

С. С. ГУРКОВСЬКА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»
ORCID: 0000-0001-6594-6815

Д. Ю. МІХЄЄНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»
ORCID: 0000-0003-1966-061

АВТОМАТИЗОВАНА ПОБУДОВА 2D-КРЕСЛЕНЬ З 3D-МОДЕЛЕЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

У статті досліджується ефективність сучасного програмного забезпечення для автоматизації створення кресленників із тривимірних моделей, що є актуальним завданням для інженерної та архітектурної галузей. Основна увага приділена аналізу можливостей програм AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на згорткових нейронних мережах (Convolutional Neural Networks, CNN). Дослідження спрямоване на визначення рівня ефективності цих інструментів за такими ключовими параметрами, як швидкість обробки, адаптація до складних форм і гнучкість у налаштуванні кресленників.

Дослідження показало, що AutoCAD забезпечує високу швидкість обробки простих моделей, проте має значні обмеження у роботі зі складною геометрією, що знижує його ефективність у завданнях із високим рівнем деталізації. SolidWorks демонструє кращу адаптацію до криволінійних форм завдяки використанню алгоритмів сплайнів, а також забезпечує автоматичне оновлення креслень при зміні тривимірної моделі. Fusion 360 ефективно працює з органічними формами завдяки обчислювальним методам і хмарній обробці, але залежність від інтернет-з'єднання може уповільнити роботу з великими обсягами даних. Алгоритми CNN виявилися найефективнішими для аналізу складних форм, забезпечуючи високу деталізацію, однак потребують значних обчислювальних ресурсів і часу.

Зроблено висновок, що адаптація програмного забезпечення до складних форм залежить від рівня розвитку алгоритмів і можливостей гнучкого налаштування креслень відповідно до стандартів, таких як ISO, ANSI або ГОСТ. Програмні продукти SolidWorks і Fusion 360 виявилися найбільш збалансованими за критеріями точності, адаптивності та функціональності. Проте розробка і впровадження нейронних мереж відкривають нові перспективи для автоматизації, особливо в задачах із нестандартними формами та високою складністю.

Ключові слова: комп'ютерна графіка, AutoCad, SolidWorks, Fusion 360, Convolutional Neural Networks.

S. S. HURKOVSKA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Digital Technologies
and Design-Analytical Solutions
Metinvest Polytechnic Technical University LLC
ORCID: 0000-0001-6594-6815

D. YU. MIKHIEIENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Digital Technologies
and Design-Analytical Solutions
Metinvest Polytechnic Technical University LLC
ORCID: 0000-0003-1966-061

AUTOMATIC CONSTRUCTION OF 2D-DRAWINGS FROM 3D-MODELS USING COMPUTER GRAPHICS TOOLS

The article investigates the effectiveness of modern software for automating the creation of drawings from three-dimensional models, which is a relevant task for the engineering and architectural industries. The main attention is paid to the analysis of the capabilities of AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 and algorithms based on convolutional neural networks (CNN). The study aims to determine the level of effectiveness of these tools in terms of key parameters such as processing speed, adaptation to complex shapes, and flexibility in customizing drawing files.

The study showed that AutoCAD provides high speed processing of simple models, but has significant limitations in working with complex geometry, which reduces its effectiveness in tasks with a high level of detail. SolidWorks demonstrates better adaptation to curved shapes due to the use of spline algorithms, and also provides automatic updating of drawings when changing the three-dimensional model. Fusion 360 works effectively with organic shapes due to computational methods and cloud processing, but dependence on an Internet connection can slow down work with large amounts of data. CNN algorithms turned out to be the most effective for analyzing complex shapes, providing high detail, but require significant computing resources and time.

It was concluded that the adaptation of software to complex shapes depends on the level of development of algorithms and the ability to flexibly configure drawings in accordance with standards such as ISO, ANSI or GOST. SolidWorks and Fusion 360 software products turned out to be the most balanced in terms of accuracy, adaptability and functionality. However, the development and implementation of neural networks open up new prospects for automation, especially in tasks with non-standard shapes and high complexity.

Key words: computer graphics, AutoCad, SolidWorks, Fusion 360, Convolutional Neural Networks.

Постановка проблеми

Сучасна промисловість і освіта перебувають у процесі активної інтеграції автоматизованих рішень для створення технічної документації, зокрема креслень, на основі тривимірних моделей. Це зумовлено зростанням вимог до швидкості виконання проєктів, точності технічної інформації та мінімізації людських помилок. Розвиток інструментів комп'ютерного моделювання надав змогу значно полегшити та прискорити процес проєктування, але існують серйозні виклики, пов'язані з адаптацією програмного забезпечення до роботи зі складними геометричними формами та забезпеченням гнучкого налаштування креслень відповідно до стандартів і вимог конкретного проєкту.

Проблема полягає у нерівномірному рівні функціональності сучасних програмних інструментів у контексті обробки моделей зі складною геометрією, таких як криволінійні поверхні, багат шарові структури чи органічні форми. Тому є необхідність в формуванні у фахівців чіткого розуміння функціоналу цих інструментів для оптимального та ґрунтовно обумовленого вибору та використанні в роботі над проєктами різного характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тема автоматизації створення креслень із тривимірних моделей є актуальною як у промисловості, так і в наукових дослідженнях. Останні публікації в цій галузі зосереджені на вдосконаленні алгоритмів обробки геометричних форм, оптимізації процесів конструювання та інтеграції штучного інтелекту для розв'язання складних технічних завдань.

Дослідження [1] спрямоване на оптимізацію процесів трансформації даних із 3D у 2D. Авторами запропоновано алгоритм, який базується на цифрових методах обробки зображень і використовує потужності сучасних CAD-програм, таких як SolidWorks і AutoCAD. Значну увагу приділено обробці криволінійних поверхонь, які зазвичай викликають складнощі при перетворенні. Впровадження такого підходу дозволило спростити процеси автоматизації й підвищити точність створюваних моделей.

У роботі [2] зосереджено увагу на практичних аспектах інтеграції CAD/CAM-систем у проєктування. Авторами наведено реальні приклади автоматизації проєктування складних конструкційних деталей, що показує ефективність використання автоматизованих інструментів для промислових завдань. Зокрема, підкреслено важливість побудови тривимірних моделей як основи для подальшого виготовлення деталей на верстатах із ЧПК.

У статті [3] висвітлено питання автоматизації моделювання в середовищі CAD із використанням прикладного програмування. Автори аналізують можливості застосування програмних інтерфейсів API для виконання рутинних завдань, таких як створення параметричних моделей або модифікація існуючих креслень. Пропонуються алгоритми, які дозволяють значно скоротити час проєктування та автоматизувати процес створення моделей із високим рівнем повторюваності елементів.

Роботи українських авторів [4, 5] також приділяють значну увагу питанням автоматизації у використанні CAD/CAM систем. У [4] описано застосування таких систем у навчальному процесі для підготовки майбутніх інженерів. Зокрема, дослідники підкреслюють важливість інтеграції методів автоматизації при викладанні інженерної графіки. У [5] акцентується на алгоритмах спрощення геометрії, які є критично важливими при перетворенні тривимірних моделей у складні кресленики.

Дослідження [6] розглядає нові підходи до автоматизації обробки 2D-креслень у галузі архітектури. Основна увага приділяється використанню інтелектуальних алгоритмів, здатних оптимізувати реконструкцію великих за обсягом даних, таких як плани будівель або інженерні схеми. Пропоновані методи довели свою ефективність, зменшуючи витрати часу на побудову тривимірних моделей. У роботі [7] детально розглянуто методи автоматизованого виявлення стін у 2D-CAD кресленнях для створення цифрових 3D-моделей. Дослідники розробили алгоритм, здатний автоматично розпізнавати контури стін, що суттєво скорочує час моделювання в архітектурному та будівельному проєктуванні. Це досягається завдяки аналізу ключових геометричних характеристик креслення. Крім того, автори акцентують увагу на тому, що використання такого підходу дозволяє значно знизити кількість помилок, пов'язаних із ручною реконструкцією даних.

Автори [8] досліджують технічні аспекти впровадження автоматизованих систем у промисловість. Виконано аналіз труднощів, які виникають при адаптації програмного забезпечення під специфічні потреби користувачів та пропонують рішення, спрямовані на покращення сумісності між різними платформами.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що автоматизація процесу переходу від 2D до 3D є не лише актуальною, а й стратегічно важливою для подальшого розвитку інженерної графіки та пов'язаних із нею галузей.

Формулювання мети дослідження

Метою цього дослідження є порівняльний аналіз можливостей програмного забезпечення AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на згорткових нейронних мережах, у задачах автоматизації створення плоских креслень на основі тривимірних моделей. Дослідження спрямоване на визначення рівня їхньої ефективності за такими ключовими параметрами, як швидкість обробки, адаптація до складних форм і гнучкість у налаштуванні креслень. Отримані результати дозволять сформулювати рекомендації щодо вибору програмних інструментів для різних типів завдань залежно від вимог до геометричної складності, точності та зручності адаптації технічної документації.

Викладення основного матеріалу дослідження

Сучасна промисловість і освіта дедалі більше фокусуються на автоматизації процесів створення креслень різноманітних об'єктів. Цими об'єктами можуть бути як інженерні конструкції, так і архітектурні одиниці. Потреба у швидшому виконанні проектів, мінімізації людського фактору та підвищенні ефективності роботи з великими обсягами технічної інформації – це є одні з пріоритетних вимог промисловості. Все частіше інженери, конструктори, архітектори першочергово розробляють тривимірну модель об'єкту, а потім на її основі розробляють технічну документацію, включаючи відповідні кресленики. Це стало можливим з розвитком інструментів комп'ютерного моделювання.

Процес перетворення тривимірних моделей у плоскі креслення залежить не лише від особливостей самого програмного забезпечення, але й від алгоритмів, що реалізуються в цих системах. У дослідженні було оцінено можливості AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на глибоких згорткових нейронних мережах (Convolutional Neural Networks, CNN), для виконання таких завдань. Аналіз проводився за основними критеріями: швидкість обробки, адаптація до складних форм та гнучкість у налаштуванні вихідних креслень.

AutoCAD використовує базові алгоритми перетворення тривимірних об'єктів у двовимірні проєкції, що ґрунтуються на принципах проєкційної геометрії. Ці алгоритми забезпечують швидке створення креслень із чіткими лініями та простими геометричними формами. Цей інструмент краще використовувати для створення креслення однієї деталі, проте для перетворення складальної одиниці функціонал AutoCAD недостатньо розвинуто. Обмеження у роботі з криволінійними поверхнями чи складними багатогранними об'єктами значно звужують спектр застосування AutoCAD у завданнях, де необхідна деталізація складної форми. Слід зауважити, що мова йде про машинобудівне креслення.

SolidWorks використовує більш просунуті алгоритми для генерації проєкцій, зокрема алгоритми інтерполяції сплайнів, що дозволяють точно відображати криволінійні елементи та заокруглення. Додатково система інтегрує методи автоматичного створення перерізів та відображення внутрішньої геометрії моделі, що значно підвищує точність та деталізацію плоских креслень. Завдяки підтримці параметричних моделей SolidWorks адаптується до змін у тривимірному об'єкті, автоматично оновлюючи відповідні креслення.

Fusion 360 поєднує переваги алгоритмів проєкційної геометрії та хмарних обчислень. Використовуючи методи обчислювальної графіки для створення двовимірних видів, Fusion 360 може швидко обробляти навіть складні моделі. Алгоритми цієї системи оптимізовані для роботи з криволінійними та органічними формами, що робить Fusion 360 універсальним інструментом для різноманітних завдань. Однак час створення проєкцій може зрости при роботі з великими моделями через залежність від інтернет-з'єднання для обчислень.

Алгоритми CNN, що застосовуються для створення плоских креслень із тривимірних об'єктів, використовують принципи навчання на великому обсязі даних. Нейромережі аналізують складні моделі, визначаючи ключові елементи та їх просторові зв'язки. Ці алгоритми забезпечують автоматичне створення креслень із високою деталізацією, включаючи приховані елементи та перерізи. Однак ефективність CNN залежить від якості підготовки моделі та потребує значних обчислювальних ресурсів, що може обмежувати їх практичне використання у звичайних робочих середовищах.

Адаптація програмного забезпечення до роботи зі складними формами в контексті перетворення тривимірних моделей у плоскі креслення визначається його здатністю точно та ефективно обробляти моделі з ускладненою геометрією. До таких форм належать об'єкти зі складними криволінійними поверхнями, багатшаровою структурою, деталізованими текстурами, внутрішніми елементами конструкцій і нерегулярними органічними контурами.

Ефективне програмне забезпечення для таких задач використовує сучасні алгоритми, наприклад, інтерполяцію кривих, апроксимацію поверхонь чи побудову об'ємних перерізів. Зокрема, SolidWorks застосовує сплайнові

алгоритми для створення точних проєкцій криволінійних поверхонь, тоді як Fusion 360 забезпечує якісну обробку органічних форм завдяки використанню потужних обчислювальних методів. У свою чергу, AutoCAD має обмежені можливості в роботі зі складними формами, оскільки його функціонал орієнтований переважно на обробку базових геометричних елементів.

Значну адаптивність у роботі зі складними геометриями демонструють згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN), які здатні аналізувати і моделювати зв'язки між елементами навіть у випадках нерегулярних або пошкоджених об'єктів. Це робить їх незамінними для проєктів із високим рівнем складності, таких як архітектурні об'єкти, біомедичні моделі чи дизайн із вільними формами.

Гнучкість у налаштуванні креслень визначається як здатність програмного забезпечення надавати користувачеві розширені можливості для адаптації двовимірної графіки до специфічних вимог проєкту. Це включає налаштування зовнішнього вигляду, стилю та формату креслень, а також модифікацію параметрів, створених автоматично на основі тривимірної моделі.

Одним із важливих аспектів є можливість змінювати стандарти креслення, що дозволяє програмному забезпеченню підтримувати різноманітні технічні норми, такі як ISO, ANSI чи ГОСТ, і адаптуватися до вимог конкретного проєкту. Гнучкість також передбачає контроль рівня деталізації, зокрема регулювання видимості елементів креслення, таких як приховані чи осьові лінії, а також перерізи.

Ще одним важливим фактором є підтримка експорту креслень у різні формати, як-от DWG, DXF чи PDF, що забезпечує зручність передачі даних для подальшої роботи. Програмні рішення, такі як SolidWorks і Fusion 360, демонструють високу гнучкість завдяки можливості автоматичного створення стандартних креслень із подальшим ручним редагуванням, наприклад, зміною масштабу, розташування проєкцій або додаванням текстових приміток чи таблиць специфікацій.

Проте менш гнучкі системи, наприклад AutoCAD у базовій конфігурації, обмежують можливості користувача, що часто призводить до необхідності виконання значного обсягу ручної роботи для адаптації креслень до вимог конкретного завдання.

У межах дослідження проведено тестування зазначених інструментів на трьох типах моделей: простій симетричній формі, об'єкті із криволінійними поверхнями та складному багаточаровому об'єкті (рис. 1). Результати тестування узагальнено у таблиці 1.

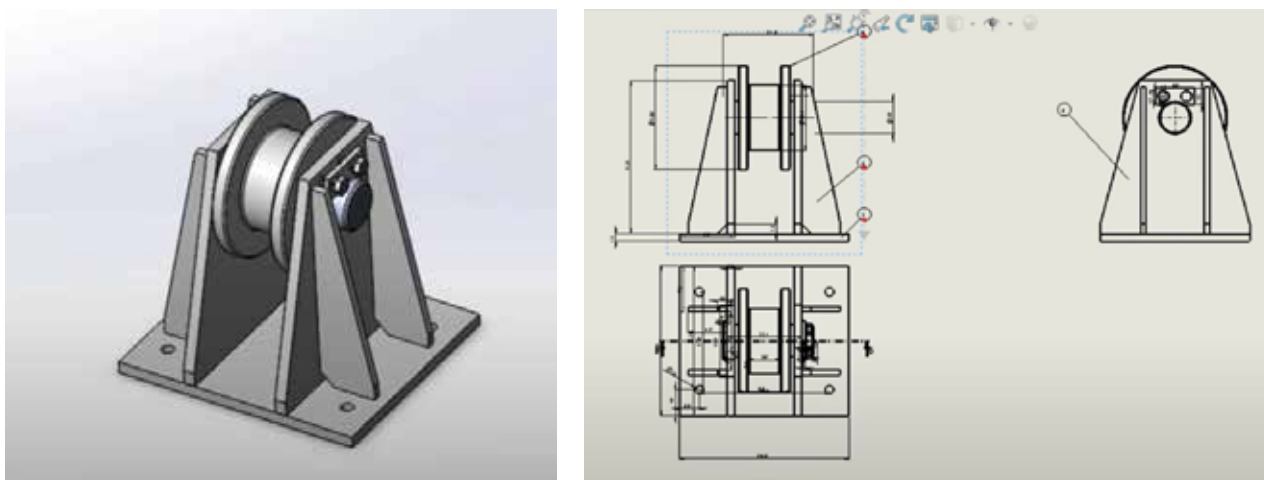


Рис. 1. Приклад перетворення складного багаточарового об'єкту з 3D моделі в плоский кресленик в SolidWorks

Таблиця 1

Порівняльний аналіз ефективності інструментів автоматизації побудови плоских креслеників з 3D-моделей

Інструмент	Швидкість обробки (с)	Адаптація до складних форм (бал, 1–5)	Гнучкість у налаштуванні креслень (бал, 1–5)
AutoCAD	2	3	3
SolidWorks	4	5	5
Fusion 360	5	4	5
Convolutional Neural Networks	8	5	3

Результати показали, що AutoCAD забезпечує найвищу швидкість обробки, однак точність геометрії є найнижчою серед усіх тестованих інструментів. Це пов'язано з обмеженнями алгоритмів AutoCAD у роботі зі складними формами. Хоча система залишається популярною завдяки простоті використання та доступності, її можливості адаптації до сучасних складних завдань є обмеженими.

SolidWorks продемонстрував високі показники точності та адаптації до криволінійних форм завдяки використанню алгоритмів сплайнів. Крім того, його функціонал дозволяє гнучко налаштувати вигляд вихідного креслення, що робить систему оптимальною для створення технічної документації зі складними геометриями. Fusion 360 має схожі показники із SolidWorks, але залежність від хмарної обробки може вплинути на час виконання завдань, особливо при великих обсягах даних.

CNN показали найвищу точність і здатність адаптуватися до складних форм, зокрема органічних поверхонь і багатошарових моделей. Однак вони виявилися найповільнішими через потребу у великій обчислювальній потужності. Гнучкість у налаштуванні креслень також була найнижчою через складність контролю над генерованими результатами та залежність від підготовки моделей.

Висновки

Звичайно, вибір інструмента залежить від вимог проекту. Для простих задач, які не передбачають обробки складних геометрій, AutoCAD може виступати доволі доцільним варіантом використання завдяки своїй швидкості та простоті. Для складніших проектів із високими вимогами до деталізації найкращими рішеннями є SolidWorks та Fusion 360, які демонструють високі показники точності й адаптації. Fusion 360 може бути рекомендований для командної роботи завдяки інтеграції хмарних обчислень, а SolidWorks – для проектів із високим рівнем індивідуалізації креслень.

Алгоритми CNN, попри свої сильні сторони, наразі є найбільш ефективними для дослідницьких і експериментальних задач. Їх можна рекомендувати для вирішення специфічних завдань, таких як обробка складних поверхонь або автоматична генерація креслень із вбудованими деталями. Для комерційного використання доцільно розвивати інтеграцію CNN із традиційними CAD-системами, що дозволить поєднати високу точність з гнучкістю традиційних підходів.

Список використаної літератури

1. Nguyen, H. T., Nguyen, T. T. N. Automated Generation of 3D Models Based on Digital Methods. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, Vol. 1827, 012115. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1827/1/012115>
2. Лисканич, Ю. І. Використання CAD/CAM систем для автоматизації проектування. Матеріали студентської наукової конференції. 2018. С. 208–209.
3. Tsai, W. Engineering Applications Using CAD-Based Application Programming Interface. ResearchGate. 2017. [Online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/312077164_Engineering_applications_using_CAD_based_application_programming_interface
4. Цись, О. Використання CAD-систем у навчальному процесі. Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 3. Фізика і математика у вищій і середній школі. 2019, № 21, С. 123–129.
5. Лисканич, Ю. І., Пахаренко, М. С. Інновації у CAD-проектванні. Вісник технічних наук. 2021, № 2, С. 45–53.
6. Іванченко, В. Оптимізація геометричних моделей для автоматизації у будівництві. Cybersecurity Journal. 2020, № 5, С. 34–38.
7. Wei, C., Chang, K., & Chiang, H. Automated Wall Detection in 2D CAD Drawings to Create Digital 3D Models. MDPI Informatics. 2022, Vol. 5(2), 42. DOI: <https://doi.org/10.3390/informatics5020042>
8. Wei, C., & Tsai, W. Automated 3D Modelling Methods for Industrial Applications. ResearchGate. 2022. [Online] Available at: https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736_Automated_Wall_Detection_in_2D_CAD_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models

References

1. Nguyen, H. T., & Nguyen, T. T. N. (2021). Automated generation of 3D models based on digital methods. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1827, 012115. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1827/1/012115>
2. Lyskanych, Y. I. (2018). The use of CAD/CAM systems for design automation. In Proceedings of the Student Scientific Conference (pp. 208–209).
3. Tsai, W. (2017). Engineering applications using CAD-based application programming interface. ResearchGate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/312077164_Engineering_applications_using_CAD_based_application_programming_interface
4. Tsis, O. (2019). The use of CAD systems in the educational process. Scientific Bulletin of NPU Named After M.P. Drahomanov. Series 3: Physics and Mathematics in Higher and Secondary Schools, (21), 123–129.

5. Lyskanych, Y. I., & Pakharienko, M. S. (2021). Innovations in CAD design. *Technical Sciences Bulletin*, (2), 45–53.
6. Ivanchenko, V. (2020). Optimization of geometric models for automation in construction. *Cybersecurity Journal*, (5), 34–38.
7. Wei, C., Chang, K., & Chiang, H. (2022). Automated wall detection in 2D CAD drawings to create digital 3D models. *MDPI Informatics*, 5(2), 42. <https://doi.org/10.3390/informatics5020042>
8. Wei, C., & Tsai, W. (2022). Automated 3D modeling methods for industrial applications. ResearchGate. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736_Automated_Wall_Detection_in_2D_CAD_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models