

УДК 004.9

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-11

Марчук В.І., Марчук І.В., Лук'янчук Ю.А., Тулашвілі Ю.Й.

Луцький національний технічний університет

## ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ

*В даній статті розглянуто питання вивчення 3D-технологій в Україні в попередні роки та можливість покращення цієї ситуації в подальшому. Проведено дослідження навчального процесу відповідних фахівців галузі. Проведено розробку змісту навчальної підготовки для фахівців 3D-друку. Описано досвід використання 3D-технологій та складено перелік рекомендацій для усунення дефектів під час виготовлення виробів за допомогою адитивних технологій.*

**Ключові слова:** програмне забезпечення, навчальна підготовка, формальна, неформальна та інформальна освіта, дефекти 3D-друку, 3D-технології.

Сучасне інформаційне суспільство все більше спирається на використання автоматизованого і роботизованого обладнання, технологій швидкого прототипування (таких як 3D-друк) і програмних засобів конструювання технічних об'єктів. Сьогодні ІТ-індустрія потребує кваліфікованих фахівців, що володіють сучасними технологіями, засобами, обладнанням. Серед таких – спеціаліст, що створює на комп'ютері моделі виробів, після чого вони виготовляються на автоматизованому обладнанні. Спеціаліст такого профілю – людина креативна, ентузіаст-проектувальник, який критично мислить, володіє винахідливістю, спеціальними знаннями та вміннями.

В умовах сучасного ринку і постійного зростання конкуренції якнайшвидше створення інноваційного продукту є життєво важливим для успішного розвитку будь-якого підприємства. Світові виробники розуміють, що в стрімко мінливому світі, щоб бути на лідируючих позиціях, треба максимально оперативно втілювати нові ідеї в працездатні рішення. Це неможливо без генерації цих ідей і без нових технічних рішень для якнайшвидшого їх втілення в життя. Тому розвиток інноваційного мислення має стати пріоритетним завданням сучасних закладів, а використання технології 3D-друку може бути одним з кращих технічних рішень для прискорення реалізації різних нових ідей в життя.

У зв'язку з цим актуальним є питання формування у майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки. Для забезпечення формування зазначеної компетентності та, як наслідок, підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери на ринку праці доцільним є вивчення основ 3D-друку, а також досвіду практикуючих спеціалістів.

Провідні світові навчальні центри розуміють, що 3D-принтер - це відмінний інструмент для підготовки фахівців. І тому процеси впровадження 3D-технологій в європейських університетах відбувається швидкими темпами.

Використання 3D-друку в університетах допоможе розвивати творчі здібності та задовольняти інтелектуальну цікавість серед студентів, готувати їх до реального життя. Вони зможуть швидко розвивати свої ідеї, впроваджувати свої проекти в життя, комбінувати матеріали, які вони ніколи раніше не пробували, і створювати дивовижні об'єкти з високою точністю, деталізацією і рухомими частинами.

Обсяг світового ринку технологій адитивного виробництва (3D-друку) в 2018 р, досяг 12,8 млрд доларів США, що майже в 2,5 рази вище рівня 2015 року (5,2 млрд доларів). При цьому, згідно з прогнозами експертів, до кінця 2022 р обсяг ринку 3D-друку досяг 26,5 млрд доларів США. Розвиток технологій 3D-друку і їх висока перспективність робить особливо актуальним питання їх застосування в навчальній діяльності: оскільки система освіти покликана готувати майбутні покоління до життя в умовах інформаційного суспільства та цифрової економіки, то впровадження передових інформаційних технологій в освітній процес набуває першорядної важливості.

Незважаючи на значне відставання в освоєнні даної технології, темпи зростання вітчизняного ринку 3D-принтерів і пов'язаних з ними сервісів вражають. За прогнозами фахівців, до 2022 року український ринок 3D-друку може зрости у зв'язку із різким

здешевленням 3D-принтерів. У найближчі кілька років в Україні прогнозується зростання інтересу до тривимірного друку.

Закордонний досвід передбачає не лише вивчення теорії та практики 3D друку, а й можливість застосування обладнання та технологій в нових сферах. В дослідженнях Н.Н.Пандья [1] описано основи роботи з адитивними технологіями та запропоновано отриманий досвід навчальним закладам, як навчальний матеріал для підготовки фахівців 3D друку. Ніколи раніше споживачі не мали технології, за допомогою якої можна легко перетворити ідею концепції в об'єкт, до якого можна доторкнутися, не турбуючись про наявне обладнання чи таланти. Технологія 3D-друку створює деталі шляхом додавання матеріалів по одному шару на основі комп'ютеризованої 3D-моделі твердого тіла. Це дозволяє оптимізувати дизайн і виготовляти індивідуальні деталі за вимогою.

Ще одне дослідження світового досвіду використання адитивних технологій описано Sabrie Soloman [2]. Автор показує, як змінюється промисловість на міжнародному ринку. Як приклад взято біоінженерію, оскільки ця галузь стрімко розвивається саме завдяки 3D технологіям. Звільнене від обмежень традиційних фабрик, адитивне виробництво дозволяє дизайнерам виготовляти деталі, які раніше вважалися занадто складними для економічного виготовлення. Інженери та біологи знаходять практичне застосування для використання 3D-адитивного виробництва. Це дозволяє новим конструкціям стати неймовірно рідкісними продуктами, які не могли б бути досягнуті попередніми методами виробництва. Технологія 3D-друку готова перетворити медицину та біологію за допомогою біовиробництва та традиційного виробництва в 3D-друк. Ця технологія має можливість підвищити добробут громадян країни. Адитивне виробництво може покращити світові ресурси та енергоефективність у «Наземному, морському та повітрі». Переваги адитивних технологій перед звичайним виробництвом захопили увагу громадськості, що відображено в останніх корпоративних впровадженнях і в багатьох академічних публікаціях, які називають адитивне виробництво «Четвертою промисловою революцією».

Світовий досвід навчання фахівців 3D технологій є дуже різноманітним, проте в першу чергу передбачає безліч платформ, де люди діляться власним досвідом [3, 4]. Нами зібрано ресурси, які є актуальні на сьогоднішній день. Цей перелік буде корисним, як новачкам, так і спеціалістам галузі.

З рештою, передовий досвід адитивних технологій описано в книзі, яка була повністю виготовлена за допомогою 3D-друку [5]. Genius 100, світова спільнота науковців, які займаються вирішенням важливих питань іновачій розробили першу у світі 3D-книгу: «Genius: 100 vision of future». Примірник присвячено до проекту «Спадщина Альберта Ейнштейна». Перед розробниками була задача виготовити книгу, яка демонструє новітні технологічні можливості, а також досвід 100 найвидатніших інтелектуалів та новаторів зі всього світу. Дизайнером книги став художник та архітектор Рон Арад, який наразі описує адитивне виробництво, як технологію майбутнього. В написанні книги приймали участь світові лідери в галузях науки, підприємництва, мистецтва, медицини, освіти, технологій та меценатства, а також інші видатні люди, серед яких 12 нобелівських лауреатів.

Цікавим є той факт, що прототип книги меншого розміру був надрукований в космосі, що доводить можливість використання адитивних технологій також поза межами нашої планети.

Український досвід навчання фахівців 3D-друку, на превеликий жаль, ще дуже мінімальний [6, 7]. Виробництво лише у великих містах переходить до адитивних технологій, переймаючи світові надбання, оскільки є необхідність безперервної автоматизації. Відповідні фахівці навчаються переважно самостійно шляхом набуття власного досвіду, через що перехід до новацій відбувається вкрай повільно. Під час освоєння нової технології використовується не вітчизняна література, а переклади світового досвіду на подібну до нашої мови.

Проте важливість вивчення адитивних технологій, з рештою, стає актуальним питанням на сьогоднішній день в Україні. Існує чимало публікацій про це, проте основна література представлена лише у вигляді посібників по використанню 3D принтера. Вітчизняний досвід освоєння адитивних технологій відбувається за рахунок закордонних інвесторів.

Компанія сучасного навчального обладнання Elizlabs подарувала Новопечерській школі Києва «3D техно лабораторію» [8]. Завдяки використанню 3D технологій в навчальному закладі діти вчать досліджувати нові предмети та поглиблювати своє розуміння складних концепцій.

Важливість навчання фахівців адитивних технологій є необхідністю на сьогоднішній день в Україні. Також важливо зменшити період вивчення, оскільки виробництво швидко переходить до автоматизації та новацій, а відповідних фахівців галузі є недостатньо.

Як видно із описаних технологій та досвіду, наразі дуже важливим є формування навичок у майбутнього фахівця саме з 3D-технологій. Тому у навчальному закладі є особливо важливим вивчення питань 3D-моделювання, прототипування та 3D-друку. Хоча кожна технологія має свої особливості застосування, існує ряд спільних факторів для кожної з них.

Фахівець з 3D-друку повинен мати компетентності в багатьох галузях освіти, проте безумовними мають бути знання в декількох основних сферах, які передбачають вивчення наступних матеріалів, а саме: технології роботи обладнання, вивчення необхідних ресурсів для роботи, програмне забезпечення та інше.

Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM/FFF), або екструзії, було розроблено С. Скоттом Трапом в кінці 1980-х років і отримало комерційне поширення в 1990 році силами компанії Stratasys, в числі засновників якої значиться сам Трамп.

У зв'язку із закінченням терміну дії патенту існує велика кількість розробників 3D-принтерів з відкритим вихідним кодом, а також комерційних організацій, що використовують дану технологію. Як наслідок вартість пристроїв зменшилася на декілька порядків з часу винаходу технології.

Процес друку методом пошарового наплавлення – це створення шарів за рахунок екструзії матеріалу, що швидко застигає у вигляді мікрокрапель або тонких струменів. Екструдер нагріває матеріал до температури плавлення з подальшим видавлюванням розплавленої маси через сопло. Сам екструдер приводиться в рух кроковими двигунами або сервомоторами, що забезпечують позиціонування друкованої головки в трьох площинах. Переміщення екструдера контролюється виробничим програмним забезпеченням, прив'язаним до мікроконтролеру.

Як найбільш поширений і комерційно доступний спосіб тривимірного друку, метод пошарового наплавлення має широкий спектр витратних матеріалів (філаментів). В якості витратних матеріалів для екструзії друку використовуються різні види полімерів, включаючи акрилонітрілбутадієнстірол (ABS), полікарбонат, полілактид (PLA), поліетилен високого тиску (PETG), суміші полікарбонату і ABS-пластика, поліфеніленсульфон і ін. Полімер поставляється в формі наповнювача, виготовленого з чистого пластика.

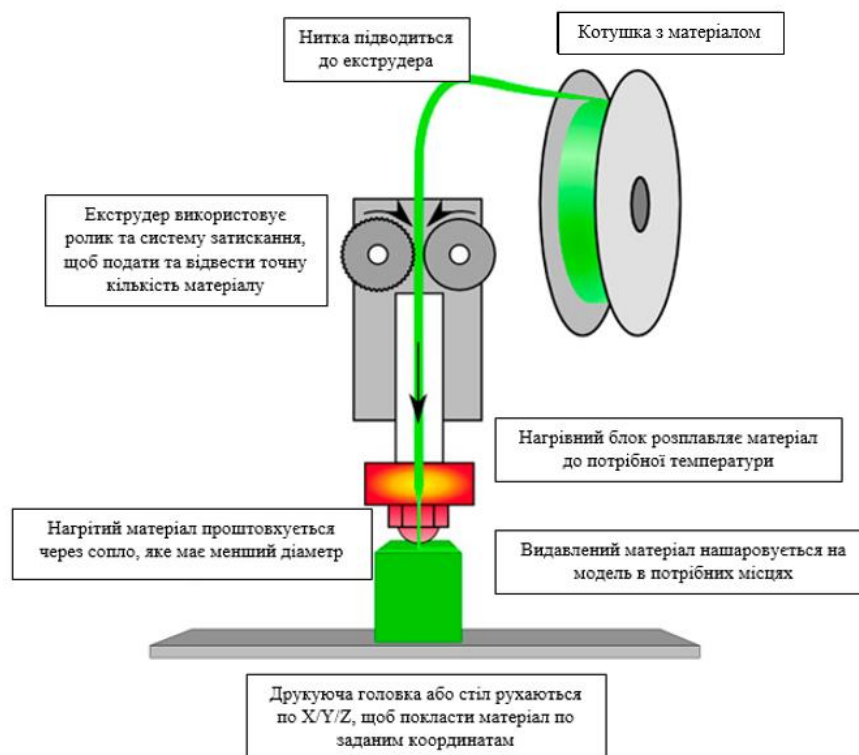


Рис. 1. Схема пристрою 3D-принтера екструзивного типу

Враховуючи досвід використання FDM технології та проведення безлічі експериментальних досліджень протягом останніх років, авторами запропоновано узагальнення щодо основних дефектів, які виникають в процесі 3D друку, а також їх опис та шляхи усунення. Такі рекомендації варто враховувати при роботі із відповідним обладнанням адитивних технологій.

Дефекти 3D друку це доволі часте явище. Вони виникають внаслідок багатьох чинників, які можна поділити на функціональні та не функціональні. Перші причини можна виправити шляхом маніпуляцій із 3D принтером, навіть в процесі друку. Інші фактори, що негативно впливають на якість друку можна виправити в налаштуваннях «слайсера» або ж неможливо виправити взагалі.

Кожен із видів дефектів має місце практично при кожному процесі друку та вносить свої зміни до кінцевого продукту. Тому досвідчений фахівець з адитивних технологій, а особливо з 3D друку, повинен врахувати їх на етапі моделювання об'єкту виготовлення та мінімізувати їх вплив.

Таблиця 1

Причини появи дефектів							
Функціональні			Не функціональні				
Дефект і першого шару	Дефект і верхніх шарів	Дефект і в процесі друку	Кваліфікація оператора	Дефект пластику	Дефект «слайсера»	Перебої електроенергії	Не відповідність приміщення
Відкриття камери	Зміщення першого шару	Трищини на високих температурах	Недостатньо досвіду	На виробництві	Зберігання	Не відповідна версія програмного продукту	Протіки
	Прогушені шари	Недооксидування	Перекострузія			Виялове вимкнення	Вологість
	Зміщення шарів в процесі друку	Вологість, павутина				Не відповідні налаштування для визначеного типу	Температура
	Інші дефекти	Отвори на поверхні					



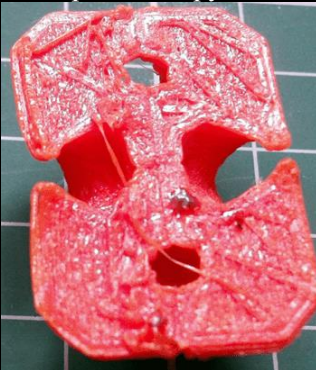
Загалом, не функціональні дефекти враховуються на етапі проектування виготовлення виробу та зменшити їх вплив можливо лише при якісній підготовці відповідного фахівця, а саме:


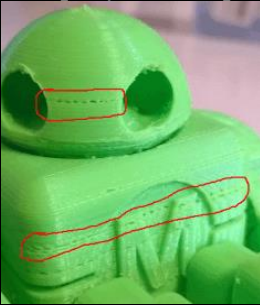
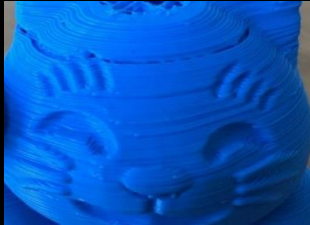
1. Постійне підвищення кваліфікації оператора 3D принтера (необхідне розуміння того, як буде друкватись виріб ще на етапі моделювання, щоб зменшити появу дефектів);
2. Враховувати, що пластик дуже чутливий до вологості повітря, тому його потрібно зберігати в сухому місці та максимально ізольованим від впливу повітря (неправильне зберігання призводить до втрати хімічних властивостей пластику, а, відповідно, і до появи механічних пошкоджень обладнання під час друку, що призводить не тільки до появи дефектів виробу, а й виведення з ладу основних компонентів самого 3D принтера);
3. Налаштування «слайсера» повинні відповідати тому пластику, який використовується в 3D принтері (кожен виробник пластику вказує умови друку);
4. Своєчасне оновлення програмного продукту (програмне забезпечення постійно вдосконалюється і багато налаштувань стає автоматичними, що покращує якість 3D друку);
5. Враховувати, що обладнання повине бути забезпеченим випрамлячем напруги та безперебійним джерелом живлення (коли відбувається вимкнення електроенергії, тоді виникає збій програми друку), у 85% випадків це призводить до програмного зміщення осей координат під час друку, а, відповідно, до такого дефекту, як зміщення шарів.
6. Враховувати, що приміщення, в якому знаходиться обладнання має мати стабільні показники температури, вологості, а також кондиціонування повітря (оскільки налаштування 3D друку змінюються залежно від пори року).

Проблеми з друком відбуваються доволі часто. Фахівець у цій галузі повинен розуміти, від чого залежить поява дефектів на моделі та можливі шляхи їх усунення. У таблиці 2 описано найтипівші функціональні проблеми 3D друку.

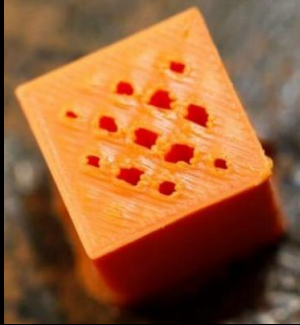
Таблиця 2

Основні функціональні дефекти 3D друку

<p>1. Відклеювання першого шару</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p>	<p>Основа моделі деталі підводиться і не прилипає до платформи. Ця проблема також може спровокувати горизонтальні тріщини у верхніх шарах моделі.</p> <p>Деформація основи деталі відбувається через особливості пластика. ABS і PLA пластик охолоджується дуже швидко і саме це може призвести до відклеювання першого шару.</p>
	<p>Усунення дефекту</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Використовувати платформу з підігрівом. Рекомендована температура для пластика вказана на упаковці або катушці.</li> <li>2. Використовувати клей. Нанести тонкий шар клею (або лаку для волосся) на платформу, щоб збільшити прилипання (адгезію).</li> <li>3. Використати іншу платформу. Змінити на платформу з більшою адгезією.</li> <li>4. Необхідність калібрування платформи. Перевірити рівень платформи.</li> <li>5. Збільшити контакт між моделлю і платформою.</li> <li>6. Оптимізувати налаштування температури. Збільшити температуру платформи на 5°C.</li> <li>7. Налаштування вентилятора. Вентилятори повинні перемикатися на повну потужність як тільки деталь досягає висоти 0,5 мм.</li> </ol>
<p>2. Зміщення першого шару (нога слона)</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p>	<p>Основа моделі трохи зміщена</p> <p>Основа моделі зміщується через вагу деталі, яка тисне на перший шар коли нижні шари ще не встигли охолонути.</p>
	<p>Усунення дефекту</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Правильний баланс. Зниження температури платформи на 5°C (але не більше ніж на 20°C від рекомендованої температури). Якщо Bottom/Top Thickness встановлено на 0,6мм, необхідно ввімкнути вентилятор на висоті нижче.</li> <li>2. Калібрування платформи.</li> <li>3. Підняття сопла.</li> <li>4. Зробити кути моделі більш плавними. Почати з 5мм і 45° скосу і до досягнення кращого результату.</li> </ol>
<p>3. Інші дефекти першого шару</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p> <p>Усунення дефекту</p>	<p>Перший шар виглядає неправильно, деякі фрагменти відсутні. В основі є непотрібні лінії.</p> <p>Такі проблеми з 3D друком вказують на те, що рівень платформи не правильно встановлений. Якщо сопло знаходиться занадто далеко від платформи, внизу моделі часто з'являються непотрібні лінії або перший шар не прилипає. Якщо ж сопло знаходиться дуже близько до платформи, це може спровокувати утворення бульбашок.</p> <p>Платформа повинна бути чистою. Відбитки пальців на платформі можуть призвести до того, що перший шар не буде приклеюватись до платформи.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Провести калібрування платформи.</li> <li>2. Встановити висоту сопла. Якщо сопло розташоване занадто високо, пластик не буде</li> </ol>

		<p>приклеюватись до платформи, якщо занадто низько - сопло буде стикатись із моделлю.</p> <p>3. Очистити платформу. Обов'язково регулярно потрібно чистити платформу принтера. Відбитки пальців, пил і залишки клею впливають на якість приклеювання моделі до платформи.</p> <p>4. Використовувати клей (лак). Нанести тонкий шар клею на платформу, щоб збільшити зчеплення моделі з платформою.</p> <p>5. Використовувати текстуровану підкладку для платформ принтерів, які не нагріваються.</p>
<p>4. Зміщення шарів в моделі</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p> <p>Усунення дефекту</p>	<p>Шари зміщуються в середині моделі</p> <p>Ремені принтера не туго закріплені. Верхня пластина не прикріплена і рухається незалежно від нижньої пластини. Один з направляючих по осі Z не ідеально рівний.</p> <p>1. Перевірити ремені. Перевірити наскільки туго натягнуті ремені: вони не повинні висіти вільно, але і не повинні бути занадто затягнуті.</p> <p>2. Перевірте гвинти по осі Z. Багато виробників принтерів частіше використовують різьбові шпильки замість трапецеїдальних гвинтів і хоча обидва виконують свою роботу, різьбові шпильки мають тенденцію з часом гнутися.</p> <p>Пропуски в моделі з'являються через те, що деякі шари не знайдені (частково або повністю).</p>
<p>5. Пропущені шари</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причини виникнення</p> <p>Усунення дефекту</p>	<p>Принтер не зміг видавити необхідну кількість пластику для друку відсутніх шарів.</p> <p>Тертя може спровокувати застрягання пластика.</p> <p>1. Механічна перевірка. Необхідно перевірити гвинти (шпильки) і переконатись, що вони щільно прикріплені до підшипниками.</p> <p>2. Перевірка вирівнювання гвинтів. Переконатись, що всі гвинти (шпильки) вирівняні і не зміщені.</p> <p>3. Зношені підшипники. Зношені підшипники видають шум.</p> <p>4. Перевірити змащування. Необхідно регулярно змащувати рухомі механізми принтера. Для змащення ідеально підходить масло для швейних машинок.</p>
<p>6. Тріщини на високих об'єктах</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p> <p>Усунення дефекту</p>	<p>5. Недостатня екструзія.</p> <p>Тріщини з боків моделі, найчастіше в високих моделях</p> <p>Проблема найчастіше виникає у великих принтерах.</p> <p>На верхніх шарах матеріал охолоджується швидше, оскільки тепло від платформи не досягає необхідної висоти. Через це адгезія верхніх шарів нижче.</p> <p>1. Температура екструдера. Збільшити температуру екструдера на 5-10°C.</p> <p>2. Напрямок та швидкість вентилятора. Перевірити вентилятори і переконатись, що вони спрямовані на модель. Якщо напрямок правильний, зменшити їх швидкість.</p>

7. Отвори на верхньому шарі



Опис проблеми  
Причина виникнення

Усунення дефектів

Отвори та щілини на верхній поверхні деталі.

Неправильне охолодження верхнього шару.  
Недостатньо товстий верхній шар.

1. Діаметр нитки (філаменту). Найчастіше проблема трапляється з пластиком діаметра 1.75 мм.

2. Перевірити розташування вентилятора. Коли принтер починає друк, вентилятори встановлені на мінімальну швидкість або взагалі вимкнені. Після друку першого шару, вентилятори починають працювати.

3. Встановити швидкість вентилятора в G-Code. Швидкість обдування може бути відрегульована за допомогою G-Code (як правило, G-Code для Fan On це M106 і M107 Fan Off). Також встановити швидкість вентилятора на максимум для верхніх шарів.

4. Збільшити товщину верхнього шару.

Налаштувати товщину за допомогою розширених налаштувань 'Bottom/Top Thickness setting'.

Необхідно збільшити товщину верхнього і нижнього шару до 6 раз (крат) в порівнянні з іншими шарами і до 8 для менших сопел і пластика.

Якщо висота шару дорівнює 0,1мм, то висота верхнього і нижнього шарів повинна бути 0,6мм.

При друку утворюються «павутинки» або «волоски» між елементами моделі.

Коли головка принтера переміщується по відкритій поверхні (без екструзії), тобто переходить з одного об'єкта на інший, пластик стікає з сопла.

1. Увімкнути втягування (відкат/retract).

2. Мінімальна дистанція (мм). Якщо втягування не працює правильно, найпростіший спосіб це виправити - це зменшити мінімальну дистанцію. Знизити її на 0,5мм поки ворсистість не зникне.

Недостатня екструзія виникає, коли екструдер не може видавлювати досить матеріалу (або не може робити це досить швидко). Це призводить до того, що шари дуже тонкі, в шарах з'являються небажані проміжки або шари повністю відсутні).

Діаметр нитки може не відповідати діаметру, встановленому в слайсері.

Кількість екструдованого матеріалу може бути нижче через неправильне налаштування прошивки.

Сопло може бути засмічене.

1. Перевірити діаметр філаменту.

2. Виміряти нитку.

3. Перевірте голівку екструдера.

4. Встановити коефіцієнт екструзії. Якщо немає різниці між реальним діаметром екструзії і налаштуваннями ПО, перевірити налаштування множника екструзії (або швидкість потоку або компенсацією потоку), можливо, вони занадто низькі.

5. Відкрити вікно Edit Process Settings в

8. Волосини, павутина на моделі



Опис проблеми

Причина виникнення

Усунення дефекту


9. Недоекструзія



Опис проблеми

Причина виникнення

Усунення дефекту

	<p><b>10. Переекструзія</b></p> <p>Опис проблеми</p> <p>Причини виникнення</p> <p>Усунення дефекту</p>	<p>Simplify3D і перейти у вкладку Extruder - коефіцієнт екструзії повинен бути встановлений на 1 що відповідає 100%. Відкрити вкладку Material в Cura і збільшити налаштування Flow.</p> <p>Надмірна екструзія означає, що принтер витискає більше матеріалу, ніж необхідно. Це позначається на тому, що на деталі є надлишки філаменту.</p> <p>Коефіцієнт екструзії або потоку в слайсері занадто високий.</p> <p>1. Коефіцієнт екструзії. Відкрити слайсер і перевірити, правильно обраний коефіцієнт екструзії.</p> <p>2. Налаштування (flow) потоку. Зменшити параметр Flow в налаштуваннях ПО принтера.</p>
---	--	--

Інженер з 3D-друку займається технічним супроводом, роботою з обладнанням, програмним забезпеченням, створенням 3D-моделей. Фахівці повинні мати глибокі знання в галузі інженерії, програмування і математики. Професія пов'язана з спеціальностями майбутнього. Саме для таких фахівців описано практичні рекомендації щодо усунення впливу факторів, від яких залежить якість виробу, а також є необхідним вивчення практичного досвіду у цій галузі, оскільки подібні знання є основою для наступних досліджень.

Інженери 3D-друку використовують для своєї роботи різні матеріали, комп'ютерні програми і промислові 3D-принтери. Сьогодні ці фахівці потрібні в медичні центри, промисловість, авіакосмічну, машинобудівну та інші галузі. Фахівців мало тому, що в обов'язки інженера по 3D-друку входить: вибір нових матеріалів, проведення випробувань, використання сучасного програмного забезпечення для поліпшення і налаштування параметрів 3D-принтера; розробка макетів, розробка растрових зображень для подальшого друку; повний контроль над листом; вивчення нових технологій; знання правил сертифікації, вимог, що пред'являються до 3D моделей і готової продукції; розробка документації, налагодження програмного забезпечення; підбір нового обладнання, навчання інших співробітників; технічне обслуговування обладнання. Обов'язки залежать від робочого місця, але інженер по 3D-друку повинен бути фахівцем, готовим швидко освоювати нові технології та потім успішно застосовувати їх на практиці. Роботодавці пред'являють суворі інженерні вимоги, тому що зарплата таких фахівців висока. Вони повинні мати як мінімум 3 роки практичного досвіду, важливо мати технічні знання іноземної мови. Інженер з 3D-друку повинен знати основи економіки і маркетингу, адже в його обов'язки входить оптимізація робочих процесів, спрямовані на здешевлення і прискорення друку. Тому важливими будуть отримані знання із практичного досвіду, які представлені авторами.

#### Література

1. H.N. Pandya. 3D printing technology: fundamentals and application. 2021. 416 p.
2. Sabrie Soloman. Additive manufacturing technology – 3D printing and design – the 4<sup>th</sup> industrial revolution. 2020. 417p.
3. <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/best-3d-printing-books/>
4. <https://bookauthority.org/books/new-3d-printing-books>
5. <http://surl.li/cvsvl>
6. <http://surl.li/bybrt>
7. <http://surl.li/bybrw>
8. <https://osvitoria.media/experience/yak-3d-prynter-peretvoryuye-uroky-na-doslidzhennya/>



**V. Marchuk, I. Marchuk, I. Lukyanchuk, Y. Tulashvili**  
Lutsk National Technical University

### **PRACTICAL EXPERIENCE IN USING 3D PRINTING TECHNOLOGY**

*This article examines the issue of studying 3D technologies in Ukraine in previous years and the possibility of improving this situation in the future. A study of the educational process of relevant industry specialists was conducted. The content of training for 3D printing specialists has been developed. The experience of using 3D technologies is described and a list of recommendations for eliminating defects during the manufacture of products using additive technologies is compiled.*

**Keywords:** *software, training, formal, non-formal and informal education, 3D printing defects, 3D technologies*