

ВІДГУК ОПОНЕНТА

на дисертацію Тарасова Нікіти Андрійовича

**«ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ШРИФТУ БРАЙЛЯ
ЗА ДОПОМОГОЮ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 — Інформаційні технології

за спеціальністю 126 — Інформаційні системи та технології

Актуальність теми

Тема дисертаційної роботи, присвячена розробці інформаційної технології для створення шрифту Брайля із використанням методів 3D-моделювання, має значну актуальність у контексті сучасних викликів інклюзивної освіти, цифрової трансформації та забезпечення доступності інформаційних ресурсів для осіб із порушеннями зору. Шрифт Брайля залишається ключовим засобом, що забезпечує незрячим і слабоворим доступ до інформації, освіти та культурної спадщини. Традиційні методи виготовлення матеріалів зі шрифтом Брайля, зокрема друк на спеціалізованому обладнанні, характеризуються високою вартістю, значними витратами та обмеженими можливостями масштабування. Використання технологій 3D-моделювання та 3D-друку відкриває нові перспективи створення тактильних матеріалів, які є гнучкішими, економічно ефективнішими та здатними до індивідуальної адаптації під потреби користувачів.

Актуальність досліджуваної проблематики зумовлена сукупністю взаємопов'язаних чинників соціального, технологічного та економічного характеру. Насамперед, зростаючий у світі попит на інклюзивні технології безпосередньо корелює з положеннями міжнародних нормативно-правових актів, зокрема Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю, у якій акцентується критична необхідність забезпечення рівного та безперешкодного доступу до інформаційних ресурсів для всіх категорій населення, включно з особами, які мають порушення зору.

Відповідно до даних Всесвітньої організації охорони здоров'я, у світі налічується близько 2,2 мільярда людей з різними формами порушення зору, значна частина яких використовує шрифт Брайля як основний або допоміжний засіб доступу до освіти, професійної діяльності та соціальної інтеграції. Це підкреслює його роль як ключового інструменту забезпечення інформаційної доступності та культурної інклюзії.

В українському контексті проблема має свою специфіку. За офіційними даними, в Україні проживає приблизно 100 тисяч осіб із вадами зору, проте доступність друкованих та навчальних матеріалів, виготовлених за технологією шрифту Брайля, залишається вкрай обмеженою. Основними причинами цього є надзвичайно висока вартість спеціалізованого обладнання (вартість брайлівських принтерів коливається у діапазоні від 2000 до 10 000 доларів США), обмежена кількість виробничих потужностей та недостатній рівень автоматизації процесів виготовлення тактильних матеріалів.

За таких умов впровадження інноваційних технологічних рішень, зокрема методів 3D-моделювання та 3D-друку, здатне не лише суттєво знизити фінансові витрати, але й забезпечити масштабованість виробництва та адаптацію матеріалів до індивідуальних потреб користувачів. Це визначає дослідження у даній сфері як своєчасне, соціально значуще та перспективне з точки зору практичного впровадження.

По-друге, застосування методів 3D-моделювання та 3D-друку як прогресивних інформаційно-технологічних інструментів надає можливість створювати високоточні та індивідуалізовані тактильні матеріали — зокрема шрифт Брайля, тактильні ілюстрації, карти і навчальні зразки. Завдяки параметричному моделюванню можна оперативно підлаштовувати розміри рельєфних елементів, інтервали між символами та конфігурацію сторінок під індивідуальні потреби користувача, що значно підвищує функціональність дидактичних засобів. Економічна вигода такого підходу обумовлена зниженням змінних витрат на одиницю продукції (приблизні витрати на 3D-друк сторінки в межах \$0,5–\$2 проти \$5–\$10 при традиційному брайлівському друку), а також

можливістю локалізованого, «на вимогу» виробництва, що зменшує потребу в масштабних складських запасах та логістичних витратах.

Технічно реалізація цієї концепції передбачає формування автоматизованого конвеєра від цифрового тексту до тривимірної моделі: перетворення символів у представлення Брайля, генерація рельєфної геометрії з урахуванням тактильної читабельності, оптимізація параметрів друку (висота виступу, крок шару, матеріал) і контроль якості кінцевого виробу. Використання відкритих CAD-інструментів і бібліотек для конвертації тексту в геометрію дозволяє стандартизувати процес і забезпечити сумісність із національними та міжнародними вимогами щодо кодування Брайля. Одночасно необхідно враховувати фізичні властивості матеріалів (зносостійкість, тактильна чутливість, еластичність) та впроваджувати процедури верифікації — тестування на читаємість користувачами з вадами зору та відповідність нормативним параметрам.

По-третє, соціокультурна значущість проблеми посилює практичну цінність інформаційної технології на основі 3D-моделювання: автоматизація виробництва тактильних навчальних посібників, книг, дидактичних карт і музейних експонатів сприяє розширенню доступу до освіти, культури та інформації для осіб із порушеннями зору. У національному контексті (з огляду на пріоритет інклюзивної освіти) впровадження таких технологій дозволяє вирішити питання дефіциту доступних навчальних матеріалів, адаптувати контент до мовних і культурних особливостей та інтегрувати тактильні ресурси у навчальні програми, бібліотеки й музейні практики. Загалом запровадження 3D-технологій у виробництво матеріалів шрифтом Брайля має потенціал демократизувати доступ до тактильної інформації та підвищити якість інклюзивних освітніх сервісів.

Дисертаційна робота узгоджується з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України та повністю відповідає вимогам чинного законодавства у сфері наукової та інноваційної діяльності. Зокрема, дослідження корелює з положеннями Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 квітня 2021 р.

№ 366-р «Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року», у частині реалізації напряму 2 «Інформаційна безбар'єрність», який передбачає розвиток технологій та інформаційних систем, що забезпечують вільний, зручний і рівноправний доступ усіх учасників суспільного життя до цифрових сервісів і даних. Окрім того, тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним науковим напрямам Національного університету «Львівська політехніка» та сприяє реалізації завдань, пов'язаних із підвищенням ефективності, безпечності та інклюзивності транспортної інфраструктури через упровадження інтелектуальних систем моніторингу на базі сучасних апаратно-програмних засобів.

Обґрунтування наукових положень та їх достовірність

Обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів забезпечено застосуванням комплексного методологічного підходу, що поєднує формалізацію предметної області та різноаспектні методи аналізу. Зокрема, теорія семантичних мереж слугувала для семантичного подання знань і встановлення зв'язків між поняттями, логіка предикатів — для формального опису властивостей і відношень об'єктів дослідження, математичне моделювання ієрархій та підходи ранжування використовувались для структуризації критеріїв і визначення їх відносної значущості. Лінійне згортання критеріїв виконувало функцію агрегування багатокритеріальних оцінок, методи нечіткої логіки — для опрацювання невизначеності й нечітких вимог, а структурно-функціональне моделювання — для формування архітектури інформаційної системи. Практичну складову прогностичного забезпечення реалізовано з використанням мови програмування Go (Golang) для побудови модулів оцінки якості майбутньої 3D-моделі зі шрифтом Брайля, що забезпечило ефективність обчислень і можливість автоматизації процесів.

Отримані результати пройшли багатосторонню апробацію: вони були представлені та обговорені на звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів

Української академії друкарства (м. Львів, 2021–2024), на Міжнародній науково-практичній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та WEB-технології» (м. Харків, 2022–2024) та на 1st International Workshop on Intelligent & Cyber Physical Systems (ICyberPhyS-2024), CEUR Workshop Proceedings (м. Хмельницький, 2024). Під час наукових презентацій і обговорень результати піддавалися фаховій експертизі, а запропоновані підходи — практичній перевірці в експериментальних дослідженнях.

Висновки та практичні рекомендації, викладені в дисертації, мають міцну методологічну та емпіричну основу: їхню достовірність підтверджено як формальними математичними розрахунками й моделями, так і результатами експериментальної валідації та наукової апробації. Таким чином, викладені положення можуть служити надійною теоретичною і практичною базою для подальших робіт з автоматизованого формування та контролю якості тактильних 3D-матеріалів, а також для впровадження відповідних інформаційних технологій у прикладну сферу.

Сформульована наукова новизна представлена до захисту дисертації

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень отримано нові наукові результати, що мають характер новизни та практичної значущості:

Вперше

Формалізовано взаємозв'язки між факторами, що впливають на якість формування шрифту Брайля в процесах адитивного виробництва, та відповідними параметрами якості. Формалізація виконана за допомогою семантичних мереж для представлення предметної області та мови логіки предикатів для формального опису властивостей і відношень, що забезпечило теоретично обґрунтовану модель для подальших аналітичних і прикладних досліджень.

Синтезовано багаторівневі моделі пріоритетності впливу виділених факторів і технологічних процесів на формування шрифту Брайля. Використано методики математичного моделювання ієрархій, ранжування та лінійного згортання критеріїв для визначення відносної значущості показників і вибору

оптимальних варіантів реалізації процесів; у результаті сформовано структуровану інформаційну базу даних, що містить пріоритетні оцінки і може слугувати джерелом для прийняття інженерних рішень.

Розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології для оцінювання пріоритетних факторів та процесів, які визначають якість формування шрифту Брайля на 3D-моделях для користування незрячими особами. Модель описує функціональні блоки інформаційного конвертора, алгоритми обробки вхідних даних, процедури верифікації тактильної читабельності та механізми інтеграції з підсистемами контролю якості.

Реалізовано генерацію тривимірних моделей із текстом Брайля з можливістю використання як стандартних параметрів, так і значень, встановлених користувачем. Здійснено процедуру конвертації растрового/векторного зображення у тривимірну геометрію, розвинено функціонал для масштабування та адаптації рельєфних елементів. Проведено оцінювання відповідності розмірів крапок стандартним параметрам та виконано прогностичну оцінку якості 3D-моделі з урахуванням текстового вмісту, технології 3D-друку та додаткових параметрів друку.

Отримані результати створюють методологічну й інформаційну базу для автоматизації процесу формування тактильних 3D-матеріалів, служать підґрунтям для розробки засобів контролю якості та стандартизації виробництва шрифтових елементів Брайля в умовах адитивних технологій, а також відкривають перспективи для практичної реалізації й подальшого масштабування розроблених рішень.

Удосконалено:

Процес визначення пріоритетних факторів, що чинять найбільший вплив на якість формування шрифту Брайля в умовах застосування технологій адитивного виробництва. На основі проведених досліджень сформульовано комплекс рекомендацій щодо вибору оптимальних технологічних параметрів 3D-друку та методів тривимірного моделювання, які забезпечують підвищення тактильної читабельності та довговічності надрукованих елементів.

Запропонований підхід враховує особливості різних типів 3D-принтерів, матеріалів, параметрів друку та програмних інструментів, що дозволяє адаптувати виробничий процес під індивідуальні вимоги кінцевого користувача.

Отримало подальший розвиток:

Поглиблено та систематизовано концепцію формування й обґрунтування пріоритетних факторів, які визначають якість відтворення шрифту Брайля на 3D-моделях. Розширено підходи до інтеграції сучасних інформаційних технологій у процеси адитивного виробництва, включно з автоматизованими алгоритмами оптимізації геометричних параметрів та корекції рельєфу в залежності від технологічних умов. Вдосконалено функціональні можливості програмного забезпечення для тривимірного моделювання брайлівських моделей шляхом додавання інструментів автоматичного масштабування, виявлення геометричних дефектів та попередньої візуалізації тактильних елементів.

Особливу увагу приділено використанню методів штучного інтелекту — розроблено рекомендації щодо інтеграції алгоритмів машинного навчання та нейронних мереж для автоматизованого контролю якості, прогнозування результатів друку та оптимізації технологічних процесів. Запропоновано застосування комп'ютерного зору для автоматичного розпізнавання, класифікації та оцінювання 3D-об'єктів із шрифтом Брайля, що відкриває можливості створення інтелектуальних систем моніторингу та стандартизації якості у виробництві тактильних матеріалів.

Короткий аналіз змісту дисертації

У *вступній частині* дисертаційного дослідження здійснено ґрунтовне обґрунтування його важливості в контексті сучасного стану розвитку відповідної наукової галузі та практичних потреб суспільства. Розкрито об'єктивні передумови та фактори, що зумовили вибір теми, і аргументовано її актуальність як у теоретичному, так і в прикладному вимірах. Визначено місце та роль проведеного дослідження у системі наукових програм, державних і

відомчих планів, а також у межах затвердженої тематики науково-дослідних робіт, з якою воно концептуально та методологічно узгоджується.

Сформульовано стратегічну мету дослідження та конкретизовано сукупність наукових завдань, вирішення яких є необхідною умовою досягнення поставленої мети. Чітко окреслено об'єкт і предмет наукового аналізу, що визначають зміст і спрямованість дослідницького пошуку. Надано розгорнуту характеристику комплексу використаних методів дослідження, обґрунтовано доцільність їх застосування та взаємодоповнюваність у процесі досягнення достовірних наукових результатів.

Особливу увагу приділено висвітленню елементів наукової новизни отриманих результатів, які полягають у поглибленні теоретичних положень, удосконаленні існуючих підходів та розробленні нових методичних рішень. Обґрунтовано практичну значущість дослідження, що визначається можливістю безпосереднього впровадження його результатів у відповідну сферу діяльності.

Зазначено особистий внесок здобувача у розроблення концептуальних положень, методичних інструментів та одержання основних наукових результатів. Представлено дані щодо апробації результатів дослідження на наукових конференціях, семінарах та інших фахових форумах, а також наведено відомості про кількість і тип публікацій, підготовлених та опублікованих автором на основі матеріалів дисертації. У завершальній частині вступу охарактеризовано структуру, логіку побудови та загальний обсяг дисертаційної роботи, що забезпечують послідовність і системність викладу наукового матеріалу.

У *першому розділі* дисертаційного дослідження здійснено ґрунтовний аналіз сучасних технологій адитивного виробництва та інформаційних систем, які застосовуються для формоутворення шрифту Брайля з використанням методів тривимірного моделювання. Виконано комплексне дослідження поточного стану розвитку даної науково-технічної сфери, що включає в себе детальний розгляд актуальності, сучасних тенденцій та перспектив подальшого

вдосконалення інформаційних технологій, зокрема тих, що забезпечують високоточне й ефективне формування тривимірних моделей у контексті адитивного виробництва.

Окрему увагу приділено системному розгляду проблематики інклюзії, зокрема забезпеченню рівного та безперешкодного доступу до інформації для осіб з порушеннями зору, зокрема незрячих користувачів, що є надзвичайно важливим у контексті реалізації соціальних та освітніх стратегій сучасного суспільства.

Детально проаналізовано технологічні особливості інтеграції методів штучного інтелекту у процеси створення шрифту Брайля, здійснено огляд існуючих прототипів та програмних рішень, що використовують інтелектуальні алгоритми для оптимізації параметрів тривимірного моделювання. У рамках цього дослідження проведено критичний аналіз основних методів і алгоритмів штучного інтелекту, розглянуто їх функціональні можливості, а також визначено сильні та слабкі сторони кожного підходу з метою обґрунтування їх доцільності застосування в контексті автоматизації та підвищення якості виготовлення тактильних брайлівських моделей.

Таким чином, розділ формує теоретико-методологічну базу для подальших експериментальних і прикладних досліджень, закладаючи фундамент для системного підходу до розробки інноваційних інформаційних технологій, орієнтованих на підвищення доступності освітніх і культурних ресурсів для осіб із вадами зору.

У *другому розділі* дисертаційного дослідження здійснено комплексний аналіз чинників, що визначають вибір оптимальних технологічних рішень для створення шрифту Брайля з використанням методів тривимірного моделювання. Проведено системне дослідження сучасних технологій тривимірного моделювання, які застосовуються у виробництві тактильних моделей, а також здійснено ґрунтовний огляд різновидів програмного забезпечення, що використовується для формування рельєфно-крапкового

шрифту, з акцентом на їх функціональні можливості та вплив на якість кінцевого продукту.

Особливу увагу приділено аналізу технологій адитивного виробництва (3D-друку), де здійснено порівняльну оцінку з традиційними методами виготовлення тактильних матеріалів, що дозволило виокремити основні переваги, недоліки та економічні аспекти їх застосування, зокрема орієнтовні витрати на виробництво. Окремо розглянуто ключові фактори, що безпосередньо впливають на якість відтворення шрифту Брайля, зокрема точність і стабільність процесу формування рельєфу.

У рамках розділу проведено технічний аналіз функціональних характеристик 3D-принтерів, детально вивчено їхні механізми дії та принципи роботи, що визначають якість формування брайлівських моделей. Визначено основні чинники, які впливають на точність та стабільність друку, а також проаналізовано різноманітність матеріалів, застосовуваних у різних технологіях адитивного виробництва, із врахуванням їх фізико-хімічних властивостей. У результаті встановлено взаємозв'язок між якістю відтворення тактильного шрифту та вибором матеріалу, а також досліджено їх вплив на здатність моделі забезпечувати чітке та однозначне тактильне сприйняття символів користувачами з вадами зору.

Додатково надано огляд основних інструментів, які використовуються для створення моделей зі шрифтом Брайля за допомогою 3D-друку, із супровідним систематизованим порівнянням переваг і недоліків, характерних для роботи з крапковим шрифтом.

Розділ також включає в себе всебічний аналіз інформаційних систем, задіяних у процесах генерації рельєфно-крапкових моделей. Проведено оцінку їх сильних і слабких сторін, представлено перелік актуальних систем, а також визначено нагальні потреби щодо їх оптимізації. Вивчено перспективи розвитку цифрових пристроїв і дисплеїв із застосуванням адитивних технологій, що відкривають нові можливості для підвищення доступності тактильних матеріалів.

Здійснено порівняння основних CAD-систем, які застосовуються у розробці 3D-моделей шрифту Брайля, із визначенням їх функціональних обмежень. Враховуючи ці обмеження, обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих програмних продуктів, а також сформульовано вимоги до нових критеріїв оцінювання та розроблення спеціалізованого програмного забезпечення для ефективного створення рельєфно-крапкових моделей.

Таким чином, розділ забезпечує методологічну основу для подальшої розробки високоефективних інформаційно-технологічних рішень, спрямованих на покращення якості та доступності тактильних матеріалів для осіб з порушеннями зору.

У *третьому розділі* дисертаційного дослідження здійснено розробку та апробацію комплексних моделей для оцінювання якості шрифту Брайля з використанням технологій 3D-моделювання та адитивного виробництва. В межах цього розділу сформовано інформаційну концепцію, яка охоплює процеси формування шрифту Брайля на основі тривимірних моделей, акцентуючи увагу на двох фундаментальних складових: технології створення 3D-моделей у контексті адитивного виробництва та ключових факторів, що визначають якість формування шрифтового рельєфу. На основі виокремлених критеріїв здійснено поетапне опрацювання параметрів, що реалізовано у вигляді багаторівневої моделі, котра включає формалізацію семантичної мережі взаємозв'язків між процесами і факторами, побудову моделей пріоритетності чинників, а також розробку нечітких систем оцінювання із застосуванням відповідних алгоритмів моделювання.

Було створено семантичну мережу, в якій вузли відображають фактори впливу, а ребра кодують лінгвістичні взаємодії із використанням формалізму логіки предикатів. Виконано формалізацію взаємозв'язків між факторами технологій адитивного виробництва та показниками якості шрифту Брайля, що дозволило згенерувати матрицю досяжності та ітераційні таблиці для визначення вагомості кожного фактора. Відповідно, розроблено багат шарову

модель впливу факторів із застосуванням методу ієрархічного моделювання, доповнену ранжуванням і ваговим коефіцієнтом предикатів. Здійснено оптимізацію вагових коефіцієнтів на основі матриці парних порівнянь та методів багатокритеріальної оптимізації. Побудовано модель Парето, що враховує кумулятивні процентні внески чинників, завдяки чому ідентифіковано ключові детермінанти якості формування шрифту Брайля у тривимірних моделях.

У *четвертому розділі* розроблено інформаційну технологію для автоматизованого генерування шрифту Брайля із застосуванням методів 3D-моделювання та 3D-друку. Здійснено кластеризацію лінгвістичних змінних за функціональним призначенням та створено базу даних, що асоціює ці змінні з терм-множинами і лінгвістичними термінами, визначеними у тривимірній нечіткій шкалі. Розроблено ієрархічну модель логічного виведення, що моделює взаємозв'язки між компонентами бази даних та алгоритмами обчислення функцій належності з урахуванням специфіки термінології. Сформовано інформаційну базу, яка співвідносить змінні з межами терм-множин та відповідними лінгвістичними оцінками, побудовано матриці попарних порівнянь термів, здійснено розрахунок і нормалізацію функцій належності та їх подання у вигляді нечітких множин. Також сформовано матриці нечітких знань, розроблено системи нечітких логічних рівнянь другого рівня моделі логічного виведення, проведено процедуру дефазифікації, що дозволило визначити оптимальні технологічні параметри для виробництва високоякісних тактильних брайлівських моделей.

Практична складова розділу включає експериментальні дослідження з використанням 3D-принтера, який функціонує за технологією FDM із застосуванням PLA-пластику. Проаналізовано вплив матеріалу підкладки (папір, плівка, пластик, скло) на якість формування рельєфного шрифту, ідентифіковано оптимальні варіанти з урахуванням співвідношення вартості та якості.

Розроблена інформаційна технологія, що описує процедури оцінювання якості шрифту Брайля з позицій його структурних і функціональних характеристик, включає базу даних, моделі пріоритетів та нечітку систему, яка прогнозує якість кінцевого продукту. Такий підхід спрямований на підвищення зручності використання тактильних матеріалів особами з порушеннями зору, забезпечуючи надійність та адаптивність процесу створення моделей.

У *п'ятому розділі* дисертації представлено розроблене програмне забезпечення, призначене для автоматизованого генерування та комплексного аналізу шрифту Брайля із застосуванням методів 3D-моделювання. Детально викладено архітектуру програмного рішення, його функціональні алгоритми, які забезпечують аналіз тривимірних моделей шрифту Брайля на відповідність нормативним стандартам, прогнозування якості вироблених моделей та формування текстової інформації у вигляді точкових символів. Описано принципи реалізації ключових функціональних блоків на рівні програмного коду, зокрема модулів генерації шрифту, створення STL-моделей із використанням параметрів за замовчуванням або заданих користувачем.

В роботі запроваджено механізм верифікації відповідності тривимірних моделей встановленим стандартам, а також детально описано алгоритмічний підхід до перетворення растрових зображень (форматів JPG, PNG) у формат STL для подальшого 3D-друку. Проведено аналіз роботи прогностичного калькулятора якості, який інтегрує вхідні параметри та обчислює очікуваний рівень якості майбутньої моделі шрифту Брайля.

Наводяться витяги з програмного коду, що ілюструють реалізацію інтелектуальних алгоритмів (AI-функцій), відповідальних за автоматизоване створення шрифту, побудову тривимірних моделей, перевірку їх відповідності стандартам, конвертацію зображень у 3D-моделі та оцінювання якості виробів. Здійснено порівняльний аналіз функціональних можливостей різних AI-сервісів, визначено їх сильні та слабкі сторони у контексті інтеграції в розроблену програмну платформу, що дозволило обґрунтувати вибір найбільш ефективних рішень для реалізації поставлених завдань.

Такий підхід сприяє підвищенню автоматизації, точності та адаптивності процесів створення тактильних моделей шрифту Брайля, що є важливим елементом інклюзивних технологій.

У висновках дисертаційного дослідження систематизовано основні результати, отримані в ході комплексного наукового пошуку, що спрямований на розробку та вдосконалення інформаційної технології створення шрифту Брайля із застосуванням методів 3D-моделювання та адитивного виробництва. Проведений детальний аналіз теоретичних та експериментальних аспектів підтверджує, що виконана робота становить собою цілісне, науково обґрунтоване дослідження, яке суттєво розширює існуючі уявлення в обраній галузі та формує фундамент для подальших наукових розробок і практичних впроваджень.

Зокрема, у процесі дослідження було систематизовано та формалізовано взаємозв'язки між численними факторами, які впливають на якість формування рельєфно-крапкового шрифту в умовах адитивного виробництва, що забезпечило створення міцної теоретичної основи для моделювання та оптимізації виробничих процесів. Розроблені багаторівневі моделі пріоритетності факторів та застосовані методи математичного моделювання дозволили чітко ідентифікувати критичні параметри, що визначають якість готових 3D-моделей шрифту Брайля, а також запропонувати ефективні рекомендації щодо їх оптимізації.

Важливим результатом дисертації стало створення структурно-функціональної моделі інформаційної технології, яка забезпечує комплексну оцінку пріоритетних факторів і дозволяє інтегрувати інтелектуальні алгоритми для прогнозування якості шрифту Брайля, що є вагомим кроком на шляху автоматизації процесів виробництва тактильних матеріалів із урахуванням індивідуальних потреб користувачів.

Практична значущість роботи полягає у впровадженні розроблених методів та програмного забезпечення, яке дозволяє ефективно генерувати тривимірні моделі шрифту Брайля, виконувати їх верифікацію відповідно до

міжнародних стандартів та прогнозувати якість друку, що значно підвищує точність і надійність виробництва. Це відкриває широкі перспективи для застосування технології у сфері інклюзивної освіти, культурної адаптації та розвитку безбар'єрного доступу до інформації для людей з порушеннями зору.

Крім того, дисертаційне дослідження сприяє подальшому розвитку науково-технічного потенціалу у сфері адитивних технологій та інформаційних систем, закладаючи основу для впровадження інноваційних рішень на перетині 3D-друку, штучного інтелекту та тактильних комунікацій. Отримані результати мають значний теоретичний і практичний потенціал, що підтверджується позитивною оцінкою наукової спільноти, апробацією на провідних конференціях і публікаціями у фахових виданнях.

Таким чином, дисертація становить вагомий внесок у розвиток міждисциплінарної галузі, що об'єднує інформаційні технології, адитивне виробництво та інклюзивну освіту, і створює надійну методологічну та практичну платформу для подальших наукових досліджень і інноваційних розробок у сфері забезпечення доступності інформації для людей з вадами зору.

Практичне значення одержаних результатів

У рамках дисертаційного дослідження отримано низку результатів, які мають суттєве практичне значення для розвитку технологій створення тактильних 3D-моделей із використанням шрифту Брайля. Зокрема, проведено всебічний аналіз і систематизацію основних принципів функціонування адитивних технологій, що застосовуються у виробництві тактильних моделей, зокрема з акцентом на переваги та можливості 3D-друку як інноваційного інструменту для виготовлення високоякісних, індивідуалізованих тактильних матеріалів. У роботі обґрунтовано комплекс рекомендацій і нормативних вимог, що стосуються формування шрифту Брайля у контексті адитивного виробництва, з урахуванням широкого спектру технічних, матеріалознавчих та ергономічних чинників, які впливають на кінцеву якість тактильної моделі.

В межах дослідження розроблено інформаційну концепцію, яка глибоко аналізує ключові процеси та фактори, що визначають якість формування

шрифту Брайля на основі 3D-моделювання, а також здійснено формалізоване представлення їх взаємозв'язків із застосуванням методів семантичних мереж і логіки предикатів. Цей підхід забезпечив системне розуміння взаємодії між технологічними параметрами виробничого процесу і якістю кінцевого продукту.

Розроблено багаторівневі моделі впливу різних факторів на якість відтворення шрифту Брайля, застосовуючи методики математичного моделювання, ієрархічного ранжування, а також нечітких логічних систем. На основі цих моделей визначено оптимальні параметри та рекомендації щодо формування брайлівських символів у тривимірному просторі, що дозволяє підвищити точність і чіткість тактильного сприйняття, забезпечуючи комфорт і ефективність використання матеріалів особами з вадами зору.

Важливим результатом роботи стало створення структурно-функціональної моделі інформаційної технології, яка спрямована на підвищення якості процесів формування шрифту Брайля у 3D-моделях, інтегруючи алгоритми оцінки пріоритетів та оптимізації параметрів виробництва. Запропоновано і реалізовано програмний продукт, що забезпечує комплексну функціональність: від перетворення 3D-моделей шрифту Брайля у відповідний формат до автоматизованого аналізу відповідності стандартам розмірів крапок та прогнозування якості майбутніх тривимірних моделей на основі вхідних параметрів і алгоритмів штучного інтелекту.

Таким чином, виконане дослідження не лише поглиблює теоретичні знання у сфері адитивного виробництва тактильних матеріалів, а й має безпосереднє практичне застосування, створюючи надійну методологічну і технологічну платформу для подальшого розвитку інклюзивних інформаційних продуктів та сприяючи розширенню можливостей доступності освіти і культури для осіб з вадами зору.

Впровадження результатів дослідження

Результати, отримані в ході виконання дисертаційного дослідження, були успішно інтегровані у навчально-виховний процес Української академії

друкарства, що підтверджує їхню високу науково-практичну цінність та актуальність. Зокрема, ключові наукові положення і розроблені технологічні підходи були використані під час проведення спеціалізованих лекційних курсів, а також практичних та лабораторних занять зі студентами різних спеціальностей, що дозволило не лише поглибити їх теоретичні знання, а й сформувати практичні навички у сфері адитивного виробництва, 3D-моделювання та розробки інклюзивних інформаційних технологій.

Крім того, значна увага була приділена впровадженню розроблених технологій у соціально-орієнтовані установи, зокрема у комунальному закладі Львівської обласної ради «Навчально-реабілітаційний центр «Левеня», де результати дослідження застосовуються для покращення якості освітніх послуг та розвитку адаптивних навчальних матеріалів для осіб з порушеннями зору. Практичне використання інформаційної технології з генерування тактильних 3D-моделей із шрифтом Брайля у цьому центрі забезпечує створення індивідуалізованих навчальних ресурсів, що сприяє підвищенню ефективності навчального процесу та розширенню можливостей соціальної інтеграції здобувачів освіти з особливими освітніми потребами.

Документальне підтвердження впровадження наукових розробок представлено у вигляді відповідних актів впровадження, що додаються в окремих додатках до дисертаційної роботи. Ці матеріали засвідчують як офіційне визнання практичної значущості дослідження, так і його активне застосування в навчальних і соціальних установах, що вказує на успішність трансферу наукових результатів у практичну площину та їхній внесок у розвиток інклюзивної освіти і сучасних адитивних технологій в Україні.

Повнота висвітлення основних результатів дисертації

Наукові здобутки та результати, отримані в процесі виконання дисертаційного дослідження, були всебічно висвітлені та систематично опубліковані у науковій літературі, що свідчить про їхню наукову значущість та відповідність сучасним вимогам академічної спільноти. Загалом, у рамках дослідження підготовлено та опубліковано 19 наукових праць, які охоплюють

різні аспекти тематики дисертації і демонструють глибину та комплексність проведеного аналізу.

Зокрема, дві статті були опубліковані у рецензованих наукових журналах, індексованих у міжнародних наукометричних базах даних Scopus, що підтверджує високий рівень міжнародного визнання досліджень та їх внесок у світову наукову спільноту. Шість публікацій вийшли у вітчизняних фахових виданнях, які затверджені Міністерством освіти і науки України, що забезпечує науково-методичне підґрунтя для подальшого розвитку досліджуваної проблематики в межах національного наукового простору. Чотири статті були опубліковані у зарубіжних наукових виданнях, що свідчить про активну інтеграцію автора у міжнародний науковий дискурс та сприяє популяризації наукових результатів за межами України.

Крім того, сім робіт представлені у збірниках матеріалів наукових конференцій різного рівня, включно з міжнародними та всеукраїнськими заходами, де проведено їх публічну апробацію та отримано фахові зауваження і рекомендації, що були враховані для підвищення якості подальших досліджень.

Загальна кількість публікацій, їх тематика, глибина викладу, а також охоплення різних аспектів проблематики повністю відповідають вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Це засвідчує не лише значний особистий внесок автора у розвиток відповідної наукової галузі, але і його здатність до системного, послідовного та критичного аналізу наукових проблем, а також до генерації нових наукових ідей та практичних рекомендацій. Такий науковий доробок сприяє формуванню міцної наукової бази, необхідної для подальшого розвитку інноваційних інформаційних технологій і адитивного виробництва у контексті інклюзивної освіти та соціальної адаптації осіб з порушеннями зору.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності

Оформлення дисертаційного дослідження виконано з дотриманням усіх чинних нормативно-правових актів та методичних рекомендацій, зокрема

Вимог до оформлення дисертацій, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 02 січня 2017 року. Композиційна структура роботи є чітко визначеною, логічно послідовною та систематизованою, що забезпечує ясність викладу матеріалу та повноту розкриття наукової проблематики. Кожен розділ дисертації завершується детальними і аргументованими висновками, які узагальнюють основні результати дослідження та узгоджуються з поставленими цілями і завданнями роботи, що суттєво підвищує цілісність та наукову обґрунтованість представленого дослідження.

Анотація дисертації адекватно відображає зміст основних теоретичних положень і практичних результатів роботи, є інформативною та структурно узгодженою із загальним текстом дослідження, що забезпечує її відповідність міжнародним стандартам наукової комунікації. Текст дисертації характеризується високим рівнем академічної доброчесності: у роботі відсутні випадки плагіату, що підтверджується ретельним дотриманням правил цитування та посилань на наукові джерела. Використання результатів наукових досліджень інших авторів здійснено виключно з відповідним оформленням бібліографічних посилань, що свідчить про коректне застосування методів наукової аргументації і належне визнання внеску попередників у відповідній галузі.

Загалом, оформлення дисертації відповідає високим вимогам сучасної наукової комунікації, сприяє підвищенню довіри до отриманих результатів і підкреслює авторську компетентність у веденні комплексних наукових досліджень.

Зауваження до дисертаційної роботи

Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження, доцільно зазначити низку зауважень, які мають рекомендаційний характер і можуть сприяти подальшому вдосконаленню роботи:

1. Оглядова частина роботи виконана досить ґрунтовно і всебічно, проте її обсяг місцями видається надмірно розширеним, що дещо знижує концентрацію уваги на ключових питаннях дослідження.

2. Представлені результати досліджень, присвячених процесам стирання та збереження тактильного шрифту Брайля, викликають інтерес, однак науковий аналіз міг би бути поглибленим шляхом додаткового розгляду адгезійно-когезійних взаємодій композиційних матеріалів із різними типами поверхонь. Це дозволило б значно розширити теоретичну базу та посилити наукову аргументацію.

3. Формулювання, наведене на сторінці 91, щодо того, що «комбіновані матеріали дозволяють створювати моделі, у яких різні властивості матеріалу застосовуються у різних частинах виробу», має безперечний перспективний потенціал, проте потребує додаткового роз'яснення та ілюстрації конкретними прикладами. Це сприяло б більш чіткому розкриттю суті ідейного змісту положення.

4. Узагальнення, що стосується крихкості фотополімерних елементів шрифту, представлено дещо спрощено. З огляду на те, що фотополімеризаційно здатні композиції формуються на основі різних олігомерів із можливістю варіації їх властивостей у відповідності до експлуатаційних навантажень, доцільно було б внести відповідні уточнення, які б допомогли уникнути надмірної генералізації та підвищать наукову точність викладу.

5. Загальні висновки містять ключові результати дослідження та є змістовними, однак їхня структура могла б бути більш систематизованою з чіткішою ув'язкою з поставленими у роботі цілями. Включення акценту на науково-практичну новизну дослідження могло б посилити аргументацію унікальності внеску та надати роботі більшої завершеності і цілісності.

Вказані зауваження не применшують наукової та практичної цінності проведеного дослідження, маючи здебільшого рекомендаційний і дорадчий характер. В цілому, дисертаційна робота є завершеним, оригінальним науковим дослідженням, що заслуговує на позитивну оцінку.

Висновки

На підставі здійсненого комплексного аналізу можна констатувати, що дисертаційне дослідження Тарасова Нікіти Андрійовича на тему «Інформаційна

технологія формування шрифту Брайля за допомогою 3D-моделювання» є завершеною, ґрунтовною науковою роботою, що має високу актуальність, суттєву наукову новизну, а також значну наукову та практичну цінність. Дослідження спрямоване на розв'язання важливої науково-прикладної проблеми підвищення якості тактильних інформаційних матеріалів для осіб із порушеннями зору шляхом впровадження сучасних інформаційних технологій. Робота містить оригінальні наукові положення, розроблені безпосередньо автором, які становлять внесок у відповідну галузь знань і мають вагоме практичне значення.

Дисертація повністю відповідає чинним нормативно-правовим вимогам, викладеним у пунктах 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44. Автор роботи, Тарасов Нікіта Андрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 — «Інформаційні системи та технології» в межах галузі знань 12 — «Інформаційні технології».

Офіційний опонент:

професор кафедри управління
інформаційною безпекою
навчально-наукового інституту
цивільного захисту
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності
доктор технічних наук, професор



Ростислав ТКАЧУК

