

## ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

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.** Актуальність теми дисертаційного дослідження зумовлена потребою у створенні доступного інформаційного середовища для осіб із порушеннями зору. Більшість 3D-моделей орієнтовано на візуальне сприйняття. Унаслідок цього тактильна складова, необхідна для відтворення інформації шрифтом Брайля, залишається другорядною. Це створює бар'єри у доступі до знань, освіти та професійної підготовки.

Розвиток інклюзивного простору потребує нових рішень, що базуються на сучасних інформаційних технологіях. Особливу цінність мають методи 3D-моделювання на основі адитивних технологій. Вони дозволяють створювати фізичні об'єкти з високим рівнем деталізації. Це важливо для формування навчальних матеріалів, які незрячі користувачі можуть сприймати тактильно. Проте застосування цих технологій для потреб інклюзії обмежене. Причинами є відсутність уніфікованих методик, технічна складність процесів та економічні чинники.

Розроблення адаптованих 3D-моделей вимагає урахування особливостей шрифту Брайля. Необхідна точність у розмірах, формі та розміщенні крапкових елементів. Помилки на цьому етапі призводять до порушення функціональності об'єктів. Водночас використання традиційних методів виготовлення тактильних матеріалів є тривалим і малоефективним. Тому потрібні нові технічні рішення, здатні оптимізувати процес створення шрифту Брайля.

Сфера адитивного виробництва характеризується високою динамікою. Значна частина компаній інвестує у наукові розробки. Це свідчить про потенціал технології як рушія інновацій. Її застосування у сфері інклюзії може стати

важливою складовою трансформації освітнього середовища. Зокрема, забезпечити системний підхід до виготовлення шрифту Брайля з урахуванням потреб користувачів і вимог до якості.

Таким чином, дослідження орієнтоване на розв'язання актуальної проблеми підвищення якості тактильних інформаційних матеріалів для незрячих осіб шляхом застосування сучасних інформаційних технологій. Запропонований інноваційний підхід полягає у інтеграції методів 3D-моделювання та 3D-друку у процес формування шрифту Брайля. Результати дослідження здатні суттєво розширити можливості інклюзивної освіти та зробити вагомий внесок у міждисциплінарні наукові розвідки щодо підтримки осіб з порушенням зору.

Дисертаційна робота узгоджується з пріоритетними напрямами розвитку науки й техніки та відповідає чинному законодавству України, зокрема: Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (№ 2623-III від 11 липня 2001 р.), Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» (№ 433-IV від 16 січня 2003 р.), Закону України «Про національну програму інформатизації» (№ 74/98- ВР від 4 лютого 1998 р.), Закону України «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні» (№875-XII від 21 березня 1991 р.), Конвенції про права осіб з інвалідністю (ратифіковано Законом України № 1767-VI від 16 грудня 2009 р.), Розпорядженню Кабінету Міністрів України «Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року», напрям 2: «Інформаційна безбар'єрність» (№ 366-р від 14 квітня 2021 р.), пріоритетним тематичним напрямом наукових досліджень Національного університету «Львівська політехніка».

### **Обґрунтування наукових положень та їх достовірність.**

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, положень та висновків забезпечені використанням теорії семантичних мереж та елементів логіки предикатів, методів математичного моделювання ієрархій, методів ранжування та оцінювання вагомості предикатів, лінійного згортання критеріїв, методів та засобів нечіткої логіки, структурно-функціонального моделювання, мови

програмування Golang для прогнозування якості майбутньої 3D-моделі з шрифтом Брайля.

Результати роботи достатньо апробовано на: звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Української академії друкарства (Львів, 2021–2024); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та WEB-технології» (Харків, 2022, 2023, 2024); 1st International Workshop on Intelligent & Cyber Physical Systems (ICyberPhyS-2024), CEUR Workshop Proceedings (Хмельницький, 2024).

Висновки і рекомендації, які наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, їх достовірність підтверджена експериментально.

**Сформульована наукова новизна представлена до захисту дисертації.**

На основі проведених теоретичних і наукових досліджень одержано такі нові результати:

*вперше:*

- 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.

*отримало 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.

### **Короткий аналіз змісту дисертації:**

У *вступі* наведено та обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження. Вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано мету та задачі дослідження. Наведено об'єкт та предмет дослідження. Описано методи дослідження. Продемонстровано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Зазначено особистий внесок здобувача. Представлено апробацію результатів дисертаційної роботи. Подано відомості щодо кількості публікацій, опублікованих здобувачем за результатами викладених досліджень. Зазначено структуру та обсяг дисертації.

У *першому розділі* проведено аналіз технологій адитивного виробництва та інформаційних систем для реалізації друку шрифтом Брайля. Зокрема, проаналізовано сучасний стан, актуальність і тенденції розвитку інформаційних технологій 3D-моделювання, процесів адитивного виробництва, а також

проблем інклюзії для людей з порушеннями зору та незрячих. Досліджено технологічні аспекти інтегрування штучного інтелекту у процес формування шрифту Брайля на прототипах та 3D-моделях. Проаналізовано методи та алгоритми штучного інтелекту, їх переваги та обмеження.

У *другому розділі* досліджено фактори впливу на вибір технологій формування шрифту Брайля на основі 3D-моделювання. Проведено аналіз технологій тривимірного моделювання для створення тактильних моделей. Розглянуто види програмного забезпечення, їх функціональні можливості та чинники, що впливають на процес формування шрифту Брайля. Проаналізовано технології адитивного виробництва. Виконано порівняння з традиційними методами виготовлення тактильних матеріалів. Визначено переваги, недоліки та орієнтовні витрати. Окрему увагу приділено факторам, які впливають на якість відтворення рельєфно-крапкового шрифту.

Проведено дослідження технічних особливостей роботи 3D-принтера. Розглянуто принципи функціонування та конструктивні механізми, що визначають ефективність створення брайлівських моделей. Визначено фактори, які впливають на точність і стабільність формування шрифту. Проаналізовано види матеріалів, що застосовуються в різних типах 3D-друку. Розглянуто їхні фізичні та хімічні властивості. Встановлено залежність якості шрифту Брайля від вибору матеріалу. Здійснено дослідження впливу матеріалів на якість формування рельєфно-крапкового шрифту на тривимірних моделях. Розглянуто здатність різних матеріалів забезпечувати чітке тактильне зчитування символів незрячими користувачами. Наведено основні інструменти, що застосовуються для формування шрифту з використанням 3D-друку. Подано узагальнюючу таблицю переваг і недоліків, які виникають під час роботи з крапковим шрифтом.

Розглянуто особливості інформаційних систем, що використовуються для формування шрифту Брайля. Проведено аналіз переваг і обмежень наявних рішень. Наведено перелік систем, які застосовують для створення рельєфно-крапкових моделей. Обґрунтовано необхідність удосконалення таких інформаційних систем. Розглянуто перспективи створення дисплеїв та цифрових

пристроїв на основі адитивних технологій. Проведено аналіз та порівняння CAD-систем, що використовуються у процесі розробки 3D-моделей зі шрифтом Брайля. Розглянуто наявне програмне забезпечення, визначено його функціональні обмеження. Обґрунтовано необхідність вдосконалення існуючих CAD-систем. Здійснено вибір найбільш придатного середовища для створення рельєфно-крапкових моделей. Водночас зафіксовано його недоліки, що свідчить про доцільність формування нових критеріїв оцінювання та розроблення спеціалізованого програмного забезпечення.

У *третьому розділі* розроблено моделі оцінювання якості шрифту Брайля на основі технологій 3D-друку та 3D-моделювання. Створено інформаційну концепцію дослідження процесів формування шрифту Брайля з використанням 3D-моделювання. В її основу покладено два критерії: процес створення 3D-моделей у межах адитивного виробництва та фактори, що впливають на якість шрифту Брайля. На базі цих критеріїв виконано поетапне опрацювання параметрів, результати якого подано у вигляді багаторівневої моделі. Вона охоплює: формування семантичної мережі зв'язків між процесами і факторами; побудову моделей пріоритетних факторів; розрахунок альтернатив і моделювання компонент нечіткої системи оцінювання.

Створено семантичну мережу, де вершини відповідають факторам, а дуги відображають лінгвістичні зв'язки з використанням логіки предикатів. Формалізовано зв'язки між факторами адитивного виробництва і якістю шрифту Брайля. Побудовано матрицю досяжності на базі семантичної мережі, а також ітераційні таблиці для визначення важливості факторів. Розроблено багаторівневу модель факторів впливу на основі методу ієрархічного моделювання. Синтезовано вдосконалену модель з використанням методу ранжування та вагомості предикатів. Оптимізовано вагові значення факторів за допомогою матриці попарних порівнянь та методу багатокритеріальної оптимізації. Сформовано модель Парето з урахуванням накопичувальних процентних внесків. Визначено найвпливовіші фактори, що формують якість шрифту Брайля на тривимірних моделях.

У четвертому розділі розроблено інформаційну технологію формування шрифту Брайля за допомогою 3D-модельовання та 3D-друку. Зокрема, здійснено групування лінгвістичних змінних за функціональними ознаками. Створено базу даних, яка пов'язує змінні з їх терм-множинами та відповідними лінгвістичними термами, що задані у нечіткій тривимірній шкалі. Розроблено ієрархічну модель логічного виведення. Вона описує зв'язки між елементами бази даних та алгоритм обчислення функцій належності на основі термів змінних. Сформовано інформаційну базу, яка пов'язує змінні з межами терм-множин та відповідними лінгвістичними оцінками. Побудовано матриці попарних порівнянь термів. Обчислено значення функцій належності. Здійснено нормалізацію функцій належності та представлення їх у вигляді нечітких множин. Сформовано матриці нечітких знань типу. Побудовано системи нечітких логічних рівнянь для змінних другого рівня моделі логічного виведення. Проведено дефазифікацію. Визначено оптимальну технологію для отримання високоякісних брайлівських тактильних моделей.

Виконано експеримент з використанням FDM-принтера і PLA-пластику. Досліджено вплив матеріалу основи (папір, плівка, пластик, скло) на якість формування шрифту. Визначено оптимальні варіанти та їх вартісні характеристики.

Розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології оцінювання якості шрифту Брайля. Вона включає інформаційну базу даних, моделі пріоритетних факторів і нечітку систему прогностичного аналізу для забезпечення потреб незрячих користувачів.

У п'ятому розділі описано розроблене програмне забезпечення для генерації та аналізу шрифту Брайля із застосуванням технологій 3D-модельовання. Зокрема, описано алгоритми та функціональні можливості розробленого програмного продукту, що забезпечує аналіз тривимірних моделей шрифту Брайля на відповідність стандартам, прогнозування якості моделей і генерацію тексту у вигляді крапкових символів. Розкрито принципи реалізації функцій на рівні програмного коду. Деталізовано процедури генерації шрифту

Брайля, створення STL-моделей із параметрами за замовчуванням або користувацькими налаштуваннями. Реалізовано перевірку відповідності моделі стандартам. Наведено алгоритм конвертації зображень JPG/PNG у STL-формат. Проаналізовано роботу прогностичного калькулятора, який оцінює якість майбутньої моделі з урахуванням вхідних параметрів. Наведено фрагменти коду з AI-функціями для генерації шрифту, побудови моделей, перевірки відповідності стандартам, конвертації графічних зображень у 3D-моделі та прогнозування якості. Проведено порівняння можливостей різних AI-сервісів, визначено їх переваги й обмеження у контексті використання в розробленому програмному продукті.

*У висновках* узагальнено результати дисертаційного дослідження.

*У додатках* наведено список публікацій здобувача за темою дисертації та апробацію результатів. Представлено таблиці з терм-множинами, значеннями функцій належності терм-множин лінгвістичних змінних та візуалізацію значень функцій належності. Подано код розробленого програмного забезпечення «3D Braille CAD» та програмний код для обчислення рейтингу факторів на основі методу ELO. Продемонстровано акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Виходячи із аналізу основної частини дисертації, можна зробити висновок, що дисертація є завершеною науковою роботою.

**Практичне значення одержаних результатів.** У дисертаційній роботі отримано практично важливі результати. Зокрема, 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. 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. Запропоновано програмний продукт для перетворення брайлівської 3D-моделі, а також для аналізу стандартним розмірам і прогнозування якості майбутньої 3D-моделі.

**Впровадження результатів дослідження.** Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес Української академії друкарства під час лекційних і лабораторних занять. Також результати впроваджені у комунальному закладі Львівської обласної ради «Навчально-реабілітаційний центр «Левеня». Наявні підтверджувальні документи щодо впровадження.

**Повнота висвітлення основних результатів дисертації.** Нові наукові результати і положення повністю відображені у 19 наукових працях, серед яких: 2 статті у виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus; 6 статей у наукових фахових виданнях України, затверджених МОН України; 4 публікації в закордонних виданнях; 7 публікацій у збірниках наукових конференцій. Кількість публікацій, їх повнота та обсяг у достатній мірі відображають особистий внесок автора і відповідають вимогам, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

**Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності.** Оформлення дисертації відповідає чинним нормативним вимогам, зокрема Вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом МОН України № 40 від 02.01.2017 р. Структура дослідження побудована логічно: кожен розділ завершено висновками, що відповідають отриманим результатам. Анотація узгоджена зі змістом основних положень дисертації та відображає зміст виконаної роботи. Текст дисертації не містить недозволених запозичень. Усі наукові результати інших авторів використано з відповідними посиланнями на джерела.

**Зауваження до дисертаційної роботи**

Не зважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, необхідно зауважити:

1. У вступі наведено перелік українських та зарубіжних вчених, які здійснили значний внесок у дослідження 3D-друку та шрифту Брайля. Однак, варто було б детальніше описати суть та вагомість внеску зазначених дослідників.

2. Назва розділу 4 «Реалізація інформаційної системи для створення 3D-моделей з текстом Брайля, на основі адитивних технологій» не повністю відповідає змісту розділу, основним результатом якого є розроблення інформаційної технології формування шрифту Брайля за допомогою 3D-моделювання та 3D-друку. Натомість розроблена інформаційна система описана у розділі 5.

3. У розділі 4 на рис. 4.1.1 представлена модель логічного виведення на основі показників якості формування шрифту Брайля в процесах адитивного виробництва та 3D-моделювання, яка містить 8 лінгвістичних змінних. При цьому у семантичних мережах, наведених у розділі 3 на рис. 3.2.1 та 3.2.2 проаналізована більша кількість факторів. Не зрозуміло яким чином здійснено формування множини лінгвістичних змінних згаданої моделі.

4. Надзвичайно вагомим з практичної точки зору є розроблення програмного продукту для 3D-моделювання шрифту Брайля, аналізу та прогнозування якості в процесах адитивного виробництва, представленого у розділі 5. Однак, з огляду на складність та багатофункціональність програми, доцільно було б навести у додатках детальні інструкції для користувачів.

5. У дисертаційній роботі зустрічаються незначні стилістичні та граматичні помилки.

Наведені зауваження не знижують наукової та практичної цінності проведеного дослідження і не впливають на загальний висновок. Робота є завершеною, оригінальною науковою працею, яка заслуговує позитивної оцінки.

**Висновки.** На підставі всебічного аналізу можна стверджувати, що за актуальністю, науковою новизною, науковою та практичною цінністю

одержаних результатів дисертація Тарасова Нікити Андрійовича «Інформаційна технологія формування шрифту Брайля за допомогою 3D-модельовання» є завершеною науковою працею, присвяченою вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми підвищення якості тактильних інформаційних матеріалів для незрячих осіб шляхом застосування сучасних інформаційних технологій. Робота містить нові положення, які є особистими напрацюваннями автора та такими, що мають наукову цінність та неабияке практичне значення.

Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, викладеними у 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, а її автор Тарасов Нікіта Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 — «Інформаційні технології» за спеціальністю 126 — «Інформаційні системи та технології».

**Рецензент:**

доцент кафедри СВР  
Інституту комп'ютерних наук  
та інформаційних технологій  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
доктор технічних наук, доцент



Альона КУДРЯШОВА

*Підпис доцента Альони Кудряшової завіряю:*

*Проректор*



Микола ЛОГОЙДА

« » 2025 року