

УДК 514.18:004.35

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-3771332017119374>

О. М. Гумен¹, професор, д. т. н, Р. В. Легеза², студент,
І. Б. Селіна³, старший викладач, Р. В. Педань⁴, студент

ОСНОВИ FDM-ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ

En

Technology of three-dimensional printing allows you to transform the obtained CAD model to the finished product. Three-dimensional printing process requires a lot of manual labor, which includes the preliminary preparation and subsequent processing of printed items to achieve their desired quality. To achieve the high quality products you need to orientate yourself with the basic principles of the preparation and processing of parts, the elimination and prevention of defects that can be formed during the work with the 3D printer.

At the moment there are many technologies of 3D-printing, but one of the most popular is the FDM-technology (Fused Deposition Modeling). This technology is widespread because of low cost and comparative ease of printers and materials. The process of creating models of this technology is based on the deposition of material layer by layer. Because of this particular technology the model requires special handling – slicing. The main element of the FDM printer is the extruder, the unit providing the melting and flow filament in the print area. Filament is the material for the 3D printer that is a plastic thread width of 1.75 mm or 3 mm. Thermoplastics are commonly used as the material for FDM printing.

The principles and basics of 3D printing with FDM-technology of modeling are used in the work with the 3D printer. Printed model using 3D-printer, which G-code was created using both slicers considered, allowed us to assess capabilities,

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

³ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

⁴ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

weaknesses and peculiarities of formation of G-code for each program.

The FDM technology of modeling gives the opportunity to obtain a high quality product in a single copy, and in the process of mass production. It is necessary to bear in mind the foregoing remarks on the shortcomings of the software to generate G-code and use the recommendations to prevent defects arising in print in the work with the 3D printer.

Ru

Технологія 3D-печати дозволяє превращати отримані в CAD-системах моделі в готові изделия. Процес 3D-печати потребує багато ручного труда, що включає попередню підготовку і подальшу обробку надрукованих деталей для досягнення їх бажаного якості. Для досягнення високої якості виробу потрібно вільно орієнтуватися у головних принципах підготовки та обробки деталей, ліквідації та попередженні дефектів, які можуть утворитися під час роботи із 3D-принтером. В статті розглядається попередня підготовка моделей к печати на 3D-принтері на основі двох популярних програм Cura і Slic3r, їх проблеми і переваги, дефекти, які утворюються при печати моделей на 3D-принтері, і способи їх усунення.

Вступ

Технологія 3D-друку дозволяє перетворювати отримані у CAD-системах моделі у готові вироби. Процес 3D-друку вимагає також багато ручної праці, що включає попередню підготовку і подальшу обробку надрукованих деталей для досягнення їх бажаної якості. Для досягнення високої якості виробу потрібно вільно орієнтуватися у головних принципах підготовки та обробки деталей, ліквідації та попередженні дефектів, що можуть утворитися під час роботи із 3D-принтером.

Постановка задачі

Мета даної статті – розглянути попередню підготовку моделей до друку на 3D-принтері на основі двох найпопулярніших програм Cura та Slic3r, їх проблеми і переваги. Також розглянемо дефекти, що утворюються під час друку моделей на 3D-принтері та способи їх усунення.

3D-проекування та слайсінг

На даний момент існує багато технологій 3D-друку, але одною із найпопулярніших залишається FDM-технологія моделювання методом наплавлення (*Fused Deposition Modeling*), винайдена Скоттом Крапом наприкінці 1980-х і представлена на ринку компанією *Stratasys*, починаючи із 1990 [1]. Ця технологія набула поширення через невисоку вартість і порівняну простоту принтерів та матеріалів. Процес створення моделі за даною технологією полягає в наплавленні матеріалу шар за шаром. Завдяки цій особливості технології модель потребує особливої обробки – слайсінгу.

Головним елементом *FDM*-принтера є екструдер – пристрій, що забезпечує плавлення та подачу філаменту у зону друку (рис. 1). Філамент – матеріал для друку на *3D*-принтері, що являє собою пластмасову нитку шириною 1,75 мм або 3 мм. Як матеріал для *FDM*-друку використовуються термопласти, найпопулярнішими із яких є:

- полілактид або «*PLA*-пластик» – виготовляється із кукурудзи або цукрової тростини, завдяки чому є нетоксичним та екологічним, але це робить його відносно недовговічним [1, 2].
- акрилонітрилбутадієнстирол або «*ABS*-пластик» – технічна термопластична смола, дуже довговічний та зносостійкий матеріал, із якого виготовляють більшість побутових пластмасових предметів [2].

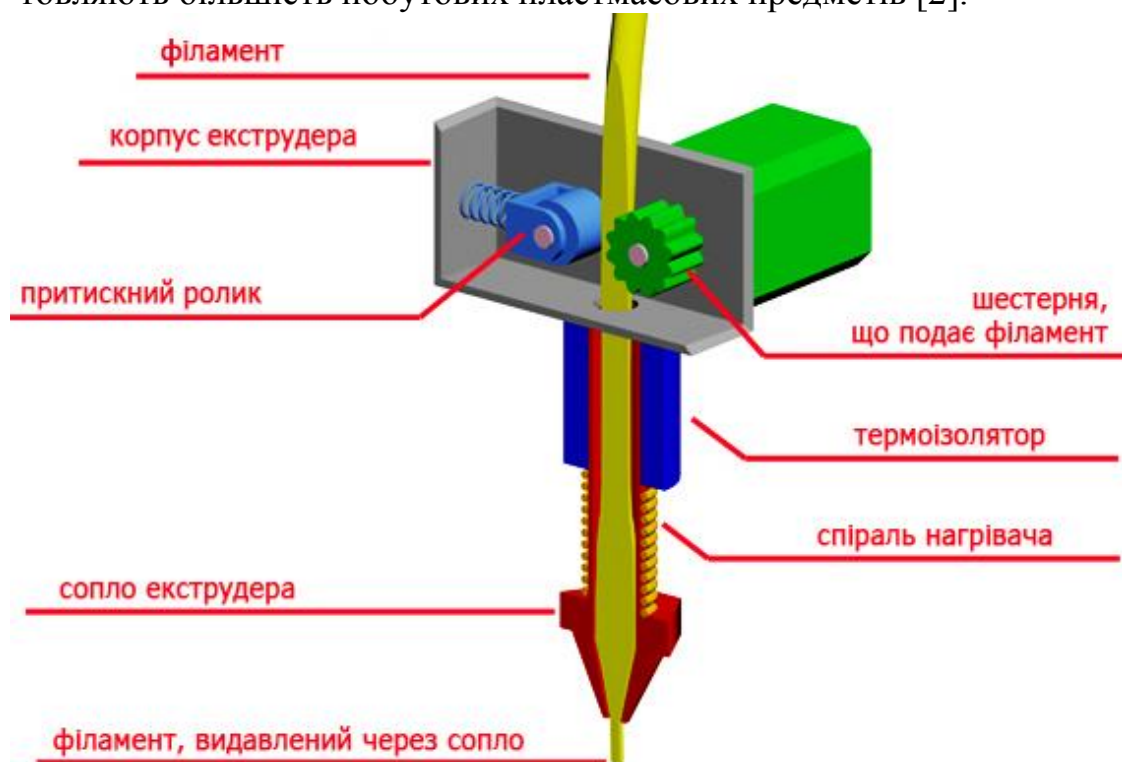


Рис. 1. Схема роботи екструдера

Основною частиною підготовки створеної у *CAD*-системі моделі до друку є слайсінг (англ. *slice* – нарізати) – процес, під час якого цифрова модель перетворюється у інструкції, які розуміє *3D*-принтер [3]. Такі інструкції записуються у вигляді *G*-коду (*G-code*) – набір команд, якими кодується схема руху екструдера по поверхні, на якій друкують. Слайсінг виконується за допомогою спеціальних програм – слайсерів. Слайсер поділяє модель на горизонтальні шари та генерує підходящу траєкторію для заповнення шарів. Як приклад таких програм розглянемо два слайсери, які користуються великою популярністю у користувачів *3D*-принтерів: *Cura* та *Slic3r*.

Для порівняння можливостей двох слайсерів у середовищі *3D*-моделювання *SolidWorks* були створені дві моделі різної складності

(рис. 2), що друкувалися на 3D-принтері Відкритої лабораторії електроніки *Lampa*.

Slic3r – слайсер, проект якого розпочався у 2011 році розробником є *Alessandro Ranellucci* [4]. Програма написана на двох мовах програмування, а саме *C++* та *Perl*. Вихідні коди програми є у відкритому доступі мережі Інтернет, тому користувач може змінити програму і додавати додатки, оперуючи безпосередньо кодом програми. Програма постійно допрацьовується розробником та іншими учасниками проекту, додаються нові функції та виправляються помилки.

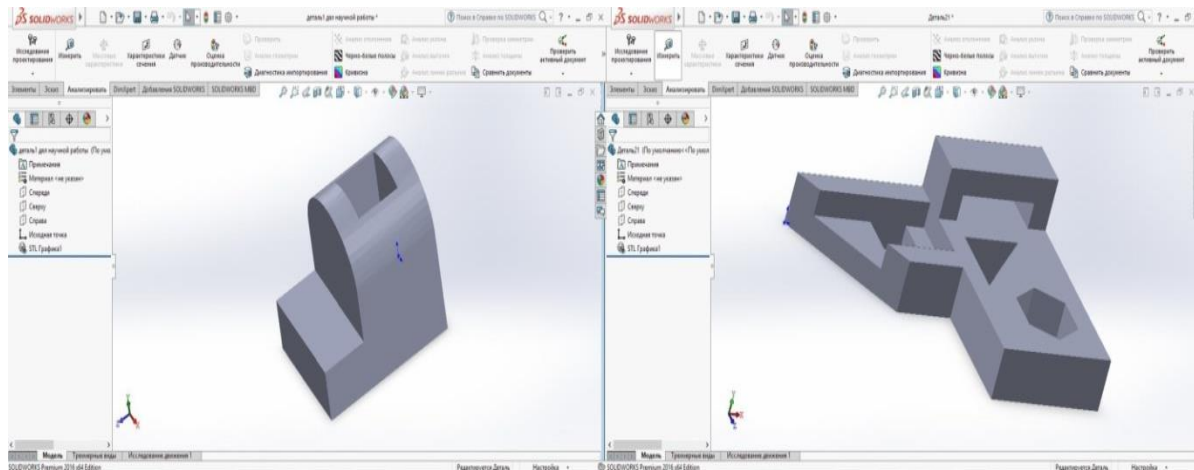


Рис. 2. Моделі, що використовувалися для друку під час порівняння слайсерів

Slic3r має великий вибір налаштувань друку, серед яких: температурні режими, внутрішнє заповнення деталі, товщина шару, швидкість друку тощо. Під час використання *Slic3r* були виявлені такі недоліки:

- утворюються дефекти у вигляді налипання філаменту під час друку отворів;
- під час друку утворюються щілини між стінкою і внутрішнім заповненням деталі у деяких місцях;
- відсутня функція розрахунку часу друку;
- відсутня візуалізація пробігів (траєкторія руху екструдера вказана тільки у межах моделі);
- відсутність функції підключення до 3D-принтера.

Cura – також дуже популярний слайсер, розробником якого є *David Braam*. На даний момент проект підтримується компанією *Ultimaker*, яка займається створенням 3D-принтерів [5]. *Cura*, як і *Slic3r*, має відкритий вихідний код. Особливість цієї програми у тому, що *Cura* є повноцінною системою друку «все в одному», тобто, крім використання у ролі слайсера, також передбачена функція підключення до 3D-принтера із можливістю розпочати та у подальшому керувати друком із однієї програми. Під час використання *Cura* були виявлені такі недоліки:

- відсутність вибору ширини (кількості шарів) для верхньої та нижньої частини моделі окремо;
- відсутність вибору типу заповнення (малюнку) нижнього та верхнього шару;
- обмежений вибір видів внутрішнього заповнення моделі;
- відсутність функції вмикання вентилятора охолодження на нависаючих без підтримки ділянках моделі.

Дефекти 3D-друку та способи їх усунення

Дефектом, що найчастіше виникає під час друку на 3D-принтері, є деламінація. Деламінація (рис. 3, *a*) – деформування моделі або її частин, що стається через нерівномірне застигання філаменту.

Для уникнення появи такого дефекту слід:

- нагрівати стіл до більш високих температур (близько 110-120°С для ABS-пластику);
- використовувати спеціальні покриття для столу;
- під час друку (особливо перших шарів) використовувати вентилятор для охолодження.

Недоекструзія (рис. 3, *б*) – виникнення дірок між шарами, незлипання шарів, дефекти на поверхні. Дефект, що дуже часто зустрічається під час друку, може з'являтися внаслідок великої кількості факторів, пов'язаних як із принтером, так із пластиком. Для уникнення появи такого дефекту слід:

- змінити швидкість друку, наприклад, спробувати друкувати на більш низькій швидкості;
- перевірити нитку пластику на наявність дефектів та забруднення;
- перевірити працездатність механічної складової принтера, включаючи шестерні та механізм, що подає пластик до екструдера;
- підвищити температуру друку. Особливо звернути увагу на те, чи відповідає задана температура діапазону робочих температур (для кожного пластику надається свій певний діапазон).

Просічки (рис. 3, *в*) – щілини між заповненням стінок, що виникають під час друку. Для уникнення появи такого дефекту слід:

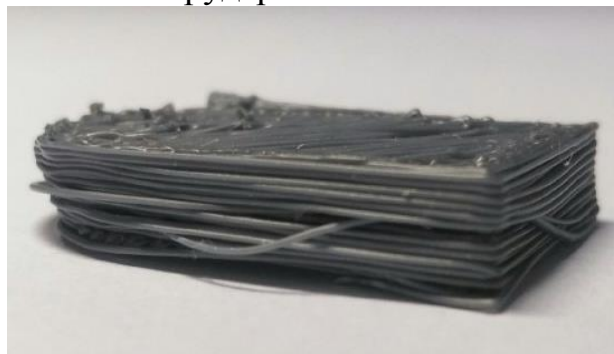
- зменшити швидкість друку – можливо пластик не встигає укладатися на такій швидкості;
- спробувати змінити налаштування друку стінки та відкалібрувати її відносно ширини сопла екструдера.

Слоїстість нижнього шару (рис. 3, *г*) – чітко виражений нижній шар, товсті лінії нижнього шару або його недоекструзія. Для уникнення появи такого дефекту слід:

- зменшити товщину першого шару. У деяких слайсерах наявна така функція; провести повторне калібрування принтера та встановити підходящу відстань між столом та соплом екструдера.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Дефекти, що виникають під час друку:
 а) деламінація; б) недоекструзія;
 в) просічки; г) слоїстість нижнього шару

Висновки

Під час ознайомлення із технологією *FDM*-друку була розглянута попередня підготовка *3D*-моделей, створених у *CAD*-системах, та способи уникнення дефектів, що виникають у процесі *3D*-друку.

Принципи та основи *3D*-друку за допомогою *FDM*-технології моделювання використано у роботі на *3D*-принтері. Надруковані на *3D*-принтері моделі, *G*-код яких був створений за використання обох роз-

глянутих слайсерів, дали змогу оцінити можливості, недоліки та особливості формування *G*-коду кожною із програм.

FDM-технологія моделювання дає можливість отримувати високоякісні вироби як у одиничному екземплярі, так і у процесі масового виробництва. Для цього необхідно врахувати вище викладені зауваження щодо недоліків програм для утворення *G*-коду (слайсерів), а також використовувати надані рекомендації щодо попередження дефектів, що виникають під час друку у роботі на *3D*-принтері.

Список використаної літератури

1. *Canessa E.* Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development / *E. Canessa, C. Fonda, M. Zennaro* // – Trieste: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics. 2013. – 202 p.
2. Адитивні технології – Вікіпедія – https://uk.wikipedia.org/wiki/Адитивні_технології.
3. Nullblog – 3D-принтер RepRap. Частина 5 – прошивка, калибровка, печать – <http://null-b.blogspot.com/2013/10/3d-reprap-5.html>.
4. Slic3r – RepRapWiki – <http://reprap.org/wiki/Slic3r>.
5. Cura – RepRapWiki – <http://reprap.org/wiki/Cura>.