

УДК 504.05

ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ 3D-ДРУКУ

Є. О. Бовсуновський, канд. техн. наук, доц.; Р. О. Зінченко

Національний авіаційний університет

znrboxer@gmail.com

Проведено порівняльний еколого-технологічний аналіз найбільш широко використовуваних матеріалів для 3D-друку. Побудовано ряд типів сировини, що використовується для виготовлення об'ємних виробів, відповідно до інтенсивності впливу на навколишнє природне середовище. Визначено, що найменший вплив на навколишнє природне середовище чинить використання PolylacticAcid.

Ключові слова: 3D-друк, 3D-принтер, сировина, синтетичні нитки, навколишнє природне середовище, SWOT аналіз.

The comparative ecological and technological analysis of the most widely used materials for 3D-printing is performed. Several types of raw material used for the manufacture of bulk products, according to the intensity of the impact on the environment is built. Determined that the least impact on the environment makes use of PolylacticAcid.

Keywords: 3D-printing, 3D-printer, raw materials, synthetic yarn, environment, SWOT analysis.

Вступ

Науково-технічний прогрес, як і людина не може стояти на місці. Люди створюють швидше, ніж можуть спрогнозувати наслідки своєї діяльності. Чимало екологічних криз і катастроф цьому підтвердження.

Перший 3D-принтер був створений ще у 1983 р. американцем Чаком Халлом і на початку XXI ст. розвиток 3D-друку стає досить інтенсивним не тільки в промисловому виробництві, а й домашніх господарствах [1].

Актуальність

На сьогодні приватна компанія «Gartner» — одна з найбільших аналітичних фірм в галузі інформаційних технологій — пророкує збільшення обсягів промислового виробництва 3D-принтерів. Поставки 3D-принтерів вартістю до 100 тис. дол. США за підсумками 2013 р. зросли на 43 %, обсяг ринку склав 412 млн дол. США. При цьому на приватних осіб припадає 87 млн дол. США, на компанії — 325 млн дол. США. У 2014 р. поставки 3D-принтерів збільшилися на 62 %, а загальна сума продажів склала 669 млн дол. США, усього продано близько 56 500 подібних пристроїв.

У 2015–2016 рр. прогнозується подвоєння кількості поставлених кінцевому споживачеві 3D-принтерів[2].

Компанія «Gartner» далеко не одна, що створює 3D-принтери, але на її прикладі можна проаналізувати тенденцію виготовлення й продажів 3D-принтерів. З кожним роком їх стає все більше, відповідно збільшується використання сировини для 3D-друку. Отже, постає питання безпеки використання цієї сировини, а саме ниток для 3D-друку, з погляду навколишнього природного середовища (НПС).

Мета роботи — провести еколого-технологічний аналіз розповсюджених типів сировини, що використовують для друку об'ємних моделей (у процесі друку на 3D-принтерах та після закінчення строку служби готових виробів).

Методика проведення і результати досліджень

Сировина, яку використовують для 3D-друку залежить від моделі друку, найчастіше — це синтетичні нитки, але окрім них використовують, у більш коштовних принтерах — метал та скло відповідно.

Оскільки синтетичні нитки становлять більший відсоток сировини, яку використовує промисловість та населення — звернемо увагу саме на них.

Усі нитки, які використовують для друку в 3D-принтерах можна поділити на п'ять основних груп, а саме: стандартні, гнучкі, композитні, спеціальні, підтримуючі. Ці групи сформовані за призначенням та фізичними властивостями сировини (матеріалу) [3].

До групи стандартних ниток належать: PLA (Polylactic Acid), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PRO Series PLA (Polylactic Acid), PRO Series ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), Nylon (Polyamide), PET (Polyethylene Terephthalate).

До гнучких ниток належать: TPE, Soft PLA (Polylactic Acid), TPU (Thermoplastic Polyurethane).

До композитних ниток належать: LAYBRICK, LAYWOO-D3, Conductive ABS Filament, LayCeramic, CarbonFiberReinforced PLA, Steel PLA, MagneticIron PLA, FillSeries, Lay-Felt, Gel-Lay, LAY-FOMM 60, LAY-FOMM 40.

До спеціальних ниток належать: Polycarbonate, Bendlay, MoldLay.

Підтримуючі нитки: PVA (PolyvinylAcetate), HighImpactPolystyrene.

Нитки PLA — полімолочні кислоти, один з найбільш використовуваних матеріалів для настільних 3D-принтерів, цей матеріал іде по замовчуванню для багатьох принтерів. PLA не є складними, оскільки утворюються з полімерної кислоти, а вона в свою чергу з кукурудзи-крохмалю. Простий в утилізації PLA за короткий час розкладається в навколишньому середовищі. Цей матеріал можна назвати екологічним та використовувати не завдаючи шкоди НПС та здоров'ю людини. При фарбуванні, може з'явитися токсичний ефект, безпосередньо від самої фарби. PLA часто використовують в харчовій промисловості — харчові контейнери, фантики та медицині — біорозкладні імпланти, шви [3].

PRO Series PLA — призначений для створення професійних друківаних частин високої якості. Відрізняється від простих ниток PLA вищою концентрацією барвника, а отже більш яскравим забарвленням [3].

Нитки ABS-акрилонітріл-бутадієн-стирол, ще один найбільш використовуваних матеріалів для друку. Використовується для виготовлення довговічних деталей, які повинні витримувати високі температури. Створений на базі нафтопродукту. Їх недолік — виділення токсичних речовин з характерним неприємним запахом під час друку, а також виділення

аналогічних поліефірних сполук при довготривалому перебуванні під сонцем. Утилізація стає більш складнішою, оскільки матеріал містить нафтопродукти, які розкладаються досить довго, а при спалюванні виділяє пил, CO.

Матеріал придатний до повторного використання, але досвід показує, що не всі люди і підприємства здають на пункти утилізації відпрацьовані матеріали [3].

PRO Series ABS — призначений для використання при виробництві частин високої якості та точності, має глянцево забарвлення. На відмінну від PLA потребує нагріву нижнього шару (ложе), на якому відбувається друк [4].

Nylon — міцний, довговічний, універсальний, але гігроскопічний. Нейлон може поглинути більше чим 10 % від своєї ваги в воді менше чим за 24 год. Поряд з високою міцністю нейлонові волокна характеризуються стійкістю до стирання, дії багаторазової деформації (вигинів). Ці нитки малостійкі до дії кислот — макромолекули капрону піддаються гідролізу за місцем амідних зв'язків. Порівняно невелика і теплостійкість капрону. Під час нагрівання його міцність знижується, при 215 °C відбувається плавлення [4].

PET — поліетилентерефталат, міцніший ніж PLA, схвалений для харчових контейнерів і інструментів, що використовують для споживання їжі, не виділяє запахів або пари під час друку. PET-нитки не є біорозкладаними. Отже існує загроза їх накопичення в НПС, як відходів, хоча технічно можлива їх утилізація та повторне використання [4].

TPE — гнучкий матеріал, який використовується для виготовлення деталей, яким необхідно згинатися, або бути еластичними, наприклад: пробки, ремені, пружини, телефонні чохла.

TPU — термопластичний поліуретан, еластичний, володіє стійкістю до мінеральних мастил, зносостійкий матеріал з твердістю за Шором 95A. Використовується в автомобільних приладах, панелях, коліщатках, електронних інструментах, спортивних товарах, медичних приладах, приводних ременях, взутті, надувних плотах, різних екструдованих плівках та листів. За такого великого вжитку, кількість відпрацьованих матеріалів з кожним роком збільшується. Біорозкладання в НПС ускладнене за рахунок досить високої твердості, а отже необхідної технології утилізації таких відходів [3].

LAYWOO-D3 — матеріал що містить деревину та дає зовнішній вигляд і відчуття ДВП. Надає матеріалам дерев'яної властивості, а саме: здатність бути стиснутим, пофарбованим, може бути відшліфованим.

LAYWOO-D3 виконаний з комбінації перероблених деревних частинок в поєднанні з полімерними сполуками дозволяє йому бути розплавленим і екструдованому 3D-принтері [3].

Conductive ABS Filament — модифікована версія стандартної ABS-нитки, яка має опір 1200 Ом /см [4].

LayCeramic — нитки, які використовують, щоб зробити керамічні предмети. LayCeramic має всі властивості нормальної глини, включаючи можливість мати гарний зовнішній вигляд і підвищену міцність [3].

CarbonFiberReinforced PLA — вуглецеві волокна армованих PLA, забезпечують структурну міцність і адгезію шару з дуже низьким викривлення. Через вуглецеві волокна, які знаходяться в нитці, вона містить підвищену жорсткість, через зростання структурної. Такі нитки ідеально підходить для друку елементів, які не гнуться, таких як: рами, опори, гвинти та інструменти [3].

Steel PLA — стальна PLA-нитка, створена за рахунок змішування сталевих волокон з пластиком. За рахунок сталевих волокон виріб набуває ознак сталі — може поліруватися та приймати форму литого металу.

MagneticIron PLA — магніто-залізна PLA-нитка, єдина у своєму роді. Особливість — виріб (продукт) набуває магнітних властивостей.

FillSeries — BronzeFill, BrassFill, CopperFill, WoodFill, BambooFill. Матеріали утворені при змішуванні у співвідношеннях 80 % PLA і 20 % матеріалу. Змішуються як правило у вигляді порошку. Відповідно відпрацьований матеріал може частково розкладатися [3].

Polycarbonate — полікарбонат (PC), міцний і дуже стійкий до впливу — цей матеріал використовують при виготовленні куленепробивного скла. Полікарбонат є надзвичайно жорстким і міцним — це термопластичний матеріал, стійкий до температури.

Він податливий і за низьких температур може бути зігнутий без утворення тріщини [3].

Bendlay — модифікований бутадієн, що є безпечним для побутових і харчових продуктів. BendLay має високу міжпластову адгезію, що робить його дійсно прекрасним і простим у друці.

Порівняно з ABS — поглинає набагато менше вологи з повітря і менше деформується.

PVA — полівінілацетат, первинний матеріал, який використовують для підтримки функцій інших ниток, водорозчинний.

HighImpactPolystyrene — ударостійкий полістирол, схожий на ABS. Використовують як розчинник з ABS зменшуючи вірогідність деформації виробу.

Основними параметрами, що впливають на інтенсивність негативного впливу на НПС є:

- витрати на виготовлення (первинні етапи підготовки, створення чистого продукту — тільки після цього етапу можна використовувати для друку);
- витрати енергії (використання електроенергії, залежить від необхідної заданої температури друкарського матеріалу та необхідності підігріву ложа для друку тим чи іншим матеріалом);
- строк служби готового виробу (інтенсивність накопичення відпрацьованих матеріалів після закінчення терміну експлуатації);
- здатність до повторного використання (повторне використання після проведення деяких операцій);
- здатність до біорозкладу (розкладання в НПС під дією природних факторів).

Параметри синтетичних ниток оцінювалися за 10 бальною шкалою де 1 бал відповідає найменшому негативному впливу на НПС, а 10 — найбільшому негативному впливу на НПС.

Результати оцінювання наведено в таблиці.

Оцінка негативного впливу на НПС синтетичних ниток, що використовуються для 3D-друку

№ з/п	Вид матеріалу	Умовні показники для порівняння впливів матеріалів на НПС					Сума
		Витрати на виготовлення	Витрати енергії	Строк служби готового виробу	Здатність до повторного використання	Здатність до біорозкладу	
1	PLA	1	3	1	1	1	7
2	ABS	3	4	5	4	7	23
3	PRO Series PLA	2	3	1	1	2	9
4	PRO Series ABS	3	4	5	5	7	24
5	Nylon	2	3	8	3	8	24
6	PET	4	4	9	4	10	28
7	TPE	2	3	4	3	5	17

Для зведених результатів та порівняння еколого-технологічних параметрів найбільш широко використовуваних ниток для 3D-друку проведемо SWOT-аналіз.

SWOT-аналіз проведений на основі даних з таблиці для ниток PLA і ABS, а також їх професійних серій та Nylon, PET, TPE. SWOT базується на порівнянні сильних та слабких сторін, можливостях чи загрозах певного процесу використання матеріалу.

Відповідно до таблиці, перевагами PLA є: здатність до біорозкладу та простота виготовлення матеріалу. Недоліки PLA полягають у використанні чималої кількості електроенергії. Дешевизна матеріалу PLA дає можливість його широкого використання в харчовій промисловості та медицині. Не все можна замінити на матеріали з PLA, при масовому їх впровадженні у виробництво, відповідно збільшиться потреба в сировинній масі.

Аналізуючи дані таблиці по матеріалу ABS, перевагою його використання є: за структурою — більш міцніший за PLA та можливість витримувати високі температури. Недоліки ABS — матеріал створюється на основі нафтопродукту, при спалюванні виділяє CO та пил. Можливості ABS — повторне використання, після відпрацювання строку експлуатації; використання для виготовлення довговічних деталей, які витримують високі температури і в деяких випадках слугують довше ніж матеріали, які були замінені; масове впровадженні ABS в побуті.

Загрози використання матеріалів ABS — при збільшенні обсягів використання ABS матеріалів, не зважаючи на їх призначення і не налагодження необхідного механізму утилізації — накопичення у великій кількості в НПС, відповідно забруднення довкілля, оскільки ABS є досить стійким в НПС.

SWOT-аналіз ниток PRO Series PLA близький до SWOT-аналізу серії PLA, є лише одна відмінність — до загроз додається складність до біорозкладу, оскільки в склад додаються барвники.

Перевагами ниток Nylon є: міцність, довговічність, універсальність, недолік — гігроскопічність. Можливості Nylon — може використовувати у багатьох галузях і замінити коштовні деталі. Загрози — за неналежного зберігання, використання, експлуатації можливе псування сировини, або готового продукту.

Переваги PET-ниток у міцності та в довготривалості використання виробу надрукованому на 3D-принтерах. Недоліки — при використанні цих ниток необхідно підігрівати ложе, а

відповідно збільшуються затрати енергії. Можливості PET-ниток — у перспективі використання в харчовій промисловості. Недоліки — не є біорозкладними, велика вірогідність накопичення в НПС, після закінчення строку експлуатації.

Переваги TPE-ниток — гнучкість та еластичність матеріалу. Недоліки — порівняно невелика міцність, неможливість використання для заміни твердих деталей. Можливості — масове використання в побуті для задоволення потреб населення. Загрози — у разі не належного використання різко скорочується строк експлуатації.

Висновок

Проведений еколого-технологічний аналіз показав, що на даному етапі розвитку об'ємних виробів 3D-друку найменший вплив на НПС чинить матеріал PLA, а відповідно матеріал ABS та PET впливає на довкілля найбільше.

Аналіз дозволяє побудувати ряд типів сировини, що використовують для виготовлення об'ємних виробів, відповідно до інтенсивності впливу на НПС від найменшого до найбільшого:

1. PLA та PRO Series PLA;
2. TPE;
3. ABS та PRO Series ABS;
4. Nylon;
5. PET.

Тобто, перспективною сировиною для 3D-друку є нитки на основі PLA. Оскільки вони дешеві у виробництві і є природною сировиною, що легко розкладається в НПС на нейтральні сполуки. Обмеження використання PLA є відносно короткий час стабільності готових виробів, але існує можливість удосконалення технічних властивостей даної сировини за рахунок додавання широкого спектру модифікаторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Три виміри майбутнього: конференція про 3D-принтери в Києві [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. — Електронні дані. — Режим доступу: <http://platfor.ma/magazine/text-sq/projects/tri-vimiri-maibutnogo/> (дата звернення 24.02.2016). — Назва з екрана.
2. Зброя з 3D-принтера [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. — Електронні дані. — Режим доступу: <http://wartime.org.ua/8819-zbroya-z-3d-printera.html> (дата звернення 24.02.2016) — Назва з екрана.
3. MatterHackers 3DPRINTERFILAMENTCOMPARISONGUIDE [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. — Електронні дані. — Режим доступу: <https://www.matterhack>

ers.com/3d-printer-filament-compare (дата звернення 24.02.2016). — Назва з екрана.

4. 3DPRINTINGINDUSTRY. — [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. — Електронні дані. — Режим доступу: <http://3dprintingindustry.com/environment/> (дата звернення 24.02.2016). — Назва з екрана.

REFERENCES

1. Thethreedimensionsofthefuture: conferenceon 3D-printers Kiev [electronicresource]: [web site]. — Electronic data. — Access: <http://platfor.ma/magazine/text-sq/projects/tri-vimiri-maibutnogo/> (dateofappeal 02/24/2016) — The name of thescreen.

2. Weaponsof 3D-printer [electronicresource]: [website]. — Electronicdata. — Access: <http://wartime.org.ua/8819-zbroya-z-3d-printera.html> (dateofappeal 02/24/2016) — The name of the screen.

3. MatterHackers 3D PRINTER FILAMENT COMPARISON GUIDE [electronicresource]: [web site]. — Electronic data. — Access: <https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare> (dateofappeal 02/24/2016) — The name of the screen.

4. 3D PRINTING INDUSTRY [electronic resource]: [website]. —Electronicdata. — Access: <http://3dprintingindustry.com/environment/> (dateofappeal 02/24/2016) — The name of the screen.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2016