

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Поліщука Володимира Володимировича
на дисертаційну роботу **Тарасова Нікіти Андрійовича**

**“Інформаційна технологія формування шрифту Брайля
за допомогою 3D-моделювання”,**

подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі
знань 12 “Інформаційні технології”
за спеціальністю 126 “Інформаційні системи та технології”

Актуальність теми дисертації

Останніми роками посилюється увага до інклюзивності, зокрема щодо забезпечення доступу до інформації для людей із порушенням зору. Зростає потреба в адаптованих цифрових і фізичних ресурсах, особливо у 3D-моделях, які можна використовувати в освіті, побуті та професійній діяльності. Водночас більшість наявних 3D-моделей створено для звичайних користувачів, і лише незначна частина - з урахуванням потреб незрячих, які використовують шрифт Брайля. Це створює бар'єри в доступі до просторової інформації та гальмує їхню інтеграцію в суспільство.

У дисертації запропоновано комплексний підхід, що поєднує сучасні інформаційні технології: 3D-моделювання, адитивне виробництво (3D-друк) і штучний інтелект для вдосконалення формування шрифту Брайля. Адитивні технології дозволяють виготовляти складні прототипи й тактильні об'єкти, що критично важливо для незрячих користувачів. Використання таких технологій відкриває нові можливості для створення інклюзивного середовища, підвищення якості подання інформації в освіті та повсякденному житті, що робить дисертаційну роботу актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

На основі теоретичних й експериментальних досліджень отримано такі результати:

уперше:

- формалізовано зв'язки між факторами, що впливають на якість формування шрифту Брайля в процесах адитивного виробництва, та параметрами якості цього формування на основі семантичних мереж і мови

логіки предикатів, що забезпечило теоретичне підґрунтя подальших досліджень;

- синтезовано багаторівневі моделі пріоритетності впливу виокремлених факторів і процесів, які впливають на формування шрифту Брайля, та визначено оптимальний варіант реалізації відповідних процесів на основі методів математичного моделювання ієрархій, ранжування й лінійного згортання критеріїв, у результаті чого сформовано структуровану інформаційну базу даних;

- розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології для оцінювання пріоритетних факторів впливу та процесів, що визначають якість формування шрифту Брайля на 3D-моделях, які використовують незрячі особи;

- виконано генерування тривимірних моделей із текстом Брайля на основі параметрів за замовчуванням або встановлених користувачем значень; здійснено конвертацію зображення у тривимірні моделі з подальшим розвитком цього функціоналу; проведено оцінку відповідності розмірів крапок шрифту Брайля стандартам, а також прогностичне оцінювання якості тривимірної моделі з урахуванням тексту, типу 3D-друку та інших параметрів; *удосконалено:*

- процес визначення пріоритетних факторів впливу на якість формування шрифту Брайля та розроблено рекомендації щодо застосування технології 3D-друку та тривимірного моделювання;

отримала подальший розвиток:

- концепція формування та обґрунтування пріоритетних факторів, що впливають на якість формування шрифту Брайля; використання сучасних інформаційних технологій в адитивному виробництві; покращення функціоналу програмного забезпечення для тривимірного моделювання брайлівських моделей; застосування штучного інтелекту з рекомендаціями щодо його інтеграції для підвищення якості створення тактильних брайлівських моделей; оцінювання якості й розпізнавання тривимірних об'єктів за допомогою комп'ютерного зору та нейронних мереж.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Тарасова Нікити повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 126 – Інформаційні системи і технології» та дослідженням, що узгоджується з пріоритетними напрямками розвитку науки й техніки України.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям з удосконалення інформаційної технології формування тактильного шрифту за допомогою 3D-моделювання.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Тарасова Нікити Андрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Оформлення роботи відповідає усім необхідним вимогам, зокрема Вимогам до оформлення дисертацій (Наказ МОН України № 40 від 02.01.2017 р.). Структура дисертаційної роботи відповідає темі дисертації. Основні висновки логічно виходять із результатів, які наведено у розділах роботи. Анотація викладена ідентично основним положенням дисертації і в повній мірі відображає суть виконаної здобувачем дисертаційної роботи.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 333 сторінки.

У вступі зазначено актуальність теми дисертаційної роботи, новизну, зв'язок з науковою тематикою кафедри, мету, об'єкти досліджень, особистий вклад здобувачки, практичне значення і апробацію роботи.

У першому розділі розглянуто поняття 3D-моделювання, його види та програмне забезпечення, проведено їх порівняльний аналіз. Також проаналізовано технології 3D-друку та 3D-принтерів, їх особливості та висвітлено особливості використання різних матеріалів для 3D-друку. Окрему увагу приділено перевагам і недолікам застосування адитивних технологій для формування шрифту Брайля в контексті інклюзивної освіти.

У другому розділі розглянуто фактори, що впливають на вибір технології, створення 3D-моделей і формування шрифту Брайля, їх виведення на друк за допомогою 3D-принтера. Проаналізовано програмне забезпечення для 3D-моделювання, вплив матеріалів для 3D-друку на якість 3D-моделей, види 3D-принтерів та особливості їхньої роботи. Також виокремлено фактори впливу, на основі яких здійснено детальне порівняння етапів розроблення – від формування шрифту Брайля до друку на 3D-принтері.

У третьому розділі побудовано семантичну мережу факторів, що впливають на формування шрифту Брайля на 3D-моделях. На її основі створено багаторівневу модель пріоритетного впливу факторів за методом аналізу ієрархій. Семантична мережа представлена як орієнтований граф, де вершини - фактори процесу, а дуги - лінгвістично описані взаємозв'язки між ними. Розроблено концептуальну модель 3D-моделювання для оцінки впливових чинників у контексті адитивного виробництва. Застосовано матрицю досяжності та ітераційні таблиці для визначення рівнів важливості. Удосконалену модель сформовано з використанням методів ранжування та обчислення вагових коефіцієнтів на основі матриці попарних порівнянь. Оптимізовано вагові значення факторів, обчислено індекс і ступінь узгодженості, а також синтезовано остаточну модель пріоритетів. Для вибору оптимального варіанту реалізації використано метод лінійного зростання з функціями корисності, що дозволило визначити найефективніший варіант формування шрифту Брайля.

У четвертому розділі розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології для оцінювання пріоритетних факторів, що впливають на якість формування шрифту Брайля в різних технологіях 3D-друку (FDM-FFF, SLA-DLP, PolyJet, SLS). До моделі входять інформаційна база, методи оцінювання якості, та нечітка система прогнозування з урахуванням технологічних особливостей. Описано математичні основи теорії нечітких множин і побудовано базу лінгвістичних змінних із прив'язкою до терм-множин і нечітких шкал. Побудовано ієрархічну модель логічного виведення, яка враховує взаємозв'язки між змінними. Проведено нормування та візуалізацію функцій належності, сформовано нечіткі бази знань і системи логічних рівнянь другого рівня. Це дозволило виконати прогнозну оцінку якості формування шрифту Брайля залежно від обраної технології друку.

У п'ятому розділі представлено систему формування шрифту Брайля, що охоплює весь процес — від 3D-моделювання до друку моделі з рельєфно-

крапковим шрифтом. Проведено аналіз і прогностичне оцінювання якості тактильних моделей. Встановлено взаємозв'язок між параметрами відтворення 3D-моделей та процесом формування шрифту Брайля за допомогою адитивних технологій. Результати досліджень засвідчили відповідність рельєфно-крапкових зображень вимогам нормативних документів і високу якість формування. На основі аналізу розроблено нові вимоги до нанесення шрифту Брайля з використанням 3D-друку. Випробування на підприємстві підтвердили ефективність удосконаленого процесу – як за якістю відтворення, так і за техніко-економічними показниками.

Практичне значення одержаних результатів

Дисертаційна робота досягла низки практично значущих результатів:

У дисертаційній роботі здобуто результати, що мають важливе практичне значення:

- описано основні принципи роботи технологій, які використовують для створення тактильних 3D-моделей, обґрунтовано переваги застосування 3D-друку, а також подано рекомендації та вимоги щодо формування шрифту Брайля;

- обґрунтовано рекомендації щодо формування шрифту Брайля, які охоплюють комплекс факторів і процесів, що впливають на якість тактильної моделі;

- розроблено інформаційну концепцію дослідження процесів і факторів формування шрифту Брайля та здійснено формалізоване відображення відношень між факторами, що впливають на формування шрифту Брайля;

- розроблено моделі впливу факторів на якість формування шрифту Брайля із застосуванням широкого спектра методів; визначено оптимальні параметри його формування;

- створено структурно-функціональну модель інформаційної технології покращення якості процесів формування шрифту Брайля та запропоновано програмний продукт для перетворення брайлівської 3D-моделі, а також для аналізу стандартним розмірам і прогнозування якості 3D-моделі.

Впровадження результатів дослідження

Результати дисертаційної роботи впроваджені в освітній процес Інституту поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська політехніка» під час

лекційних і лабораторних занять. Наявні підтверджувальні документи щодо впровадження.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 19 наукових праць, серед яких: 2 статті у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus або Web of Science; 6 статей у наукових фахових виданнях України, затверджених МОН України; 4 публікації в закордонних виданнях; 7 публікацій у збірниках наукових конференцій. Наукові публікації здобувача Тарасова Н.А. відповідають принципам академічної доброчесності, особистий вклад дисертантки зазначено у вступі дисертаційної роботи.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Загалом, оцінюючи позитивно наукове дослідження, відзначаючи його наукову та практичну цінність, слід висловити і зауваження до дисертації:

1. У літературному огляді здобувач приділив увагу тільки технології під маркою PolyJet, хоча насправді ця технологія входить у групу цифрового струменевого нанесення елементів шрифту Брайля УФ-лаком, куди входять й інші технології, але з однаковим принципом друкування.

2. На сторінках 71-72, автор робить спробу порівняння традиційних методів з адитивними технологіями. Проте, не приділено увагу традиційному ротаційному трафаретному друку шрифту Брайля, який показав свою ефективність саме на вузькорулонних друкарських машинах.

3. «Рис. 2.4.1. Дефазифікація властивостей матеріалів для 3D-друку» вимагає пояснень, так як дефазифікація це процедура в теорії нечіткої логіки.

4. Висновки п. 2 і 3 до другого розділу є звичайною констатацією проведених досліджень і потребують розширення.

5. Висновок п. 6 до третього розділу потребує розширення з зазначенням отриманого результату.

6. Опис можливостей сервісів та їх переваги для інтеграції в додаток «3D Braille CAD» слід було подати у першому розділі роботи.

7. У роботі присутні граматичні та термінологічні помилки.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів, а також не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Тарасова Нікити Андрійовича на тему «Інформаційна технологія формування шрифту Брайля за допомогою 3D-моделювання» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі 12 – Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Тарасов Нікіта Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 126 – Інформаційні системи і технології.

Офіційний опонент:

Професор кафедри програмного забезпечення систем
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
доктор технічних наук, професор

Володимир ПОЛІЩУК

