

УДК 004.75; 641.8

Васильєва Л.В., доцент, Синюк Б.В., бакалавр  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЯ БЕЗПЕКИ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ 3D-ПРИНТЕРІВ

**Васильєва Л.В., Синюк Б.В. Дослідження ступеня безпеки високотехнологічних 3D-принтерів.** У статті висвітлені загальні питання безпечного функціонування 3D-принтерів, та запобігання негативного впливу можливих ризиків при використанні цієї комп'ютерної технології. Також у статті приводиться дослідження ризиків при 3D-друці різними 3D-принтерами та матеріалами.

**Ключові слова:** 3D-друк, 3D-принтери, безпека, УДЧ, технології 3D-друку.

**Васильєва Л.В., Синюк Б.В. Исследование степени безопасности высокотехнологичных 3D-принтеров.** В статье освещены общие вопросы безопасного функционирования 3D-принтеров и предотвращения негативного влияния возможных рисков при использовании этой компьютерной технологии. Также в статье приводится исследование рисков при 3D-печати различными 3D-принтерами и материалами.

**Ключевые слова:** 3D-печать, 3D-принтеры, безопасность, УДЧ, технологии 3D-печати.

**Vasilyeva L.V., Sinyuk B.V. Investigation of the security degree of high-tech 3D printers.** The article covers general issues of safe operation of 3D printers and prevention of the negative impact of risk's possible when using this computer technology. Also in the article is a study of the risks of 3D printing with using various 3D printers and materials.

**Keywords:** 3D-printing, 3D-printers, security, UDC, 3D-printing technologies.

**Вступ.** Світ не стоїть на місці, зростає прогрес зростають і ризики, в разі друку на високотехнологічних пристроях - 3D-принтери. Для забезпечення високої якості друку і застосування майже в усіх сферах виробництва, а також для різноманітності виготовляємих об'єктів, частіше всього використовуються різні методи 3D-друку. Як з безпечними речовинами, так і небезпечними, а часом і токсичними. Знання формальних моделей поведінки і методів безпеки для роботи з 3D-принтерами і також при 3D-друці, забезпечує високу безпеку фахівця.

Самі принтери покликані допомагати людям, але неохайне поводження може призвести до трагічних випадків, і навіть летальних наслідків. Головне правило при 3D-друці - це завжди контролювати процес виробництва нової моделі.

3D-друк - це процес створення фізичного об'єкта методом пошарового накладання матеріалу за його комп'ютерною 3D-моделю. Друк об'ємних фігур в сучасному суспільстві починають застосовувати безліч галузей виробництва, так як вона дозволяє створювати унікальні об'єкти, як за матеріалами, так і по точності моделі. Звичайно ж ні один процес 3D-друку не залишається без пристрою, який його виконує, а саме 3D-принтера [3].

**Постановка наукової проблеми.** Метою даної роботи є аналіз специфікації та безпеки роботи з різноманітними типами 3D-принтерами з метою запобігання нещасних випадків на виробництві та побуті.

### **Аналіз існуючих способів.**

На ринку зараз є різноманітні 3D-принтери: 3D-принтер конструктор, не комерційні, професійні (медичні, будівельні, харчові, текстильні, біологічні тощо), виробничі і т.д. Всі вони мають свої переваги та недоліки, проте кожен з них також несе в собі загрозу, і є небезпечними, якщо нехтувати правилами ОП. Тому існують стандартні правила безпеки, майже, з будь-яким 3D-принтером.

Проаналізувавши, які існують у сфері сучасних концепцій ОП нормативи та інструкції по роботі з 3D-принтерами, можна виділити основні пункти з безпеки:

- При роботі на 3D-принтері не допускається розташування робочого місця в приміщеннях без наявності природної або штучної вентиляції.
- Перед початком роботи на 3D-принтері перевірити його справність (спочатку візуально, а потім, провівши кілька маленьких тестів) і перевірити захисне заземлення обладнання.
- Переконатися, що мікроклімат в приміщенні дозволяє працювати з цим обладнанням.
- Не підпускати до 3D-принтера осіб, які не знайомі з правилами безпечної поведінки з цим обладнанням

- Вмикати і вимикати 3D-принтер слідкує тільки вимикачем. Категорично забороняється витягувати вилку шнура 3D-принтера з розетки під час роботи.
- Забороняється торкатись робочих частин 3D-принтера (екструдер, робочий стіл для друку і т.д.). Також знімати або деактивувати захисні компоненти 3D-принтера.
- Забороняється залишати увімкнений 3D-принтер без нагляду.
- Місце, де стоїть 3D-принтер має повністю відповідати нормам протипожежної безпеки.
- Розбирати і ремонтувати 3D-принтер самому забороняється, ці роботи може виконувати тільки фахівець.
- Загальний час безпосередньої роботи з 3D-принтером протягом робочого дня не повинен перевищувати 5-6 годин.
- Після роботи потрібно ретельно провітрити приміщення з 3D-принтером [4].

Виходячи з особливостей технології 3D-друку специфічної для різних типів 3D-принтерів можна виділити основні ризики:

I. Група 3D-принтерів - це ті, які щось виштовхують, виливають, або розпилюють:

1) *FDM (fused deposition modeling)* - принтери які видавлюють якийсь матеріал шар за шаром через сопло-дозатор.

2) *Технологія Polyjet* - фотополімер маленькими дозами вистрілюється з тонких сопел, як при струменевому друці, і відразу полімеризується на поверхні виготовляемого виробу під впливом УФ випромінювання. PolyJet друкує різними матеріалами.

Застосування: промислове прототипування і медицина.

3) *LENS (LASER ENGINEERED NET SHAPING)* - матеріал у формі порошку видувається з сопла і потрапляє на сфокусований промінь лазера. Частина порошку пролітає повз, а та частина, яка потрапляє у фокус лазера миттєво спікається і шар за шаром формує тривимірну деталь. Саме за такою технологією друкують сталеві і титанові об'єкти.

Застосування: наприклад, титанові лопатки для турбін з внутрішніми каналами охолодження.

4) *LOM (laminated object manufacturing)* - тонкі ламіновані листи матеріалу вирізаються за допомогою ножа або лазера і потім спікається або склеюються в тривимірний об'єкт. Таким чином друкують 3D-моделі з паперу, пластику або з алюмінію.

У даній групі 3D-принтерів головною небезпекою є токсичність деяких використовуваних матеріалів. Також можливе засмічення сопел тим чи іншим матеріалом, що призводить до займання (наприклад 3D-принтер, який друкує пластмасою).

II. Група 3D-принтерів - це ті, які щось спікають або склеюють

1) *SL (Stereolithography) стереолітографія* - є невелика ванна з рідким полімером. Промінь лазера проходить по поверхні, і в цьому місці полімер під впливом УФ полімеризується. Платформа з деталлю піднімається вгору, лазер відповідно розташований знизу.

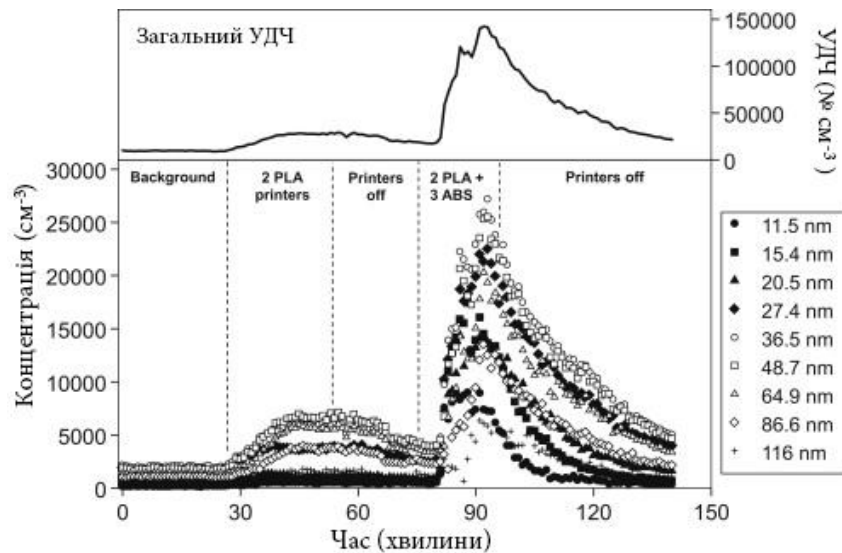
2) *LS (laser sintering) лазерне спікання* - схоже на SL, тільки замість рідкого фотополімеру використовується порошок, який спікається лазером.

3) *3DP (three dimensional printing)* - на матеріал в порошкової формі наноситься клей, який пов'язує гранули, потім поверх проклеєного шару наноситься свіжий шар порошку, і так далі. На виході, виходить матеріал sandstone (за властивостями схожий на гіпс).

У даній групі 3D-принтерів головними небезпеками є: у більшості випадків фотополімер буває токсичним, тому при роботі з ним треба користуватися засобами захисту і респираторами; деякі порошки для спікання бувають вибухонебезпечними, вони повинні зберігатися в камерах з азотом, що в свою чергу вимагає підвищених вимог ОП; при даних видах 3D-друку використовується дуже висока температура [2].

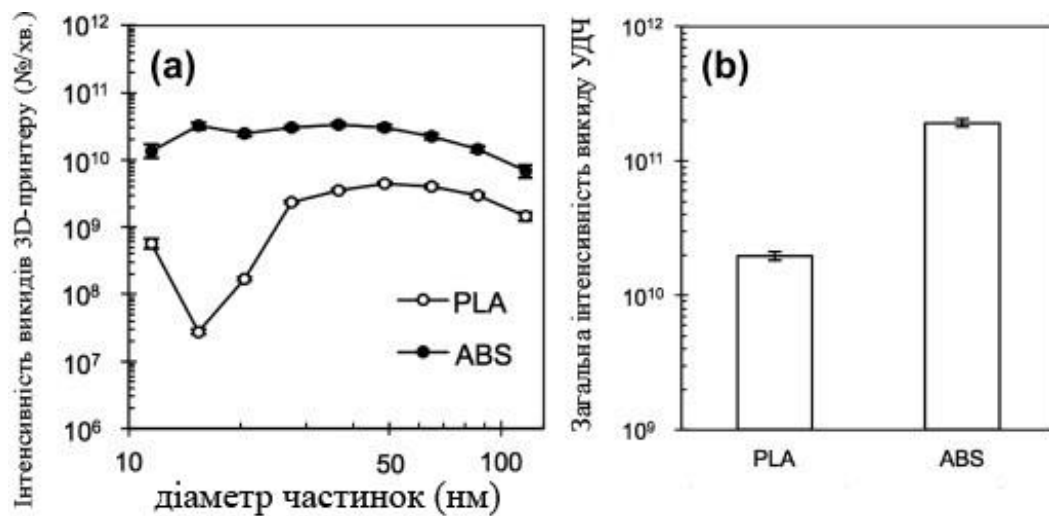
**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

В Іллінойському технологічному інституті групою вчених було проведено дослідження, яке показало, що некомерційні 3D-принтери мають особливість виділяти у повітря небезпечні для нашого організму частинки нанометрових розмірів (ультрадисперсні частинки - УДЧ).



**Рис. 1.** (<100 нм) Зміна концентрації УДЧ з дозволеної, і під час роботи 3D-принтерів.

На рис. 1 зображена зміна концентрації УДЧ з дозволеної, тієї, що спостерігається у фоновому режимі (3D-принтери вимкнені та до цього часу не вмикалися в даному приміщенні) до початку роботи 3D-принтерів, а саме – спочатку працювали два 3D-принтери, що друкували PLA пластмасою (виробляється з біоматеріалу), потім спостерігаємо період їх простою і наступний період, де вже працює 2 3D-принтери з PLA та 3 3D-принтери з ABS пластмасою. Останній період простою 3D-принтерів.



**Рис. 2.** Окремі показники викидів УДЧ від 3D-принтерів, що використовують два типи термопластичної вихідної сировини в даному дослідженні: (а) коефіцієнти викидів виміряних розмірів (11.5-116 нм) і (б) загальні коефіцієнти викидів УДЧ (<100 нм).

У табл. 1 описані одні і ті ж центральні оцінки коефіцієнтів викидів УДЧ з рис. 2 поряд з діапазоном невизначеності, розраховані для кожного розміру [1].

**Таблиця 1.** Оцінки інтенсивності викидів від окремих 3D принтерів, що використовують різні термопластичні вихідні матеріали.

Розмір частинок	Інтенсивність викидів УДЧ на принтер (№ хвил. <sup>-1</sup> )			
	2 PLA (Період 2)		2 PLA та 3 ABS (Період 3)	
	Центральна оцінка	Діапазон	Центральна оцінка	Діапазон
11,5 нм	$5,8 \times 10^8$	$[4,7-6,8] \times 10^8$	$1,4 \times 10^{10}$	$[1,1-1,7] \times 10^{10}$
15,4 нм	$2,8 \times 10^7$	$[2,6-3,0] \times 10^7$	$3,2 \times 10^{10}$	$[2,8-3,6] \times 10^{10}$
20,5 нм	$1,7 \times 10^8$	$[1,6-1,8] \times 10^8$	$2,5 \times 10^{10}$	$[2,2-2,7] \times 10^{10}$
27,4 нм	$2,4 \times 10^9$	$[2,2-2,5] \times 10^9$	$3,0 \times 10^{10}$	$[2,8-3,3] \times 10^{10}$
36,5 нм	$3,6 \times 10^9$	$[3,4-3,7] \times 10^9$	$3,4 \times 10^{10}$	$[3,2-3,7] \times 10^{10}$
48,7 нм	$4,5 \times 10^9$	$[4,2-4,7] \times 10^9$	$3,1 \times 10^{10}$	$[2,8-3,3] \times 10^{10}$
64,9 нм	$4,0 \times 10^9$	$[3,8-4,3] \times 10^9$	$2,2 \times 10^{10}$	$[2,0-2,4] \times 10^{10}$
86,6 нм	$3,0 \times 10^9$	$[2,8-3,2] \times 10^9$	$1,5 \times 10^{10}$	$[1,3-1,6] \times 10^{10}$
116 нм	$1,5 \times 10^9$	$[1,2-1,7] \times 10^9$	$6,9 \times 10^9$	$[5,4-8,5] \times 10^9$
Разом УФПС (<100 нм)	$2,0 \times 10^{10}$	$[1,9-2,0] \times 10^{10}$	$1,9 \times 10^{11}$	$[1,8-2,0] \times 10^{11}$

Незважаючи на це, настільні 3D-принтери, досліджені тут можуть бути класифіковані як «високі випромінювачі» з УДЧ рівнів викидів, більш ніж 1010 частинок на хвилину. Також слід зазначити, що викиди УДЧ на порядок вище у 3D-принтерів, що використовують ABS пластмасу, аніж PLA.

#### Висновки

Щорічно збільшується кількість підприємств зі шкідливими та небезпечними умовами праці. Недооцінка, ігнорування факторів створення відповідних умов для безпечної праці завдають непоправної шкоди здоров'ю працівників, негативно впливає на рівень продуктивності праці. І галузь 3D-індустрії також є областю праці, яка схильна до роботи зі шкідливими і навіть токсичними речовинами та матеріалами, проте вона відрізняється своїми особливими заходами безпеки та засобами, призначеними для роботи з небезпечними матеріалами.

Це дослідження говорить, що слід обережно використовувати деякі типи і підтипи 3D-принтерів, а також з підвищеною обережністю працювати в приміщеннях, де забезпечені не всі вимоги для безпечної роботи з 3D-принтерами, особливо с настільними (некомерційними) 3D-принтерами. Дотримуватися основних правил безпеки на підприємствах та правил безпеки роботи зі шкідливими речовинами.

#### Перспективи подальших досліджень.

3D-друк відносно ненова річ, проте до сих пір не повністю вивчена. З кожним роком з'являються нові методи та типи 3D-друку. Сама промисловість лише починає переходити на роботу с 3D-принтерами, що виробляють різну продукцію. А отже вплив різних методів та типів 3D-друку на здоров'я людини лише починає вивчатись. Знадобиться ще як мінімум 5, а то і десять років, перш ніж появляться дослідження впливу на здоров'я людини, бо сама спеціальність роботи с 3D-принтерами в промислових масштабах з'явилася декілька років назад.

1. Brent Stephens, Parham Azimi, Zeineb EI Orch, Tiffanie Ramous "Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers" - *Atmospheric Environment*, Volume 79, November 2013, Pages 334–339 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086>
2. Классификация 3D принтеров (7 технологий 3D печати) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geektimes.ru/post/208906/>
3. 3D печать, коротко и максимально ясно [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://media.wix.com/ugd/e25109\\_f92ab8c4d9034c13b1909a293439baf6.pdf](http://media.wix.com/ugd/e25109_f92ab8c4d9034c13b1909a293439baf6.pdf)
4. Инструкция по охране труда при работе с 3D-принтером [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://3dtoday.ru/blogs/kirill/instruction-on-labor-protection-when-working-with-the-3d-printer/>
5. Охрана праці в Україні : Нормативні документи/ Упоряд. О. М. Роїна, Ред. О. А. Кривенко. -2-ге вид., виправлене і доповнене. -К.: КНТ, 2006. -418 с.
6. Лапін В. Основи охорони праці : Навчальний посібник/ Віктор Лапін,; М-во освіти і науки України, НБУ, ЛБІ. -Львів: ЛБІ НБУ, 2004. -142 с.

7. Охорона праці: європейські і міжнародні стандарти та законодавство України (порівняльний аналіз) : Науково-практичний посібник: У 2-т./ Упор.: В. С. Венедіктов, В. П. Грохольський, М. І. Іншин та ін.; За ред. В. С. Венедіктова; М-во юстиції України, Державний департамент з питань адаптації законодавства, Українська асоціація фахівців трудового права. -Харків-Київ. -2006. - Т. 1. -2006. -713 с.. -Предм. покажч.: с. 713
8. Ярошевська В. М. Охорона праці в галузі : Навчальний посібник/ В. М. Ярошевська, В. Й. Чабан; М-во науки і освіти України, Український держ. ун-т водного господарства та природокористування. -Київ: ВД "Професіонал, 2004. -286 с.
9. Гандзюк М. Основи охорони праці : Підручник для студ. вуз./ Ми-хайло Гандзюк, Євген Желібо, Модест Халімовський, За ред. Михайла Гандзюка. -2-е вид.. -К.: Каравела, 2004. -405 с.
10. Геврик Є. Охорона праці : Навчальний посібник/ Є.О. Геврик,. -К.: Ельга: Ніка-Центр, 2003. – 279 с.