу принтера
- ☐ Перевірити висоту сопла
- ☐ Зробити кути моделі більш плавними



Дефекти 3D-друку

Зміст

Інші проблеми з першим шаром

Опис проблеми

Перший шар виглядає неправильно, деякі фрагменти відсутні. Знизу є непотрібні лінії.

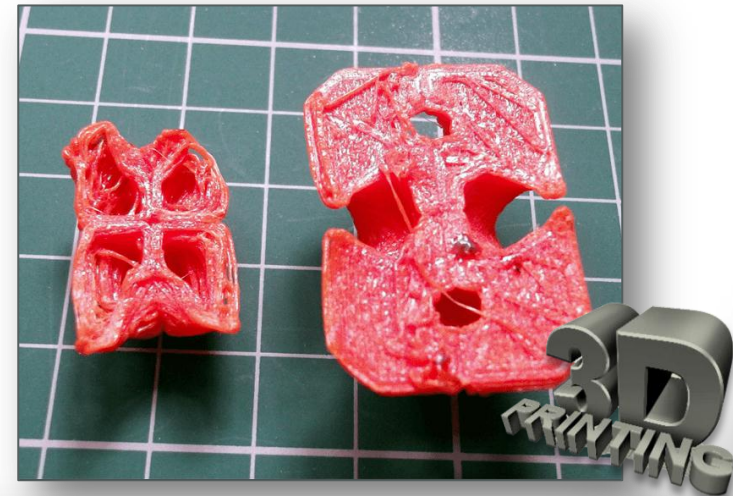
Чому виникла проблема?

Можливо, рівень платформи не був правильно встановлений. Якщо сопло знаходиться занадто далеко від платформи, внизу роздруку часто з'являються непотрібні лінії або перший шар не прилипає. Якщо ж сопло знаходиться занадто близько до платформи, це може спровокувати те, що пластик пузириться. Також варто звернути увагу на те, що платформа має бути чистою. Відбитки пальців на платформі можуть привести до того, що перший шар не приставатиме до платформи.

Рішення

- ☐ Перевірити рівень платформи
- ☐ Перевірити висоту сопла
- ☐ Очистити платформу
- ☐ Використати клей
- ☐ Використати текстуровані підкладки для холодних платформ

Основи 3D-друку



Дефекти 3D-друку

Зміст

Зміщення шарів моделі

Опис проблеми

Шари зміщуються в середині роздруку.

Чому виникла проблема?

Ремені принтера не досить туго закріплені. Верхня пластина не закріплена і рухається незалежно від нижньої пластини. Один із стержнів в осі Z не ідеально рівний.

Рішення

- ☐ Перевірити натяг ременів
- ☐ Перевірити, чи не рухається верхня кришка
- ☐ Переконаватися, що шпильки по осі Z рівні



Дефекти 3D-друку

Відсутні шари

Опис проблеми

Деякі шари відсутні (частково або повністю). Принтер не зміг зробити необхідну кількість пластика для друку відсутніх шарів. Ця проблема також відома як недостатнє екструдування.

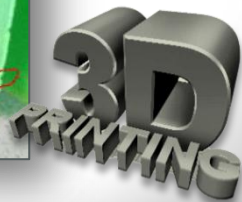
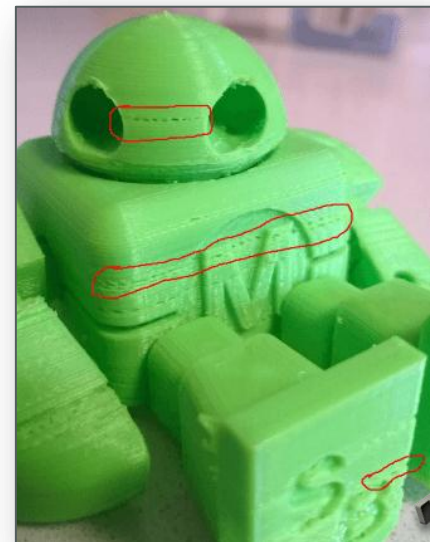
Чому виникла проблема?

Причиною проблеми може бути сам пластик, наприклад, різний діаметр матеріалу в котушці, в механізмі подачі або в забитому соплі. Тертя може спровокувати застрягання пластика. Гвинти (шпильки) по осі Z неправильно вирівняні лінійними підшипниками.

Можлива проблема з самими підшипниками.

Рішення

- ☐ Перевірити механізм принтера, переконатися, що рухливі елементи туго закріплені
- ☐ Перевірити ще раз конструкцію принтера і вирівнювання
- ☐ Перевірити, чи немає зношених підшипників і погнутих шпильок
- ☐ Змастити деталі



Тріщини у високих об'єктах

Опис проблеми

Тріщини по боках моделі, частіше за все у високих моделях.

Чому виникла проблема?

Проблема може виникнути несподівано, і частіше за все у великих принтерах, особливо, якщо ви не слідкуєте за їх роботою.

На верхніх шарах матеріал охолоджується швидше, оскільки тепло від платформи не досягає необхідної висоти. Через це адгезія верхніх шарів нижча.

Рішення

- ☐ Перевірте максимально можливий нагрів екструдера і підвищуйте поточну температуру на 10C за одну спробу.
- ☐ Перевірте напрям і швидкість охолоджувальних вентиляторів.



Дефекти 3D-друку

Зміст

Дірки на верхньому шарі

Опис проблеми

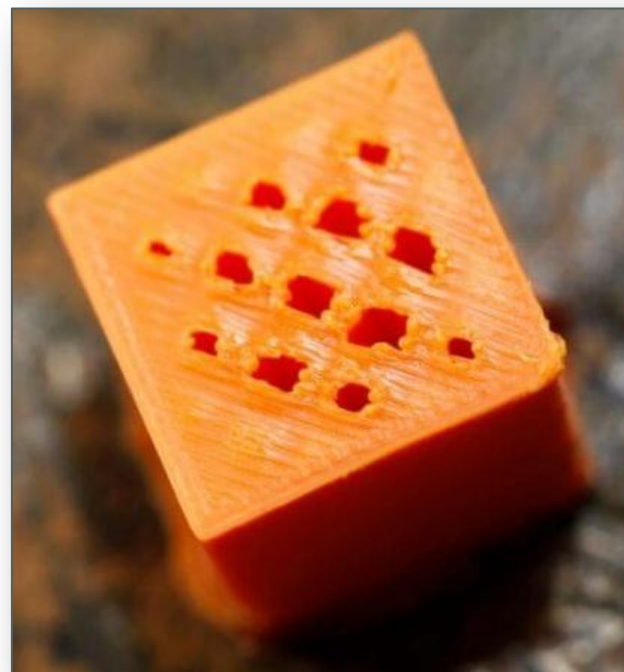
Діри і щілини на верхній поверхні роздруку.

Чому виникла проблема?

Дві найбільш поширені причини цієї проблеми - неправильне охолодження верхнього шару і недостатньо товстий верхній шар.

Рішення

- ☐ Використати пластик більшого діаметру
- ☐ Переконатися, що напрям і швидкість вентиляторів правильні
- ☐ Вручну встановити швидкість вентиляторів
- ☐ Збільшити товщину верхнього шару



Волоски, павутина

Опис проблеми

При друці утворюються «павутини» або «волоски» між елементами моделі.

Чому виникла проблема?

Коли голівка принтера переміщається по відкритій поверхні (без екструдуння), тобто переходить з одного об'єкту на інший, пластик стікає з сопла.

Рішення

- ☐ Включити втягування (відкат/**retract**).
- ☐ Налаштувати мінімальну дистанцію перед втягуванням
- ☐ Обрізати павутину скальпелем



Недостатнє екструдування

Опис проблеми

Недостатнє екструдування виникає, коли екструдер не може вичавлювати достатньо матеріалу (чи не може робити це досить швидко).

Чому виникла проблема?

Діаметр нитки може не відповідати діаметру, встановленому в слайсері. Також, кількість екструдованого матеріалу може бути нижча через неправильно налагоджену прошивку. Сопло може бути засмічене і це провокуватиме недостатнє екструдування.

Рішення

- ☐ Уточнити діаметр пластика.
- ☐ Використати штангенциркуль, щоб перевірити ще раз діаметр пластика.
- ☐ Перевірити, чи чисте сопло.
- ☐ Збільшити коефіцієнт екструдування на 5% за раз.



Дефекти 3D-друку

Зміст

Надмірне екструдування

Опис проблеми

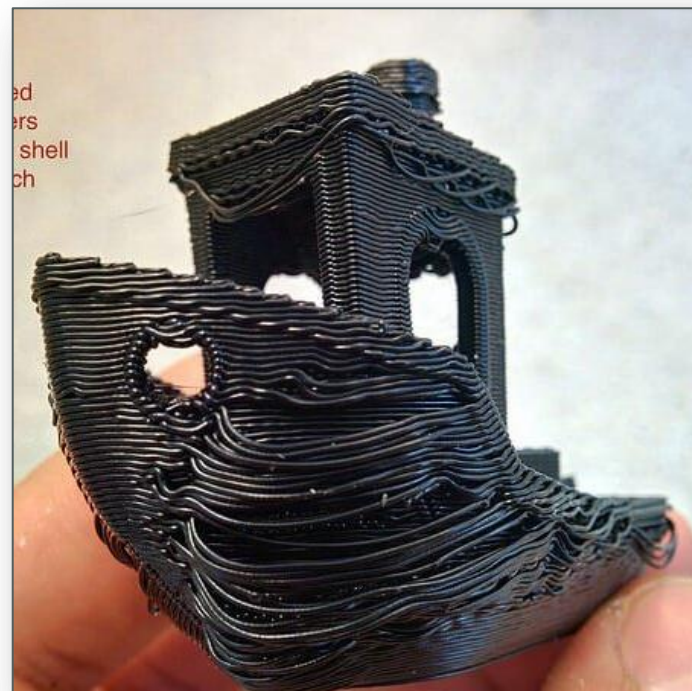
На роздруку є надлишки пластика.

Чому виникла проблема?

Принтер поставляє більше матеріалу, ніж необхідно.

Рішення

- ☐ Перевірити, чи правильно встановлений коефіцієнт екструдування
- ☐ Зменшити налаштування **flow** (поток) пластика в налаштуваннях програмного забезпечення принтера.



Дефекти 3D-друку

Зміст

Зміщення шарів

Опис проблеми

Верхній і нижній шари зміщуються, створюючи ефект сходинки в роздруку.

Чому виникла проблема?

Причин зміщення шарів можна бути багато - поштовх принтера під час друку може це спровокувати, погнуті або неправильно вирівняні шпильки, сопло, яке зачіпає роздрук і рухає його на платформі.

Рішення

- ☐ Принтер повинен стояти на стійкій поверхні.
- ☐ Платформа надійно закріплена.
- ☐ Зменшити швидкість обдування вентиляторів.
- ☐ Швидкість друку може бути занадто високою для принтера.
- ☐ Перевірити ремені.
- ☐ Перевірити шків.
- ☐ Почистити і змастити шпильки.
- ☐ Погнуті або зміщені шпильки.



Засмітилось сопло

Опис проблеми

З сопла нічого не виходить. Перезавантаження нитки не допомагає.

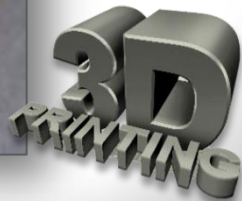
Чому виникла проблема?

Невеликі шматочки нитки застрягли в соплі після зміни котушки, часто трапляється, коли нитка обривається. Коли нова нитка заправлена, шматочки старого пластика, які залишилися в соплі, не дозволяють новій нитці видавлюватися. Також, проблема може бути в тому, що пластик застиг в соплі і його потрібно прибрати вручну. Серед інших причин: інженерні пластики, старий або дешевий пластик і т.д.

Рішення

- ☐ Прогрійте сопло і прочистіть його голкою.
- ☐ Зніміть тефлонову трубку і спробуйте проштовхнути залишки пластика новим пластиком.
- ☐ Розберіть друкарську голівку і подивіться, чи можете ви вручну прибрати засмічення.

Основи 3D-друку



Ламкий пластик

Опис проблеми

Котушка пластика ще повна, подання пластика в тефлонову трубу нормальне, але нічого не виходить з сопла. Ця проблема часто зустрічається з принтерами, де пряме подання пластика приховане і не завжди можна помітити.

Чому виникла проблема?

Старий або дешевий пластик. Більшість пластиків, таких як PLA і ABS, не можна використовувати довго, він стає крихким. Іноді нитка занадто натягнута в катушці, через що вона може рватися під час друку.

- ☒ Перевірити, що пластик не зіпсувався.
- ☐ Перевірити діаметр пластика.
- ☐ Відрегулювати шків, що подає пластик до екструдера.
- ☐ Впевнитись, що друкарська голівка чиста і правильно нагріта.
- ☐ Встановити швидкість подачі до 100%.



Дефекти 3D-друку

Сточування пластику

Опис проблеми

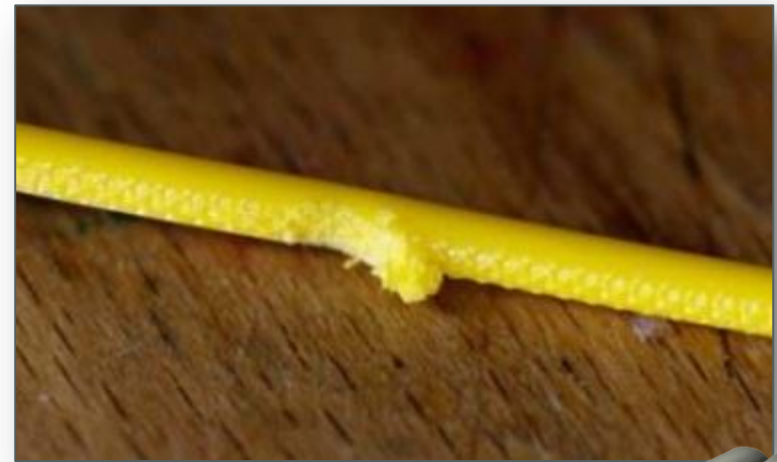
Сточування нитки на будь-якому етапі друку і з будь-яким пластиком. В результаті друкарська голівка не екструдує пластик і перериває друк.

Чому виникла проблема?

Причин цієї проблеми багато, але їх легко виправити (неправильна температура, ослаблена напруга, забруднення сопла). В результаті таких проблем екструдер не може правильно виділяти нитку.

Рішення

- ☐ Допомогти екструдеру прошовхнути нитку.
- ☐ Відрегулювати напругу шківів, що подає пластик.
- ☐ Перезаправити пластик.
- ☐ Перевірити температуру друкувальної голівки.



Дефекти 3D-друку

Погане заповнення

Опис проблеми

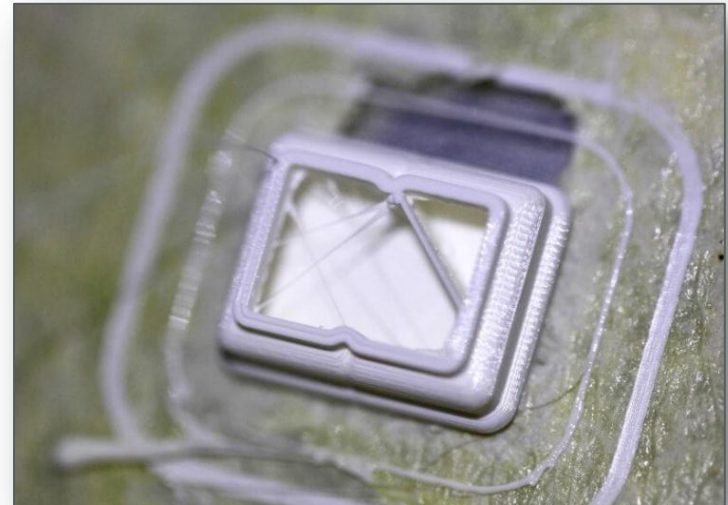
Внутрішня структура моделі відсутня або погано продрукована.

Чому виникла проблема?

Є багато причин, які призводять до того, що внутрішня структура моделі не друкується. Одна з найбільш поширених - неправильні налаштування слайсера. Також причина може бути в засміченому соплі.

Рішення

- ☐ Перевірити і відрегулювати щільність заповнення.
- ☐ Зменшити швидкість заповнення.
- ☐ Спробувати інші варіанти заповнення.
- ☐ Перевірити, чи чисте сопло.



Дефекти 3D-друку

Просвічування внутрішньої структури

Опис проблеми

Підсумковий роздрук виглядає добре, але контури внутрішньої структури видно крізь стінки роздруку.

Чому виникла проблема?

Обрана неправильна товщина стінки по відношенню до розмірів використовуваного сопла. У нормальних умовах, співвідношення розміру сопла і стінок має бути прямо пропорційним. Для сопла діаметром 0.4mm, товщина стінок має бути кратна цьому значенню - 0.4, 0.8, 0.12 і так далі

Рішення

- ☐ Перевірте товщину стінок моделі.
- ☐ Збільшить товщину стінок моделі.
- ☐ Друкуйте наповнювач після друку периметру.
- ☐ Перевірте калібрування платформи і у разі потреби відкалібруйте наново.



Щілини між наповненням і стінками

Опис проблеми

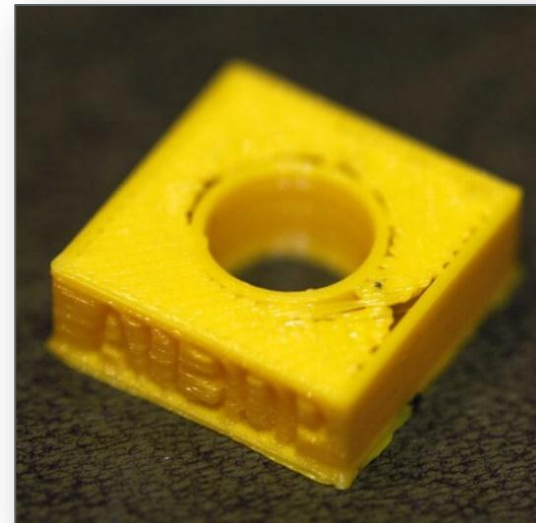
Якщо дивитися на роздруківку зверху чи знизу, видно щілини між наповненням і контурами роздруківки.

Чому виникла проблема?

Щілини з'являються через те, що пластик використовуваний для друку наповнення та контуру не зв'язується. Можливо, не встановлено параметр з'єднання заповнення або встановлений на 0. Це означає, що слайсер повідомляє принтеру, що ці два елементи не повинні стикатися. Або встановлений неправильний порядок друку контуру і заповнення.

Рішення

- ☐ Перевірити з'єднання заповнення.
- ☐ Спочатку друкувати заповнення, а потім контури.
- ☐ Збільшити температуру друкуючої головки.
- ☐ Знизити швидкість друку.



Дефекти 3D-друку

Зміст

Незв'язані грані (Non-Manifold Edges)

Опис проблеми

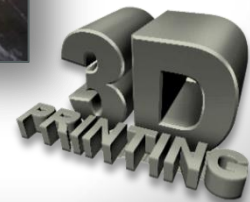
Якщо дивитися на роздрук згори або знизу, видно щілини між наповненням і контурами роздруку.

Чому виникла проблема?

Non-manifold edges це сторони моделі, які існують тільки в 3D-просторі, не у фізичному світі. Наприклад, якщо є два кубики у реальному світі, і їх перетин неможливий, оскільки дві тверді стінки перешкоджають перетину двох об'єктів.

Рішення

- ☐ Оновити слайсер до останньої версії
- ☐ Виправити параметр **Fix Horrible**
- ☐ Використати перегляд шарів, щоб виправити проблеми до старту друку.
- ☐ Використати **Blender** або **Netfabb**, щоб виправити проблеми.
- ☐ Сполучити об'єкти.



Дефекти 3D-друку

Зміст

Провисання моделі

Опис проблеми

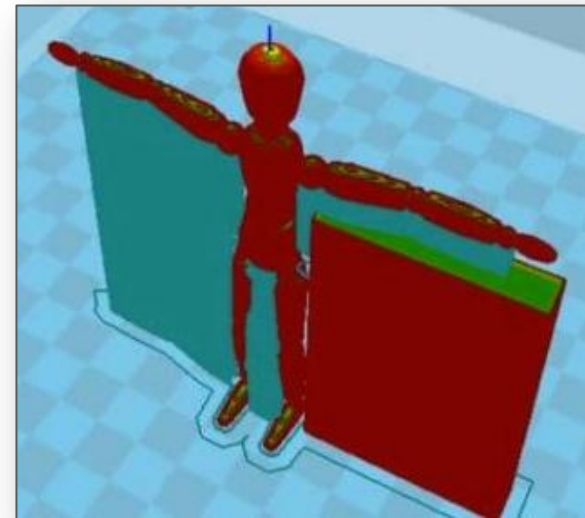
Деякі елементи моделі друкуються нормально, тоді як інші частини виглядають абсолютно потворно.

Чому виникла проблема?

Друк способом наплавлення ниток вимагає, щоб кожен шар був накладений на інший. Природно, якщо у моделі є елемент, під яким нічого немає, пластик буде екструдований в повітря, і все закінчиться тим, що він провисне або утворить незрозуміле місиво.

Рішення

- ☐ Додати підтримку.
- ☐ Додати підтримку в моделі.
- ☐ Створити підтримувальну платформу.
- ☐ Нахилити стінки.
- ☐ Розділити модель на декілька маленьких частин.



Дефекти 3D-друку

Перекіс моделі

Опис проблем

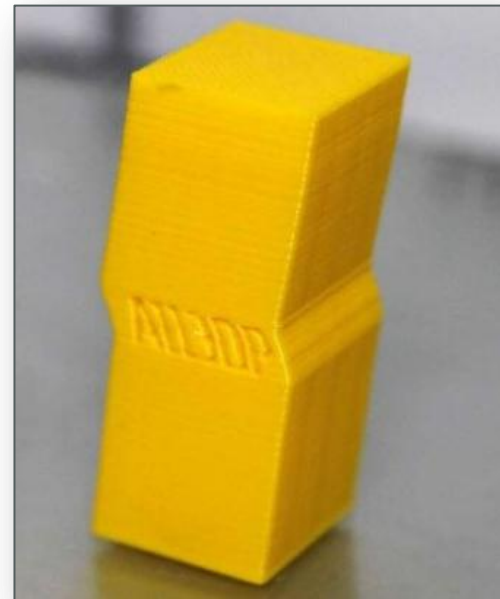
Під час друку об'єкт нахилиється. Замість того, щоб друкуватися рівно, верхні межі друкуються під кутом, але не по всьому периметру моделі. Кут нахилу може мінятися на різних шарах.

Чому виникла проблема?

Причина цієї проблеми дуже проста - один зі шківів, які кріпляться до крокового двигуна, хитається (ослаб) або один з ременів щось перетирає і перешкоджає повному руху голівки.

Рішення

- ☐ Перевірити осі X і Y.
- ☐ Перевірити, що ремені не перетерті
- ☐ Закрутити гвинт шківа крокового двигуна
- ☐ Перевірити і затягнути шпильки шківа.





Запитання для самоконтролю

1. Які є основні дефекти 3D-друку?
2. Як усунути дефект деформації першого шару?
3. Чому виникає дефект зміщення першого шару?
4. Як вирішити проблему появи дірок на верхньому шарі?
5. Які шляхи вирішення дефекту відсутності деяких шарів?
6. Як уникнути тріщин у високих об'єктах?
7. Чому виникає дефект появи волосків (павутини) на об'єкті?
8. Як вирішити проблему недостатнього екструдування?
9. Як усунути появу дефекту зміщення шарів об'єкта?
10. Що таке провисання моделі? Які причини виникнення даного дефекту?





Глосарій

- **3D-принтер** - це периферійний пристрій, що використовує метод пошарового створення фізичного об'єкта за цифрової 3D-моделі.
- **FDM** (*Fused deposition modeling*) - моделювання методом пошарового наплавлення (ММПН).
- **Gcode** (*G-код*) - умовна назва мови програмування (розмітки) пристроїв з числовим програмним управлінням (ЧПУ).
- **Адгезія** (від лат. *adhaesio* - прилипання) у фізиці - зчеплення поверхонь різнорідних твердих та/або рідких тіл.
- **Ацетонова (дихлорметанова, дихлоретанова) лазня** - метод постобробки об'єкта друку, в якому виріб поміщають в середовище насичених парів того чи іншого хімічного з'єднання для впливу на модель, після чого остання змінює свої властивості. Ацетонова лазня для ABS робить деталь гладкою, глянсовою. Дихлорметанова лазня для PLA перетворює його в подобу флексу/гуми.





Глосарій

- **Боуден-екструдер** («екструдер Боудена», *Bowden extruder*) – екструдер, у якому блок подачі філамента і сопло рознесені: холодний кінець жорстко закріплений на рамі 3D-принтера, а гарячий кінець знаходиться на рухомій голівці, що друкує. Філамент при цьому подається в сопло по довгій тefлоновій трубці. Використовується для друку жорсткими/пружними пластиками.
- **Брім** (*облямівка*) - спідниця навколо об'єкта друку, пов'язана з самим об'єктом, використовується для поліпшення адгезії об'єкта зі столом.
- **Гарячий кінець** (*hot-end*) - включає в себе в класичному розумінні сопло, нагрівальний блок, термобар'єр і радіатор екструдера. Саме в межах даного блоку відбувається розплав філамента та його формування наплавленням.
- **Гарячий стіл** (*hotbed*) - те ж саме, що і робочий стіл, тільки з функцією підігріву, що дозволяє зменшити викривлення наплавленої моделі за рахунок плавного зниження температури об'єкта. Так само покращує адгезію з об'єктом друку.





Глосарій

- **Гігроскопічність** (від др-грец. *ὕγρός* - вологий і *σκοπέω* - спостерігаю) - здатність деяких речовин поглинати водяні пари з повітря; здатність філамента набирати вологу з навколишнього середовища.
- **Деламінація** (*розшарування*) - термін запозичений з біології, що означає розщеплення клітини на два шари; у 3D-друку означає відклеювання деталі від стола, а також розщеплення самого об'єкта друку на шари.
- **Джус** (*ABS сік*) - розчин ABS в ацетоні з консистенцією, схожою на пряжене молоко, що використовується для поліпшення адгезії об'єкта друку зі столом.
- **Драйвер** - мікросхема, призначення якої перетворювати команди контролера крокового двигуна в імпульси, що подаються на обмотки Крокового двигуна, і посилювати їх.





Глосарій

- **Екструдер** (від *extrude* - видавлювати) - пристрій, що подає пластикову нитку в нагрівальний блок, в якому під дією температури відбувається розплав і видавлювання через сопло. Тюбик із зубною пастою, клейовий пістолет, шприц із силіконовим герметиком діють за аналогічною схемою. У широкому розумінні цей блок складається з холодного і гарячого кінця.
- **Жолоблення** - спотворення форми виробу внаслідок дії внутрішніх напружень, викликаних нерівномірним нагріванням або охолодженням.
- **Кінцевик** – датчик, що відповідає за знаходження каретки в габаритах конструкції принтера; обмежувачі на кінцях осей. Створюються як на кнопкових так і на оптичних сенсорах або на основі датчика Хола. При спрацьовуванні цього датчика керуюча плата принтера обнуляє положення каретки, а далі вже веде відлік положення від цієї початкової точки.





Глосарій

- **Кроковий електродвигун** - це синхронний безщитковий електродвигун з кількома обмотками, у якому струм, що подається в одну з обмоток статора, викликає фіксацію ротора. Послідовна активація обмоток двигуна викликає дискретні кутові переміщення (кроки) ротора.
- **Нагрівальний блок** - блок складається з нагрівача (тен), термістора (термопара, датчик температури) і самого блоку, що об'єднує в собі ці елементи.
- **Нагрівач екструдера** (*тен екструдера*) - елемент, що перетворює електричний струм в теплову енергію, відповідає за нагрівання камери розплаву філамента всередині нагрівального блоку.
- **Підтримка** - додаткові елементи друку, що не є частиною моделі, покликані підтримати елементи, які нависають. Принтер не може друкувати елементи, що нависають, йому потрібна основа, куди наплавляти матеріал.





Глосарій

- **Постобробка** - обробка моделі після друку, шліфування, термообробка, хімічна обробка, фарбування, обклеювання тощо.
- **Радіатор екструдера** - пристрій, створений для відведення зайвого тепла від термобар'єра, зазвичай за рахунок сорочки повітряного охолодження, але є моделі з рідинним охолодженням.
- **Рафт** (*plim, raft*) - горизонтальна сітка філамента, розташована під моделлю. Рафти покликані підвищувати рівень адгезії, і нівелювати нерівності ліжечка і погане калібрування екструдера щодо столу.
- **Ретракт** - реверс відведення філамента з гарячого кінця, використовується для запобігання витікання розплаву пластику з сопла у моменти холостого переміщення екструдера над наплавленою моделлю.
- **Робочий стіл** (*print bed, платформа, ліжечко*) - майданчик, на який безпосередньо виплавляється матеріал з екструдера. Поверхня столу може бути як ідеально гладкою, так і перфорованою/гофрованою для поліпшення адгезії з об'єктом друку.





Глосарій

- **Слайсер** - програмне забезпечення, що перетворює 3D-модель (зазвичай з STL формату) в GCODE з конкретними параметрами друку і під конкретний матеріал і принтер.
- **Сопло** (*nozzle*) - металева, керамічна або рубінова шпилька з поздовжнім отвором, цей елемент відповідає за форму і розмір екструзійного розплаву на виході з екструдера.
- **Стереолітографія** (*stereolithography, SLA або SL*) – це метод 3D-друку, при якому в процесі виготовлення деталі використовується ультрафіолетове проміння. Опромінення рідких фотополімерних смол призводить до їх затвердіння, склеюючи кожен наступний шар.
- **Сушка** - процес сушки «сирого» пластику, друк сирим пластиком призводить до скипання води всередині матеріалу і його спінення при виході із сопла. Сушку пластику проводять в спеціальних термокамерах або іншим способом. В окремих випадках достатньо зберігати матеріали разом з силікагелем в одній упаковці.





Глосарій

- **Термістор** (*термопара, датчик температури*) - знімає показання температури для управління подачею напруги на тен з метою утримання температури в заданих проміжках. Використовується як в екструдері, так і в гарячому столі.
- **Термобар'єр** - пристрій, призначенням якого є зменшення відстані між двома фазами пластика - рідкої і твердої; не дає пластику плавитися вище заданої температури, зазвичай з'єднує нагрівальний блок і радіатор екструдера.
- **Філамент** (пластикова нитка) (від англ. *filament* - нитка) - витратний матеріал, який використовується для друку на 3D-принтері. Являє собою пластмасову нитку перерізом 1,75 або 3 мм.
- **Холодний кінець** (*cold-end*) - пристрій, що відповідає за подачу філамента в гарячий кінець, в класичному розумінні складається з шестерні подачі, притискного ролика і крокового двигуна. Найчастіше використовується проміжний понижуючий редуктор між прямою шестірнею і кроковим двигуном, для поліпшення точності подачі матеріалу при друку тонким шаром або при друку на низькій швидкості.



ОСНОВИ 3D-друку

електронний посібник

Автори:

викладачі Дніпропетровського центру професійно-технічної
освіти державної служби зайнятості

Сізов В. Д.

Сороквашин С. В.