

Використання методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту для автоматизації підготовки CAD-документації друкованих плат

Вадим Онищенко¹, Олександр Малий¹, Вадим Мірошніченко¹

1. Кафедра інформаційних технологій електронних засобів, Національний університет «Запорізька політехніка», УКРАЇНА, Запоріжжя, вул. Університетська, 64, email: vfonish@gmail.com, malvi@zp.edu.ua

Анотація: Розглянуто застосування методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту для автоматизації підготовки CAD-документації друкованих плат. Показано обмеження традиційних ручних підходів і сучасних CAD/CAE-систем у випадках відсутності вихідних проєктних файлів. Проаналізовано ключові етапи процесу — попередню обробку зображень, сегментацію, класифікацію та формування структурованих даних. Окреслено основні виклики та перспективи розвитку, зокрема створення відкритих датасетів і відновлення електричних схем.

Ключові слова: друковані плати, CAD-документація, комп'ютерний зір, штучний інтелект, обробка зображень, сегментація, класифікація компонентів, автоматизація проєктування.

I. ВСТУП

Автоматизоване створення та відновлення документації друкованих плат є актуальним завданням сучасної електронної промисловості. Зростання складності електронних пристроїв, широке використання багатошарових плат та необхідність оперативного технічного супроводу вимагають ефективних рішень для формування конструкторських даних. Особливої важливості ця проблема набуває у випадках, коли відсутня початкова документація від виробника або ж вона втрачена, застаріла чи неповна.

Практична потреба у швидкому відновленні та актуалізації даних про друковані плати виникає у різних сферах: від реверс-інжинірингу та ремонту обладнання до модернізації промислових систем і розроблення навчальних матеріалів. Наявність актуальної CAD-документації є ключовою умовою для коректної експлуатації, повторного виробництва та адаптації електронних пристроїв під нові технічні вимоги.

Традиційний ручний підхід до відтворення документації передбачає значні часові витрати й високу залежність від досвіду інженера-конструктора. Ручна робота ускладнює процес, збільшує ймовірність помилок та знижує загальну продуктивність. Це створює передумови для пошуку нових методів, що дозволять автоматизувати аналіз візуальної інформації та її перетворення у стандартизовані формати CAD.

Метою цієї роботи є аналіз можливостей застосування методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту для автоматизації процесу підготовки CAD-документації друкованих плат. Основними завданнями є визначення ключових проблем ручного підходу, розгляд перспективних напрямів використання сучасних

технологій обробки зображень та окреслення викликів, які стоять перед дослідниками у цій сфері.

II. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ

У сфері створення та відновлення документації друкованих плат тривалий час застосовувалися переважно традиційні методи, що базуються на ручній роботі інженера-конструктора. Такий підхід передбачає аналіз фізичного зразка плати, її замальовування або перенесення контурів у CAD-систему, а також подальше відтворення топології провідників та розташування компонентів. Незважаючи на точність у випадку достатнього досвіду виконавця, цей процес є надзвичайно трудомістким і може займати значні ресурси часу.

З поширенням CAD/CAM/CAE технологій у проєктуванні електронних пристроїв з'явилися засоби, що дозволяють прискорити етапи відновлення документації. Сучасні програмні комплекси підтримують імпорт файлів у різних форматах (Gerber, DXF, ODB++), автоматичне трасування доріжок та бібліотеки електронних компонентів. Проте більшість таких рішень орієнтовані на використання вже наявних електронних проєктів і не передбачають роботи з вихідними зображеннями друкованих плат. Це обмежує їх ефективність у випадках, коли потрібно відновити документацію без доступу до вихідних файлів.

Окремим напрямом досліджень є застосування методів комп'ютерного зору для аналізу зображень друкованих плат. Використовуються алгоритми сегментації, виявлення контурів, класифікації об'єктів, які дають змогу автоматично виділяти доріжки, контактні площадки та елементи монтажу. Такі підходи широко застосовуються у задачах контролю якості друкованих плат, проте їх інтеграція у процес автоматизованого відтворення документації перебуває на початковому етапі розвитку.

В останні роки зростає інтерес до використання методів машинного навчання та глибинних нейронних мереж для розпізнавання складних структур електронних плат. Існують публікації, у яких розглядається застосування convolutional neural networks (CNN) для ідентифікації електронних компонентів або аналізу дефектів на поверхні плат. Ці дослідження демонструють потенціал використання штучного інтелекту у процесах автоматизації, проте вони здебільшого обмежуються окремими завданнями і не вирішують комплексну задачу відновлення CAD-документації.

Таким чином, існуючі підходи можна умовно розділити на три групи:

1. Традиційні ручні методи – точні, але надмірно трудомісткі.

2. Функціонал сучасних CAD/CAE систем – ефективний при наявності проектних файлів, але не придатний для роботи з фото- чи відеозображеннями.

3. Алгоритми комп'ютерного зору та штучного інтелекту – перспективні, але ще недостатньо інтегровані у комплексні системи автоматизації.

У цьому контексті постає завдання формування нового підходу, що об'єднає переваги сучасних технологій комп'ютерного зору та інструментів штучного інтелекту, забезпечуючи можливість безпосереднього перетворення зображень друкованих плат у CAD-документацію.

III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Процес підготовки CAD-документації друкованих плат на основі їхніх фотографій можна розглядати як багатокрокове завдання, що поєднує методи комп'ютерного зору, алгоритми штучного інтелекту та інструменти автоматизованого проектування. Основна проблема полягає у перетворенні неструктурованих візуальних даних (цифрових зображень) у структуровану інформацію, придатну для подальшого використання у CAD/CAE-системах.

Підзадачі процесу наведені на рис. 1.

До основних вимог до такого підходу належать:

- достатня точність відтворення топології та компонентів;
- мінімізація ручного втручання на етапах ідентифікації та корекції;
- сумісність отриманих результатів із поширеними CAD-системами;
- масштабованість для різних типів і розмірів друкованих плат.

Таким чином, задача може бути сформульована як розробка концептуального підходу до автоматизації перетворення зображень друкованих плат у CAD-документацію з використанням методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Це завдання є міждисциплінарним і потребує поєднання знань у галузях обробки зображень, машинного навчання та інженерії електронних систем.

IV. МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Для розв'язання задачі автоматизованого перетворення фотографій друкованих плат у CAD-документацію ключову роль відіграють методи комп'ютерного зору. Вони забезпечують вилучення структурованої інформації з візуальних даних та формують основу для подальшого застосування алгоритмів штучного інтелекту.

1. Попередня обробка зображень.

На цьому етапі необхідно забезпечити придатність вхідних даних до подальшого аналізу. Використовуються методи фільтрації шумів (медіана, гаусова фільтрація), корекції контрасту та яскравості, вирівнювання геометричних спотворень, що виникають через нерівномірне освітлення чи кут фотографування.

Також важливим завданням є нормалізація масштабу для забезпечення коректних вимірювань.

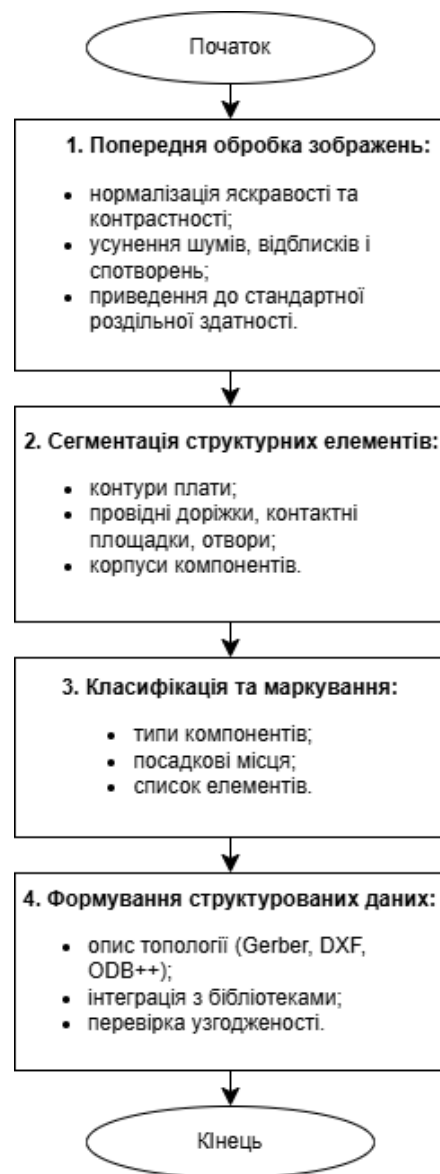


Рис. 1. Процес підготовки CAD-документації друкованих плат

2. Виділення контурів та структурних елементів.

Для визначення меж плати, провідників та контактних площадок застосовуються алгоритми аналізу контурів (наприклад, Canny Edge Detection, Sobel) і методи морфологічної обробки. Контури слугують основою для сегментації окремих елементів та створення векторного представлення топології.

3. Сегментація зображень.

Сегментація є ключовою задачею, оскільки друковані плати містять щільно розташовані елементи з різними текстурами та формами. Використовуються алгоритми розділення об'єктів за кольоровими й просторовими ознаками, а також сучасні методи семантичної сегментації, які дозволяють автоматично видокремлювати провідні доріжки від фону та виділяти корпуси компонентів.

4. Розпізнавання та ідентифікація компонентів.

Комп'ютерний зір може бути використаний для виявлення геометричних форм (прямокутників, кіл, багатокутників), що відповідають посадковим місцям чи корпусам електронних елементів. Додатково застосовуються алгоритми шаблонного співставлення для визначення стандартних компонентів, наприклад резисторів або інтегральних мікросхем.

5. Перетворення растрових даних у векторні представлення.

Після сегментації зображення та виділення контурів необхідно отримати векторну модель, придатну для експорту у САД-системи. Для цього застосовуються методи трасування контурів, апроксимації кривих та перетворення геометричних фігур у координатні дані.

6. Інтеграція з форматами САД.

Отримана векторна інформація повинна бути представлена у стандартизованих форматах (Gerber, DXF, ODB++), що дозволяє інтегрувати результати обробки у робочий процес проектування.

Таким чином, методи комп'ютерного зору забезпечують початковий і надзвичайно важливий етап у системі автоматизованого складання документації. Вони дозволяють перейти від «сирого» зображення плати до структурованих даних, які можуть бути подальше оброблені методами штучного інтелекту для класифікації та маркування.

V. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Застосування штучного інтелекту є логічним продовженням використання методів комп'ютерного зору у задачі автоматизації створення САД-документації друкованих плат. Якщо комп'ютерний зір відповідає за обробку зображень і виділення структурних елементів, то штучний інтелект забезпечує їх інтерпретацію, класифікацію та перетворення у дані, придатні для подальшого використання у САД-системах.

1. Класифікація компонентів.

Машинне навчання може бути використане для автоматичного визначення типів електронних елементів, розташованих на друкованій платі. Алгоритми класифікації дають змогу відрізнити резистори, конденсатори, інтегральні мікросхеми, роз'єми та інші стандартні компоненти. Це знижує потребу у ручному маркуванні та формуванні специфікації (Bill of Materials, BOM).

2. Сегментація за допомогою глибинних моделей.

Глибинні нейронні мережі (наприклад, архітектури типу U-Net чи Mask R-CNN, які широко застосовуються у задачах сегментації) можуть бути використані для більш точного відділення доріжок і площадок від фону, а також для виділення складних форм компонентів. Це особливо важливо для плат з високою щільністю монтажу.

3. Розпізнавання текстових і графічних позначень.

На багатьох платах присутні текстові маркування: номери компонентів, позначення контактів, виробничі коди. Алгоритми оптичного розпізнавання символів (OCR), підсилені методами штучного інтелекту, можуть автоматизувати процес перенесення цих даних у документацію.

4. Побудова зв'язків між елементами.

Інтелектуальні алгоритми можуть допомогти визначити логічні зв'язки між компонентами, базуючись на просторовому розташуванні доріжок та їх топології. Хоча повне відновлення електричних схем є окремим завданням, використання AI здатне значно спростити цей процес і забезпечити основу для подальшої реконструкції.

5. Виклики у використанні AI:

- відсутність великих і відкритих датасетів для навчання моделей саме на зображеннях друкованих плат;
- необхідність високої точності розпізнавання, оскільки навіть незначні похибки можуть призвести до некоректної документації;
- проблема узагальнення: моделі мають працювати з різними типами плат, кольорами, умовами освітлення та якістю фотографій.

Таким чином, методи штучного інтелекту виступають ключовим інструментом для переходу від «сирих» даних, отриманих комп'ютерним зором, до повноцінної САД-документації. Їхнє застосування дозволяє суттєво зменшити частку ручної роботи, підвищити точність результатів та створити передумови для інтеграції в сучасні системи автоматизованого проектування.

VI. ОБГОВОРЕННЯ ПРОБЛЕМ І ВИКЛИКІВ

Незважаючи на значний потенціал застосування комп'ютерного зору та штучного інтелекту для автоматизації створення САД-документації друкованих плат, існує низка проблем і обмежень, які стримують практичне впровадження таких підходів.

1. Якість вхідних даних.

Фотографії друкованих плат можуть відрізнитися за якістю, роздільною здатністю та умовами освітлення. Важливим чинником є наявність відблисків від металізованих поверхонь, тіней або спотворень через неправильний кут зйомки. Такі фактори ускладнюють сегментацію та розпізнавання елементів.

2. Багатшаровість конструкцій.

Сучасні друковані плати зазвичай є багатшаровими. При фотографуванні доступною для аналізу є лише зовнішня поверхня, тоді як внутрішні шари залишаються прихованими. Це обмежує можливості повної реконструкції топології лише за допомогою візуальних методів.

3. Нестача спеціалізованих наборів даних.

Для навчання моделей штучного інтелекту необхідні великі та репрезентативні датасети. Проте відкриті бази зображень друкованих плат майже відсутні, а створення власних потребує значних ресурсів і часу. Це знижує точність та універсальність отриманих моделей.

4. Високі вимоги до точності.

Навіть незначні похибки у відновленні топології (наприклад, пропущена доріжка чи неправильно класифікований компонент) можуть призвести до некоректної документації, що робить подальше використання результатів проблематичним.

5. Сумісність із САД-системами.

Отримані результати аналізу зображень необхідно конвертувати у стандартизовані формати (Gerber, DXF, ODB++). Це вимагає розробки додаткових алгоритмів для забезпечення повної сумісності та перевірки цілісності даних.

6. Обчислювальні ресурси.

Розпізнавання зображень великої роздільної здатності із застосуванням глибинних моделей потребує значних обчислювальних ресурсів. Це може стати обмежувальним чинником для практичного використання у промислових умовах без доступу до високопродуктивного обладнання.

7. Відсутність комплексних рішень.

На сьогоднішній день більшість досліджень зосереджуються на окремих завданнях – наприклад, виявленні дефектів, класифікації компонентів чи сегментації доріжок. Проте комплексних рішень, які б повністю автоматизували перехід від фотографії плати до готової CAD-документації, поки що не існує.

Отже, успішне вирішення поставленої задачі вимагає не лише подальшого розвитку алгоритмів комп'ютерного зору та штучного інтелекту, але й створення методологічної та технічної бази для їх інтеграції у виробничі процеси.

VII. ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Подальший розвиток напрямку автоматизації підготовки CAD-документації друкованих плат на основі зображень відкриває низку перспектив, які можуть суттєво вплинути як на наукові дослідження, так і на практичні застосування у промисловості.

1. Розширення можливостей для багатошарових плат.

Одним із ключових викликів є робота з багатошаровими конструкціями. Перспективним завданням є створення методів, здатних частково відновлювати внутрішні шари за допомогою комбінації візуального аналізу, статистичних моделей та експертних правил. Це дозволить отримати більш повне уявлення про структуру складних плат.

2. Автоматизоване відновлення електричних схем.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку алгоритмів, які дозволяють формувати не лише геометричну топологію плати, а й її електричну схему. Це створить можливість для інтеграції отриманих результатів у системи моделювання та верифікації.

3. Інтеграція методів перевірки та контролю якості.

Системи, здатні автоматично аналізувати зображення плат і порівнювати їх із еталонними CAD-моделями, можуть стати основою для виявлення відхилень та дефектів у процесі виробництва. Така інтеграція дозволить поєднати завдання відновлення документації з функціями технічного контролю.

4. Створення та поширення відкритих датасетів.

Для розвитку моделей штучного інтелекту необхідні репрезентативні набори даних, які б охоплювали широкий спектр друкованих плат різного призначення. Перспективним напрямом є формування спільних баз зображень для наукової спільноти, що сприятиме підвищенню точності та універсальності алгоритмів.

5. Поєднання різних методів і технологій.

Майбутні системи можуть поєднувати класичні алгоритми комп'ютерного зору, глибинне навчання та експертні системи, що дасть змогу досягти більшої точності та надійності. Використання гібридних підходів дозволить компенсувати обмеження кожного окремого методу.

6. Використання у різних сферах.

Перспективним є застосування описаних підходів не лише у виробництві, але й у сферах ремонту та

модернізації обладнання, технічної освіти (для навчання студентів роботі з CAD-системами на основі реальних зразків плат), а також у військово-промисловому комплексі, де швидке відновлення документації може мати стратегічне значення.

Отже, подальші дослідження у цьому напрямку мають міждисциплінарний характер і потребують співпраці фахівців у галузях електроніки, інженерії, комп'ютерних наук і штучного інтелекту. Реалізація зазначених перспектив сприятиме створенню комплексних систем, здатних значно підвищити ефективність виробництва та обслуговування електронних пристроїв.

VIII. ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто актуальність проблеми автоматизованого відновлення та створення CAD-документації друкованих плат на основі їхніх зображень. Показано, що традиційні методи, які базуються на ручній роботі інженера, є надмірно трудомісткими та не відповідають вимогам сучасного виробництва, де важливими стають швидкість, точність та можливість інтеграції у цифрові виробничі процеси.

Огляд існуючих підходів продемонстрував, що сучасні CAD/CAE-системи забезпечують ефективну роботу за умов наявності вихідних проектних файлів, але залишаються малоприматними у випадках, коли відновлення здійснюється лише за фотографіями друкованих плат. Методи комп'ютерного зору вже активно застосовуються у суміжних задачах, наприклад, у контролі якості, а їх поєднання з алгоритмами штучного інтелекту відкриває нові можливості для комплексної автоматизації процесу.

Було визначено основні завдання, що потребують вирішення: попередня обробка зображень, сегментація структурних елементів, класифікація компонентів, формування структурованих даних у стандартизованих форматах. Особливу увагу приділено проблемам, серед яких — обмеження роботи з багатошаровими платами, нестача спеціалізованих датасетів, високі вимоги до точності результатів та забезпечення сумісності з CAD-системами.

Перспективними напрямками розвитку є створення методів для аналізу багатошарових конструкцій, автоматизоване відновлення електричних схем, інтеграція з системами контролю якості та формування відкритих баз даних зображень друкованих плат. Реалізація таких підходів потребує міждисциплінарної співпраці та може суттєво вплинути на ефективність електронного виробництва, ремонтних процесів і освітніх практик.

Таким чином, використання комп'ютерного зору та штучного інтелекту у підготовці CAD-документації друкованих плат є перспективним напрямом досліджень, що поєднує наукову новизну та практичну значущість. Подальший розвиток цього напрямку здатен сформувати основу для створення комплексних автоматизованих систем у сфері електронного проектування та виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Jeong, H., Lee, Y., & Kim, S. (2020). Automatic recognition of PCB components using convolutional

- neural networks. *Electronics*, 9(10), 1673. <https://doi.org/10.3390/electronics9101673>
- [2] Xu, K., Chen, H., & Wang, J. (2022). A vision-based approach for printed circuit board inspection using deep convolutional features. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 542-552. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.12.010>
- [3] Yang, C., Zhang, T., & Chen, Y. (2023). Intelligent image analysis for PCB design and verification: A review of methods and challenges. *Micromachines*, 14(2), 291. <https://doi.org/10.3390/mi14020291>
- [4] Gao, H., Wu, J., & Zhang, M. (2020). CAD-based automated inspection of printed circuit boards using computer vision techniques. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 10(7), 1210-1220. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2020.2990837>
- [5] Chen, Q., Wang, P., & Liu, D. (2022). Deep learning for electronic design automation: A survey on recent advances. *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*, 27(6), 1-28. <https://doi.org/10.1145/3543733>
- [6] Chala, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2025). Using the Human Face Recognition Method Based on the MobileNetV2 Neural Network in Authentication Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(3), 882-895.
- [7] Невлюдов, І., Клименко, О., Євсєєв, В., & Максимова, С. (2025). IMPROVEMENT OF THE ENCODING INFORMATION METHOD FOR PHARMACEUTICAL PRODUCTS QR-CODES DURING SORTING ON A ROBOTIC CONVEYOR LINE. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Технології в машинобудуванні, (1 (11)), 128-134.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [9] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetV2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [10] CAMShift Algorithm for Human Tracking in the Collaborative Robot Working Area / D. Gurin, V. Yevsieiev, S. Maksymova., Ahmad Alkhalaileh // *Journal of Universal Science Research*. – 2024. – Vol. 2(8). – P. 87–101.
- [11] Yevsieiev V. The Sobel algorithm implementation for detection an object contour in the mobile robot's workspace in real time / V. Yevsieiev, S. Maksymova, Ahmad Alkhalaileh // *Technical Science Research in Uzbekistan*. – 2024. – Vol. 2(3). – P. 23-33.
- [12] Yevsieiev V. The Canny Algorithm Implementation for Obtaining the Object Contour in a Mobile Robot's Workspace in Real Time / V. Yevsieiev, S. Maksymova, Amer Abu-Jassar // *Journal of Universal Science Research*. – 2024. – Vol. 2(3). – P. 7–19.
- [13] Yevsieiev V. Object Recognition and Tracking Method in the Mobile Robot's Workspace in Real Time / V. Yevsieiev, Amer Abu-Jassar, S. Maksymova // *Technical science research in Uzbekistan*. – 2024. – Vol. 2(2). – P. 115-124
- [14] Active Contours Method Implementation for Objects Selection in the Mobile Robot's Workspace / V. Yevsieiev, S. Maksymova, N. Starodubtsev, Amer Abu-Jassar // *Journal of Universal Science Research*. – 2024. – Vol. 2(2). – P. 135–145
- [15] Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 30461-16.
- [16] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.
- [17] Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв та ін. ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.
- [18] Maksymova S. The Lucas-Kanade method implementation for estimating the objects movement in the mobile robot's workspace / S. Maksymova, V. Yevsieiev, Ahmad Alkhalaileh // *Journal of Universal Science Research*. – 2024. – Vol. 2(3). – P. 187-197.