

УДК 655.532.003.24

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ДОСТУПНОЇ ТАКТИЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ 3D-ДРУКОМ

Н. Д. Лотошинська, В. І. Манько

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79000, Україна*

Останніми роками інтеграція технології 3D-друку в різні сфери викликала значний інтерес та інновації. Одним з особливо перспективних застосувань цієї технології є її потенціал для покращення життя людей з вадами зору. 3D-друк пропонує унікальні можливості для вирішення проблем, з якими стикається ця спільнота, – від освіти і доступності до допоміжних засобів для повсякденного життя й тактильних навчальних матеріалів. Крім того, розглянуті матеріали проливають світло на виклики та обмеження, що виникають при використанні 3D-друку для людей з порушеннями зору. Такі питання, як точність друку, сумісність матеріалів і міркування щодо дизайну, створюють значні перешкоди, які необхідно вирішити, щоб максимізувати ефективність 3D-друкованих проєктів. Дослідження і вдосконалення методів адитивного виробництва обіцяють подолати ці проблеми і розширити сферу застосування для людей з вадами зору.

Враховуючи вищесказане, ця оглядова стаття має на меті надати всебічний огляд поточних перспектив використання 3D-друку для покращення життя людей з порушеннями зору. Синтезуючи сучасні дослідження та вивчаючи майбутні напрямки, ми прагнемо зробити свій внесок у дискусію навколо потенціалу технології 3D-друку для підвищення доступності, незалежності та якості життя людей з порушеннями зору.

Ключові слова: 3D-друк, люди з вадами зору, доступність, освіта, тактильні матеріали, інклюзивний дизайн.

Постановка проблеми. У світі та в Україні живе багато людей з особливими потребами. За даними Державної служби статистики України, на початок 2019 року їх було понад 2,6 мільйона, що становить близько 6,3 % від загальної чисельності населення, а у воєнний та повоєнний час їхня частка значно зростає. Розробка доступного середовища для цієї категорії людей, що є важливою складовою інклюзивного середовища, є актуальною проблемою. Протягом багатьох років для вирішення цих проблем були розроблені різні допоміжні технології, серед яких 3D-друк став одним з найперспективніших інструментів для покращення навчального процесу та життя людей з вадами зору загалом. Питання використання 3D-друку для створення інклюзивного середовища також обговорювалося на Глобальному саміті з управління технологіями у квітні 2021 року [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. 3D-друк – це сфера досліджень, що стрімко розвивається і робить значний внесок у інновації в різних галузях техніки, науки та медицини. 3D-друк став перспективною технологією для виробництва, пропонуючи такі переваги, як гнучкість і кастомізація. Хоча науковий прогрес технологій 3D-друку уможливив розробку складних геометричних форм, все ще зростає попит на інноваційні методи та матеріали для 3D-друку для вирішення проблем, пов'язаних зі швидкістю та точністю друку, обробкою поверхні, стабільністю та функціональністю.

Дослідники активно працюють над удосконаленням різних аспектів 3D-друку, включно з матеріалами, швидкістю, точністю, обробкою поверхні, стабільністю і функціональністю, а також їхні дослідження спрямовані на покращення доступності та збагачення освітнього досвіду для людей з порушеннями зору.

Українські та зарубіжні дослідники, такі як С. Гавенко, В. Маїк, В. Бєсков, Д. Вакуліч, М. Лабєцька, Є. Синьова, М. Яців, К. Степень, Е. Кібіркштіс, К. Фредрік, М. Ренчер та інші, здійснили значний внесок у вивчення проблеми, пов'язаної із якістю тактильної продукції. Серед українських досліджень можна виокремити роботи В. Маїка, Т. Дудка, чий напрямок досліджень – покращення шрифту Брайля та вдосконалення друкарських матеріалів для людей з вадами зору [2]. Ця група вчених досліджувала матеріали для виготовлення друкарських форм, фізико-механічні властивості та явища формування рельєфних зображень й шляхи оптимізації друку шрифтом Брайля. Завдяки їхнім дослідженням була показана чітка картина усіх аспектів та нюансів друку Брайлем та методи його удосконалення.

Також є багато доробків і в іноземних дослідженнях. До прикладу, дослідження, проведене вченими Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі, зосереджене на підвищенні швидкості 3D-друку. Дослідники розробили нову технологію друку під назвою «Безперервне виробництво рідких інтерфейсів», яка дозволяє значно збільшити швидкість друку порівняно з традиційними пошаровими методами [3]. Вони продемонстрували безперервне створення монолітних полімерних деталей розміром до десятків сантиметрів з роздільною здатністю менше 100 мікрометрів. Безперервне виробництво рідкої межі поділу фаз досягається за допомогою киснево-проникного вікна під площиною проєкції ультрафіолетового зображення, яке створює «мертву зону» (стійку рідку межу поділу фаз), де фотополімеризація гальмується між вікном і полімеризуючою частиною. Дослідники визначили критичні параметри керування і показали, що складні тверді деталі можна витягувати зі смоли зі швидкістю сотні міліметрів на годину. Така швидкість друку дозволяє виготовляти деталі за лічені хвилини, а не години.

Дослідники з Массачусетського технологічного інституту розробили новий метод під назвою «Rapid Liquid Printing» («Швидкий рідинний друк»), який забезпечує швидший і точніший 3D-друк завдяки використанню матеріалу на основі гелю замість традиційних твердих матеріалів [4].

RLP – експериментальний процес, що використовує резервуар з гранульованим гелем як середовище для підвищення швидкості, розміру та властивостей матеріалів 3D-друку. Ця технологія дозволяє друкувати у будь-якому напрямку,

наносючи рідкий матеріал у гель для формування 3D-структур. Система RLP може використовувати різні матеріали і працювати на різних верстатах, незалежно від платформи. Вона дозволяє друкувати об'єкти різних масштабів, від малих до великих, дуже швидко – за секунди і хвилини, а не години чи дні.

Дослідження, проведене вченими з Університету Флориди, було спрямоване на покращення якості поверхні 3D-друкованих об'єктів. Дослідники розробили нову техніку постобробки під назвою «згладжування паром», яка передбачає вплив на надрукований об'єкт випаровуваного розчинника для згладжування його поверхні, що призводить до вищої якості обробки [5]. Термічне згладжування (TS) використовує тепло для локального оплавлення матеріалу, щоб зменшити шорсткість без недоліків парового згладжування. У цьому дослідженні порівнюється вплив обох методів на шорсткість поверхні, а також їхній вплив на високочастотну провідність мікродисперсних провідників. Результати показують значне зменшення шорсткості поверхні та покращення високочастотної провідності за допомогою обох методів.

Мета статті – дослідження можливостей використання 3D-друку для поліпшення якості життя людей з вадами зору.

Виклад основного матеріалу дослідження. У тифлології, яка вивчає сліпоту та порушення зору, використовують певні терміни, щоб говорити про публікації, які призначені для сприйняття через органи чуття. Наприклад:

- «сенсорний» означає створений для сприйняття різних видів інформації, особливо через дотик;
- «тактильний» означає те, що можна відчувати через дотик, наприклад, текстуру або тиск. Здатність відчувати речі через дотик є основою для розуміння цих матеріалів.

3D-матеріал – це матеріал, який має здатність відображати тривимірні об'єкти з реалістичним ефектом глибини, текстури та форми. Це може бути будь-який матеріал, який використовується для створення 3D-об'єктів у комп'ютерній графіці або для виробництва реальних об'єктів за допомогою 3D-друку. У світі комп'ютерної графіки 3D-матеріали використовуються для створення реалістичних моделей, анімації та спеціальних ефектів у відеоіграх, фільмах, архітектурному дизайні та інших галузях.

Тактильна продукція для людей з вадами зору – це матеріали, предмети або інформаційні носії, які створені так, щоб люди з обмеженими можливостями зору могли відчувати їх за допомогою дотику. Це може вміщувати такі різноманітні речі, як написані матеріали шрифтом Брайля, рельєфні картинки, макети, спеціальні пристрої та інші засоби, які дозволяють людям з вадами зору отримувати інформацію, розуміти світ навколо себе і взаємодіяти з ним нарівні з іншими. Такі матеріали дуже важливі для забезпечення доступності інформації та культурних ресурсів для всіх людей.

Розвиток наукових можливостей 3D-друку стає перспективним напрямком для поліпшення якості життя людей з вадами зору. В цьому контексті існує кілька ключових аспектів, які варто враховувати для досягнення трансформаційних результатів:

1. Підвищення точності та роздільної здатності.

Збільшення точності та роздільної здатності 3D-друку є критичним для створення більш детальної та точної тактильної графіки і текстів у шрифті Брайля. Вдосконалення технологій друку, таких як використання друкуючих голівок з вищою роздільною здатністю та покращених матеріалів, дозволить створювати більш тонкі тактильні характеристики. Це сприятиме збільшенню розуміння складних деталей та покращенню сприйняття інформації незрячими людьми [6]. До прикладу, зараз існує так званий DLP 3D-друк, який має роздільну здатність 3,8 мкм пікселів, що у десятки разів більша за стандартні пристрої [7].

DLP 3D-друк – це одна з форм адитивного виробництва, що походить від технології SLA. Основним фізичним процесом цієї технології є полімеризація рідкої смоли під впливом ультрафіолетового світла. У цьому процесі пристрої створюються шар за шаром, як зображено на рис. 1. У використанні DLP зображення генерується світловим двигуном, потім проектується через оптичний блок і фокусується за допомогою поворотного дзеркала, яке гарантує, що проєктоване зображення буде сфокусоване трохи вище дна лотка зі смолою, де відбувається полімеризація тонкого шару фотополімеру. Це утворює тонкий шар твердого полімеру. Платформа змінює положення для друкування наступних шарів. На рисунку показано, як виготовляється канал, залишаючи в об'ємі неполімеризовану порожнечу. Після друку канали очищаються від неполімеризованої смоли за допомогою вакууму та промиваються ізопропіловим спиртом.

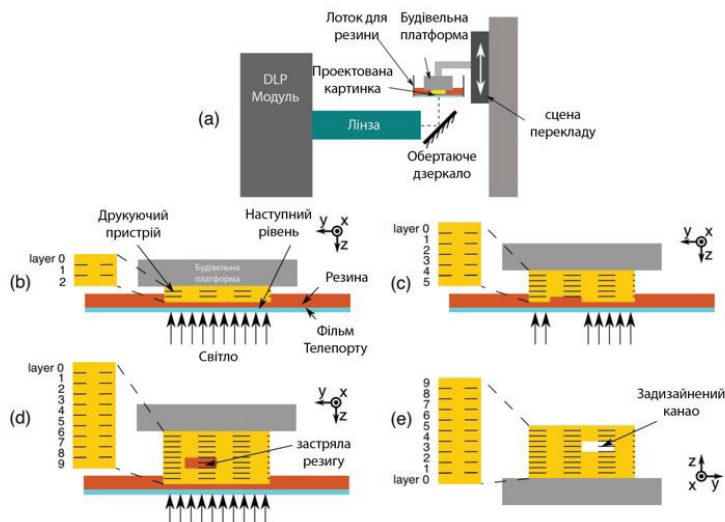


Рис. 1. Налаштування друку та процесу DLP

Крім того, при затримці в 1000 мс між експозиціями шарів можливе досягнення шарами товщини 5 мкм. Ця затримка дозволила системі осісти, витискаючи смолу з-під друкованого пристрою. Для цього при виготовленні рекомендовано використовувати склад матеріалу: 1 % Irgacure-819, 4 % NPS і 95 % PEGDA за вагою.

2. Використання різних матеріалів.

Дослідження можливостей інтеграції різних матеріалів у 3D-друк дозволить створювати тактильні графічні зображення з різними текстурами та властивостями. Це надасть незрячим можливість взаємодіяти з різними поверхнями та текстурами, що сприятиме глибшому осмисленню об'єктів та концепцій [8].

У сучасному світі використовуються різноманітні матеріали для 3D-друку – такі стандартні, як пластики, метал, але й також рідкісні, як волокна чи ферофлюїди. Ось стисла характеристика найпопулярніших матеріалів:

1. Полімери:

- універсальні та доступні;
- використовуються в різних методах 3D-друку, таких як FDM;
- наприклад, PLA, ABS, PETG, нейлон, полікарбонат і HIPS;
- кожен полімер має унікальні характеристики та сфери застосування;
- до обмежень належать крихкість, деформація (для ABS) і чутливість до вологи (для PETG).

Полімери є одні з найпопулярніших матеріалів для людей з вадами зору через їхню довговічність та універсальність (рис. 2).

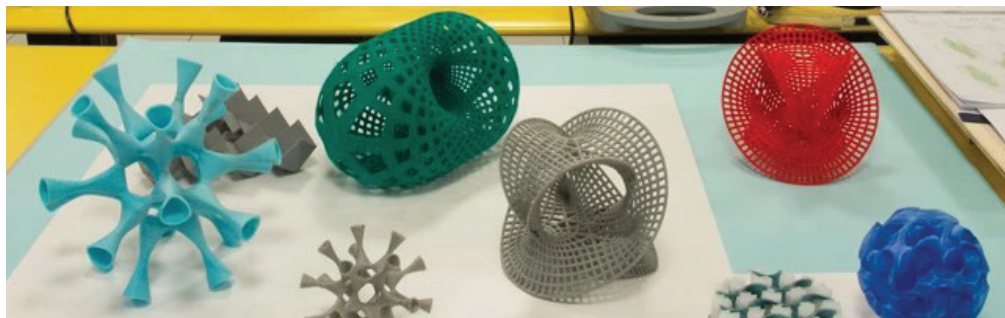


Рис. 2. Приклади 3D-моделей з полімерів

2. Метали:

- використовуються у 3D-друці металом;
- приклади: кобальт-хромовий сплав, нержавіюча сталь, алюміній, титан, інконель, золото, тантал, хастелой, нікель-хром, вольфрамкові сплави та мідь;
- використовуються в аерокосмічній, медичній та автоматизованій промисловості;
- кожен метал має специфічні властивості, такі як корозійна стійкість, міцність і легкість;
- підходить для технологій SLM або DMP.

Метали зазвичай використовують для нанесення шрифту Брайля або створення масштабованих моделей реальних об'єктів. Через свою стійкість такі моделі часто використовують на вулиці, як, до прикладу, мініатюрні копії пам'ятників у Львові (рис. 3).



Рис. 3. Приклад металевої 3D-моделі для людей з вадами зору

3. Армовані волокном композити (рис. 4):

- складаються з матриці та армування, наприклад, вуглецевого волокна або скловолокна;
- використовуються в промислових інструментах, пристосуваннях і компонентах, що вимагають високої міцності;
- приклади містять скловолокно, вуглецеве волокно, кевлар і високотемпературне скловолокно;
- до викликів належать покращення міцності міжшарових зв'язків та контроль пористості.



Рис. 4. Приклад моделей з армованого волокна

4. Розумні матеріали:

- змінюють властивості у відповідь на фактори навколишнього середовища, такі як температура, тиск, світло або магнітні поля;
- приклади містять сплави з пам'яттю форми, ферорідини, магнітно-резонансні рідини, електроактивні полімери, п'єзоелектричні матеріали та хромогенні матеріали;

- використовуються в різних сферах, таких як медичні прилади, гучномовці, датчики та розумні вікна;
- мають такі переваги, як гнучкість, швидкий час відгуку та адаптивність.

На диво, такі матеріали якраз є зручними для людей з вадами зору, оскільки такі люди реагують на звуки. Це дозволяє створити 3D-моделі, які б резонували від голосу людини, що допомагало б на побутовому рівні.

5. Матеріали Bioink:

- використовуються в 3D-біодруці для виготовлення тканин і органів;
- складаються з гідрогелів (наприклад, альгінату, желатину) або синтетичних полімерів (наприклад, PCL, PLA);
- містять живі клітини для імітації позаклітинного матричного середовища;
- застосування передбачає персоналізовану терапію, контроль вивільнення ліків та тканинну інженерію;
- мають такі переваги, як біосумісність, мінімальний час загоєння і знижений ризик відторгнення.

Окрім використання в медицині, такі матеріали є дуже корисними в навчанні завдяки своїй м'якій структурі.

Різні матеріали мають унікальні властивості, корисні в багатьох галузях, таких як виробництво, аерокосмічна промисловість, охорона здоров'я та біотехнології. Незважаючи на труднощі, постійні дослідження в галузі 3D-друку вдосконалюють ці матеріали, створюючи більше можливостей для інновацій та застосування, приносячи користь людям з вадами зору у багатьох сферах життя [9].

Пошук матеріалів з унікальними властивостями, такими як підвищена гнучкість або теплопровідність, може розширити можливості тактильного досвіду та сприяти розвитку нових допоміжних пристроїв. До прикладу, використання таких матеріалів, як каніфоль чи бджолиний віск. Навіть уявити складно, що їх можна використовувати в 3D-друці. Але недавно були проведені дослідження з цими природними матеріалами. Як основну складову використовували полікапролактон (PCL) Sara™ 6800 в комерційному класі, який має густину 1,15 г/см³ та індекс текучості розплаву (MFI) 2–4 г/10 хв (160 °C, 2,16 кг). До складу також входили каніфоль та бджолиний віск як натуральні добавки. Цей полімер має температуру розм'якшення 76 °C, індекс кислотності 167 і колірне значення 4+ за шкалою Гарднера. Бджолиний віск (BW) був придбаний у професійного бджоляра з Depósito Municipal de Abejas de Alcoy (Alcoy, Іспанія) і має температуру плавлення 63 °C.

Отримані матеріали були оцінені за механічними, термічними та структурними характеристиками. Результати досліджень показали, що рецептура, яка вміщувала полікапролактон разом з каніфоллю та бджолиним воском, продемонструвала кращі властивості під час процесу 3D-друку. Механічні тестування підтвердили, що додавання суміші каніфоллю та бджолиного воску покращує міцність на розрив порівняно з окремим застосуванням цих добавок, що полегшує процес друку. З іншого боку, додавання бджолиного воску збільшує пластичність матеріалу, що може ускладнити процес 3D-друку, незважаючи на те, що обидві природні добавки мають пластифікуючий ефект [10].

За останні роки було досягнуто значних успіхів у розвитку технологій, розроблених спеціально для людей з порушеннями зору. Ці інновації спрямовані на вирішення проблем і надання рішень, що сприяють більшій незалежності, доступності та інклюзії.

Розглянемо деякі з цих передових технологій, що призначені для розширення можливостей та підтримки людей з порушеннями зору в різних аспектах їхнього повсякденного життя.

Braille3D – це інноваційне програмне забезпечення, як додаток, призначене для допомоги у вивченні та освоєнні системи Брайля, що використовується передусім людьми з порушеннями зору для спілкування та навчання. Цей інноваційний інструмент дозволяє користувачам візуалізувати символи Брайля у тривимірному просторі, покращуючи розуміння та запам'ятовування.

Використовуючи сучасні технології, такі як смартфони, *Braille3D* забезпечує зручний і портативний засіб доступу до освітніх ресурсів для людей з порушеннями зору, дозволяючи їм швидше і ефективніше вивчати систему Брайля, а також розвивати свої навички читання і письма.

Додаток пропонує навчальні вправи зі шрифтом Брайля для 1-го класу, що містять запитання з декількома варіантами відповідей та інтерактивне розпізнавання зразків шрифту Брайля. Вчителі можуть створювати вправи та відстежувати прогрес учнів за допомогою системи управління контентом. Крім того, додаток дозволяє користувачам завантажувати 3D-моделі для тактильного навчання, які можна роздрукувати за допомогою 3D-принтера. Під час тестування використовувався 3D-принтер *da Vinci 1.0 AiO*, який дозволив отримати готовий продукт після 4-годинного друку.

Розробники підкреслюють, що цей додаток є особливо корисним для студентів, які є незрячими, оскільки він допомагає їм набагато швидше зрозуміти та ознайомитися з символами шрифту Брайля, ніж традиційні пристрої, які вони використовують. Розробники радять звернути увагу на розширення функціональних можливостей, які можуть бути корисними для подальшого розвитку цієї допоміжної технології.

Оскільки учні чи студенти з порушеннями зору не можуть отримати доступ до візуальних матеріалів, використання 3D-моделей стає важливими допоміжними засобами в навчанні. Вчителі, які працюють з учнями з порушеннями зору в малих групах, користуються цими моделями для пояснення абстрактних концепцій, які складно передати лише словесно [6].

Наприклад, структуру ДНК надзвичайно складно представити учням з порушеннями зору через її малі розміри, тому використання тривимірних моделей стає вельми корисним. Ці моделі допомагають студентам краще зрозуміти концепції та покращити їхні навчальні досягнення [11]. Завдяки останнім досягненням у технологіях 3D-друку доступність таких моделей зросла. Раніше на ринку була обмежена кількість дорогих тактильних 3D-моделей, тому вчителі часто створювали власні моделі, використовуючи наявні матеріали.

Студентам з вадами зору важко засвоювати різні поняття академічної програми, оскільки діаграми, зображення та інші візуальні матеріали недоступні для них.

Щоб вирішити цю проблему, дослідники розробили інтерактивні 3D-друковані моделі (рис. 5), які надають звукові описи, коли користувач торкається компонентів моделі [12].



Рис. 5. Приклад інтерактивного застосунку

Також дуже схожим випадком є розробка системи *TacPic*, онлайн-платформи, призначеної для полегшення створення тактильних навчальних матеріалів для слабозорих і незрячих учнів (рис. 6). Система використовує вхідні зображення від користувачів, які обробляються за допомогою хмарних обчислень зі штучним інтелектом для створення тактильних матеріалів, таких як флеш-карти, карти та пазли. Ці матеріали можна створювати швидше порівняно з традиційними методами, пропонуючи педагогам і батькам можливість створювати персоналізовані тактильні навчальні матеріали [13].

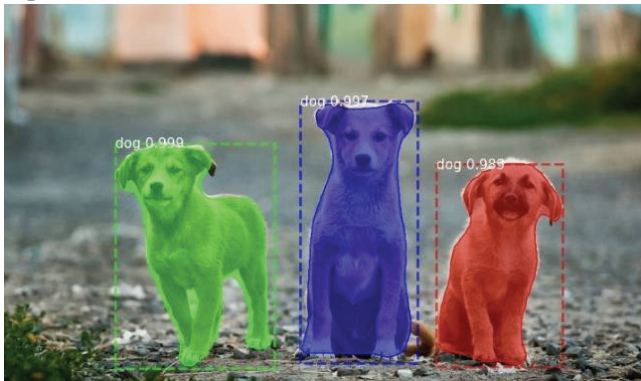


Рис. 6. Приклад розпізнавання вхідного зображення

Дослідники також зібрали відгуки вчителів-тифлопедагогів та учнів, які працюють з тифлопедагогами, і запропонували напрямки для вдосконалення, такі як спрощення зображень та пристосування до різних рівнів порушення зору. Майбутні розробки можуть бути зосереджені на оптимізації алгоритмів, вміщенні додаткових функцій і підвищенні ефективності друку.

BumpyReader – це відомий проєкт, що базується в Нідерландах і зосереджується на використанні технології 3D-друку для підвищення доступності інформації для людей з вадами зору. Проєкт спрямований на подолання розриву між цифровим контентом і шрифтом Брайля, забезпечуючи більш інклюзивний спосіб доступу до інформації для людей з порушеннями зору.

Однією з ключових інновацій проєкту *BumpyReader* є розробка 3D-друкованого пристрою, який може перекладати цифровий текст шрифтом Брайля в режимі реального часу. Цей пристрій слугує портативним пристроєм для читання шрифтом Брайля, що дозволяє користувачам отримувати доступ до широкого спектра цифрового контенту, включно з електронними книгами, вебсайтами та документами у форматі Брайля.

Пристрій працює завдяки поєднанню програмних і апаратних компонентів. Цифровий текст обробляється програмним забезпеченням, яке перетворює його на символи шрифтом Брайля. Потім ці символи надсилаються на апаратний компонент, який складається з масиву брайлівських штифтів, що можуть динамічно змінювати положення для формування потрібних брайлівських символів. Користувачі можуть взаємодіяти з пристроєм, торкаючись символів Брайля, коли вони з'являються на поверхні, що дозволяє їм читати текст за допомогою тактильного зворотного зв'язку.

Дизайн *BumpyReader*, надрукований на 3D-принтері, має вирішальне значення для його цінової доступності. Використовуючи технологію 3D-друку, проєкт може виготовити пристрій за відносно низькою ціною, а також кастомізувати його відповідно до конкретних потреб окремих користувачів. Цей аспект кастомізації особливо важливий для забезпечення оптимального користувацького досвіду, оскільки читачі шрифтом Брайля можуть мати різні вподобання та вимоги.

Висновки. За останні роки значні досягнення в галузі технологій, спрямованих на поліпшення якості життя людей з вадами зору, свідчать про різноманітність та інноваційність підходів у цьому напрямку. Новітні та вже сталі матеріали, що слугують основою всіх сучасних 3D-технологій, значно більше почали використовувати для 3D-друку у повсякденні для полегшення життя людей з вадами зору.

Наведені у статті технології демонструють значний потенціал у полегшенні навчання, розвитку та повсякденному функціонуванні цієї групи людей. Додаток *Braille3D* став важливим інструментом для навчання системі Брайля, пропонуючи інтерактивні вправи та можливості візуалізації символів у тривимірному просторі. Це значно полегшує процес вивчення та сприяє швидшому засвоєнню матеріалу для людей з вадами зору. Проєкт *BumpyReader* вирішує проблему доступу до цифрового контенту, перетворюючи текст на шрифт Брайля у реальному часі. Ця інновація дозволяє користувачам отримувати доступ до широкого спектра інформації, забезпечуючи більшу самостійність та незалежність у їхньому повсякденному житті.

За допомогою технологій 3D-друку, які використовуються в проєктах *Braille3D* та *BumpyReader*, досягається не лише важлива інноваційність, але й доступність цих рішень. Це робить їх більш доступними для широкого кола користувачів та

сприяє їхньому поширенню та використанню. У цілому наведені в статті технології являють собою значний крок у напрямку інклюзивного суспільства, де люди з вадами зору мають доступ до тих самих можливостей та ресурсів, що й їхні здорові колеги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Global technology governance summit 2021 selected events by eTrade for all, Etrade For All, 2021. URL: <https://etradeforall.org/news/global-technology-governance-summit-2021/> (accessed Jan. 13, 2024).
2. Маїк В. З., Дудок Т. Г., Маїк Л. Я. Аналіз створення шрифтів для незрячих. *Квалілогія книги*. 2013. № 1 (23). С. 45–55.
3. Tumbleston John R., Shirvanyants D. Continuous Liquid Interface Production Of 3D Objects, Science, 2015.
4. Hajash K., Sparrman B. Large-Scale Rapid Liquid Printing, MIT, 2017.
5. Neff C., Rojas-Nastrucci Eduardo A. Thermal and Vapor Smoothing of Thermoplastic for Reduced Surface Roughness of Additive Manufactured RF Electronics, IEEE, 2019.
6. Cury Caruso R., dos Santos T. R. Optimization of the 3d printing and test of materials for teaching and learning for students with visual impairmenti. Ponta Grossa, Brazil. 2023.
7. Hooper K. R. Developing Ultra-High Resolution 3D Printing for Microfluidics. Brigham Young University, 2022.
8. Chunmei Li, Liang Zheng, Ying Xia. Application Research of 3D Printing Technology in Braille. *LNEE*. 2022. Vol. 896.
9. Syed Fouzan Iftekar, Abdul Aabid. Advancements and Limitations in 3D Printing Materials and Technologies: A Critical Review. MDPI, 2023.
10. Pavon C., Aldas M. New Materials for 3D-Printing Based on Polycaprolactone with Gum Rosin and Beeswaxas Additives. MDPI, 2020.
11. Koehler Karen E., Wild Tiffany A. Implications of 3-D Printing for Teaching Geoscience Concepts to Students with Visual Impairments. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*. 2018.
12. Shi Lei, Lawson H. Designing Interactive 3D Printed Models with Teachers of the Visually Impaired. CHI 2019, May 4–9, 2019, Glasgow, Scotland, UK.
13. See Wrigh Aaron Raymond, Advincula Welsey Daniel. Creating Tactile Educational Materials for the Visually Impaired and Blind Students Using AI Cloud Computing. MDPI, 2021.

REFERENCES

1. Global technology governance summit 2021 selected events by eTrade for all, Etrade For All, 2021. Retrieved from <https://etradeforall.org/news/global-technology-governance-summit-2021/> (accessed Jan. 13, 2024) (in English).
2. Mayik, V. Z., Dudok, T. G., & Mayik, L. Ya. (2013). Analis stvorenia shryftiv dlia nezrsachyh: Qualilogia knygy, 1 (23), 45–55 (in Ukrainian).
3. Tumbleston, John R., & Shirvanyants D. (2015). Continuous Liquid Interface Production Of 3D Objects, Science (in English).
4. Hajash, K., & Sparrman, B. (2017). Large-Scale Rapid Liquid Printing, MIT (in English).

5. Neff, C., & Rojas-Nastrucci, Eduardo A. (2019). Thermal and Vapor Smoothing of Thermoplastic for Reduced Surface Roughness of Additive Manufactured RF Electronics, IEEE (in English).
6. Cury, Caruso R., & dos Santos, T. R. (2023) Optimization of the 3d printing and test of materials for teaching and learning for students with visual impairmenti. Ponta Grossa, Brazil (in English).
7. Hooper, K. R. (2022). Developing Ultra-High Resolution 3D Printing for Microfluidics. Brigham Young University (in English).
8. Chunmei, Li, Liang, Zheng, & Ying, Xia. (2022). Application Research of 3D Printing Technology in Braille: LNEE (in English).
9. Syed Fouzan, Iftekar, & Abdul, Aabid. (2023). Advancements and Limitations in 3D Printing Materials and Technologies: A Critical Review. MDPI (in English).
10. Pavon, C., & Aldas, M. (2020). New Materials for 3D-Printing Based on Polycaprolactone with Gum Rosin and Beeswaxas Additives. MDPI (in English).
11. Koehler, Karen E., & Wild, Tiffany A. (2018). Implications of 3-D Printing for Teaching Geoscience Concepts to Students with Visual Impairments: Journal of Science Education for Students with Disabilities (in English).
12. Shi, Lei, & Lawson, H. (2019). Designing Interactive 3D Printed Models with Teachers of the Visually Impaired. CHI 2019, May 4–9, Glasgow, Scotland, UK (in English).
13. See Wrigh, Aaron Raymond, & Advincula, Welsey Daniel. (2021). Creating Tactile Educational Materials for the Visually Impaired and Blind Students Using AI Cloud Computing. MDPI (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2024-1-68-218-230

INNOVATIVE CREATION TECHNOLOGIES FOR AVAILABLE TACTILE PRODUCTS BY 3D PRINTING

N. D. Lotoshynska, V. I. Manko

*Lviv Polytechnic National University,
12, S. Bandera St., Lviv, 79000, Ukraine
natlot@ukr.net*

In recent years, the integration of 3D printing technology into various fields has caused significant interest and innovations. One particularly promising application of this technology is its potential to improve the lives of the visually impaired. As various studies show, 3D printing offers unique opportunities to solve problems facing this community, from education and accessibility to aids for everyday life and tactile learning materials.

A literature review reveals the multifaceted benefits of 3D printing for people with visual impairments, ranging from educational tools and accessible materials to assistive devices and personalized solutions. It should be noted that the use of 3D printing in

education has become a key area in which researchers and educators are exploring innovative approaches to improve the learning process for visually impaired children. From tactile representations of complex concepts to interactive learning tools, 3D printing has the potential to bridge accessibility gaps and promote inclusiveness in educational environments.

In addition, the reviewed materials shed light on the challenges and limitations of using 3D printing for people with visual impairments. Issues such as print accuracy, material compatibility, and design considerations, create significant obstacles that must be addressed to maximize the effectiveness of 3D printed projects. Research and improvement of additive manufacturing methods promise to overcome these issues and expand the scope of application for people with visual impairments.

With the above in mind, this review article aims to provide a comprehensive overview of the current prospects for the use of 3D printing to improve the lives of people with visual impairments. By synthesizing existing research and exploring future directions, this article seeks to contribute to the debate surrounding the potential of 3D printing technology to improve accessibility, independence, and quality of life for people with visual impairments. By looking at specific examples, best practices and emerging trends, the authors aim to provide valuable information for researchers, educators and practitioners working in the field of assistive technology and inclusive design.

Keywords: *3D printing, visually impaired people, accessibility, education, tactile materials, inclusive design.*

Стаття надійшла до редакції 16.02.2024.

Received 16.02.2024.