

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-285-5-10-15>

УДК 004.9

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ

Ткаченко В. Ю., Хорошун Г.М., Шумова Л.О., Рязанцев О.І.

RESEARCH OF THE OPTIMIZATION METHODS OF THE PARAMETERS OF ELECTRONIC DEVICES FOR BUILDING AN EXPERT SYSTEM

Tkachenko V.Yu., Khoroshun H.M., Shumova L.O., Ryazantsev O.I.

Дана стаття присвячена дослідженню методів оптимізації параметрів і структури електронних пристроїв для побудови системи експертного проектування. Акцент робиться на використанні інноваційних підходів, таких як математичне моделювання, симуляція та методи штучного інтелекту, включаючи машинне навчання, генетичні алгоритми та нейронні мережі. Використання таких методів дозволяє підвищити точність проектування, автоматизувати складні процеси, скоротити час розробки та підвищити продуктивність. Також розглядається можливість використання гібридних підходів для отримання оптимальних конфігурацій пристроїв, які забезпечують кращу енергоефективність і відповідність вимогам виробництва. Результати дослідження свідчать про перспективність і практичну значущість цих методів, які відкривають нові можливості для проектування електронних систем.

Обговорювані методи математичного моделювання включають SPICE (програма моделювання з акцентом на інтегральні схеми) для аналізу схеми та метод скінченних елементів (FEM) для оцінки теплових і механічних властивостей, особливо актуальних для пристроїв з високою щільністю компонентів. Ці моделі дозволяють розробникам імітувати та перевіряти продуктивність пристрою в різних умовах експлуатації, значно знижуючи потребу у фізичних прототипах.

Дослідження методів оптимізації параметрів і структури електронних пристроїв з використанням штучного інтелекту та експертних систем показують значний потенціал для підвищення ефективності та якості процесу проектування. Використання математичного моделювання та моделювання дозволяє скоротити час розробки, а впровадження методів машинного навчання та генетичних алгоритмів підвищує точність та швидкість оптимізації. Використання методів проектування з урахуванням

обмежень забезпечує кращу виробничу сумісність, а оптимізація енергоспоживання сприяє ефективності електронних систем в умовах обмежених ресурсів. Подальші дослідження спрямовані на розширення гібридних методів, інтеграцію нових алгоритмів машинного навчання та їх адаптацію до конкретних виробничих вимог, що підвищить гнучкість і універсальність експертних систем проектування.

***Ключові слова.** Експертна система, оптимізація параметрів, штучний інтелект, електронні пристрої, математичне моделювання, генетичні алгоритми, нейронні мережі.*

Вступ. Сучасний етап розвитку електронних технологій супроводжується значним зростанням вимог до функціональних характеристик електронних пристроїв, що застосовуються у широкому спектрі галузей – від телекомунікацій до медичної техніки та автомобільної промисловості[1,2]. У зв'язку зі зростанням складності систем та потребою в підвищенні їхньої надійності, енергоефективності та продуктивності, виникає необхідність у використанні новітніх підходів до проектування, які могли б задовольнити ці вимоги. Традиційні методи розробки, що ґрунтуються на емпіричних підходах і тривалому експериментальному тестуванні, стають недостатньо ефективними через потребу у швидкій адаптації до нових викликів і технологічних змін.

Одним із прогресивних рішень цієї проблеми є інтеграція експертних систем та штучного інтелекту (ШІ) у процес проектування.

Експертні системи дозволяють автоматизувати прийняття рішень, знижуючи потребу у значних людських ресурсах і дозволяючи інженерам зосередитися на оптимізації кінцевих результатів. Застосування методів штучного інтелекту, таких як машинне навчання, генетичні алгоритми та нейронні мережі, дозволяє значно прискорити процеси аналізу, тестування та оптимізації, підвищуючи загальну продуктивність і точність проектування.

Метою даного дослідження є вивчення та розробка методів оптимізації параметрів і структури електронних пристроїв для побудови ефективної експертної системи проектування, яка забезпечить високий рівень автоматизації і адаптивності до конкретних вимог виробництва. Підвищення точності, енергоефективності та надійності є основними критеріями, що розглядаються у процесі розробки нових електронних пристроїв. Це дослідження спрямоване на демонстрацію того, як впровадження сучасних інженерних методів може вирішити актуальні завдання електронної інженерії, знижуючи витрати, скорочуючи час розробки та підвищуючи якість кінцевого продукту.

Огляд сучасних джерел інформації за тематикою публікації. Оптимізація параметрів і структури електронних пристроїв для побудови експертної системи проектування включає низку актуальних наукових і технічних публікацій, які розглядають використання методів штучного інтелекту, математичного моделювання, а також підходів до автоматизації проектування. Основні джерела поділяються на наукові журнали, монографії, підручники, конференційні матеріали та патенти.

Наукові журнали з інженерних наук, штучного інтелекту та оптимізації [3-5], публікують дослідження про алгоритми оптимізації, зокрема генетичні алгоритми, машинне навчання, методи надійності та тестування. Статті в цих виданнях надають новітні теоретичні та практичні результати, зокрема моделі оптимізації на базі ШІ для проектування електронних систем.

Комплексний огляд методів штучного інтелекту та експертних систем наданий в монографіях та підручниках [6,7]. Ці роботи висвітлюють загальні принципи розробки експертних систем, підходи до автоматизації процесів проектування, а також надають методичну основу для

використання інструментів оптимізації, таких як нейронні мережі, для удосконалення структури електронних пристроїв.

Провідні міжнародні конференції з електроніки та ШІ [8,9], включають тематичні дослідження з автоматизації проектування, нових алгоритмів оптимізації та методів моделювання. Зазвичай ці матеріали містять найсучасніші експериментальні результати і застосування гібридних методів для вдосконалення електронних пристроїв.

Патентні бази даних, такі як Google Patents, IEEE Xplore і національні патентні відомства, містять опис нових технічних рішень та алгоритмів, застосовуваних у системах проектування та оптимізації. Багато патентів присвячено використанню ШІ для автоматизації проектування електронних пристроїв, що підтверджує комерційну актуальність тематики та її застосування на практиці.

Окрім академічних джерел, на платформі arXiv.org публікуються препринти статей, які можуть стати основою для подальших досліджень. Це дозволяє дослідникам швидко дізнатися про новітні розробки. Також відкриті бази даних, наприклад Kaggle, надають доступ до великих масивів даних, які можуть бути використані для навчання моделей ШІ, що підходить для вивчення та впровадження нових оптимізаційних алгоритмів.

Загалом, сучасні джерела інформації забезпечують комплексний підхід до дослідження методів оптимізації параметрів і структури електронних пристроїв, що дозволяє інтегрувати новітні наукові досягнення в практичне проектування ефективних експертних систем.

Постановка проблеми. Оптимізація параметрів і структури електронних пристроїв є критичною для підвищення продуктивності, надійності та енергоефективності систем. Традиційні методи проектування часто не можуть забезпечити ефективні рішення в умовах складних параметричних обмежень та високої щільності компонентів. До основних викликів належить потреба враховувати великий обсяг параметрів, включаючи електричні, теплові та механічні характеристики, що потребує багатоетапного аналізу й оцінки. Також існує необхідність розробки універсальних експертних систем, здатних адаптуватися до специфічних вимог різних

галузей, таких як телекомунікації, охорона здоров'я та автомобільна промисловість.

Виклад основного матеріалу

1. Математичне моделювання та симуляція

Математичне моделювання є ключовим етапом в оптимізації електронних пристроїв, оскільки дозволяє провести детальний аналіз їхніх параметрів на основі обчислювальних методів без створення фізичного прототипу. Одним із найпоширеніших інструментів для цього є SPICE-моделювання (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)[10], яке дозволяє імітувати роботу як аналогових, так і цифрових схем. Це забезпечує можливість оцінки електричних характеристик пристроїв, таких як напруга, струм, та поведінка компонентів у різних умовах роботи.

Метод кінцевих елементів (FEM)[11] є ефективним для аналізу фізичних процесів в електронних пристроях. Він дозволяє розглядати теплові та механічні процеси, що є критичним для систем з високою щільністю компонентів, де нагрівання може призвести до зниження продуктивності або навіть відмови. Використання FEM у поєднанні з електромагнітним моделюванням дозволяє досягти більш точного аналізу пристрою, що є основою для ефективного проектування та забезпечення його стабільності на всіх етапах життєвого циклу.

2. Методи штучного інтелекту

Сучасні методи штучного інтелекту забезпечують автоматизацію та прискорення процесів проектування, а також підвищують точність отриманих результатів.

- *Машинне навчання* є основним інструментом для аналізу великих масивів даних, що стосуються характеристик і результатів тестування електронних пристроїв. Використання алгоритмів машинного навчання, таких як класифікація та регресія, дозволяє виявляти приховані закономірності у взаємозв'язках параметрів, що допомагає підвищити точність прогнозування.

- *Генетичні алгоритми* використовуються для оптимізації параметрів електронних пристроїв на основі принципів еволюційного відбору. Цей підхід дозволяє "еволюціонувати" параметри, базуючись на заданих критеріях ефективності, і знаходити оптимальні рішення

навіть у складних і нелінійних просторах параметрів.

- *Нейронні мережі* є корисними для моделювання складних нелінійних залежностей між параметрами і характеристиками електронних пристроїв. Завдяки здатності до адаптації та самонавчання, нейронні мережі можуть забезпечувати високоточне прогнозування оптимальних параметрів, знижуючи потребу у ручному налаштуванні та скорочуючи час розробки.

- *Методи машинного бачення* для підвищення якості та надійності електронних пристроїв використовуються методи машинного бачення, які дозволяють автоматично виявляти дефекти на виробничих етапах, аналізуючи фото- і відеозображення компонентів. Машинне бачення дозволяє виявити найменші дефекти, такі як тріщини або неправильне з'єднання, забезпечуючи високий рівень якості продуктів і знижуючи потребу у ручному контролі.

3. Гібридні підходи до оптимізації

Інтеграція різних методів штучного інтелекту створює нові можливості для досягнення високої точності і швидкості в процесі оптимізації параметрів і структури електронних пристроїв. Наприклад, поєднання генетичних алгоритмів з нейронними мережами дозволяє використовувати силу еволюційного пошуку для визначення оптимальних параметрів, у той час як нейронні мережі допомагають моделювати складні залежності між параметрами. Такі гібридні системи підвищують точність прогнозування і зменшують обчислювальну складність, забезпечуючи швидке та ефективно проектування.

Ще один перспективний гібридний підхід полягає у застосуванні машинного навчання для покращення результатів генетичних алгоритмів. Це дозволяє автоматично коригувати параметри моделі на основі великого обсягу даних, знижуючи ризик людських помилок і забезпечуючи оптимальні конфігурації для різних застосувань. Такі гібридні методи особливо корисні для розробки систем, що працюють у жорстких умовах або мають високі вимоги до надійності і енергоефективності.

4. Проектування з урахуванням обмежень та енергетична оптимізація

Методи проектування з урахуванням обмежень, такі як DFM (Design for Manufacturability) та DFT (Design for Testability)[12], є важливими для

забезпечення надійності та виробничої сумісності електронних пристроїв. DFM включає в себе врахування обмежень виробництва, що знижує вартість виготовлення і підвищує ефективність виробничих процесів. DFT, у свою чергу, полегшує тестування на рівні схем, забезпечуючи легку діагностику і зменшення кількості дефектів.

Енергетична оптимізація набуває особливого значення в умовах, коли підвищені вимоги до ефективності та мінімізації енергоспоживання стають критичними, наприклад, для портативних пристроїв і систем Інтернету речей (IoT)[13]. Методи енергетичної оптимізації спрямовані на зменшення споживання електроенергії без втрати продуктивності, що дозволяє подовжити час автономної роботи пристроїв і знизити витрати на живлення.

5. Методи теплового моделювання

У системах з високою щільністю компонентів теплове моделювання є важливим для уникнення перегріву і забезпечення довготривалої працездатності. Методи теплового моделювання, такі як використання теплових карт і аналізу конвекції, дозволяють визначити розподіл температури в пристрої. Це критично важливо для уникнення деградації компонентів і забезпечення їх стабільної роботи протягом усього терміну експлуатації.

6. Оптимізація розміщення та трасування на друкованих платах

Для проектування друкованих плат (PCB) широко використовуються інструменти автоматизованого проектування (CAD), що дозволяють оптимізувати розміщення компонентів і трасування провідників. Ефективне розміщення і трасування мінімізують паразитні індуктивності та ємності, що покращує електричні характеристики системи і дозволяє підвищити її стабільність і продуктивність. Автоматизоване проектування трас дозволяє вирішувати завдання з розміщення великої кількості компонентів на обмеженій площі, що особливо актуально для мініатюрних пристроїв та систем з високою функціональною щільністю.

7. **Моделі Монте-Карло.** Метод Монте-Карло активно використовується для оцінки надійності та аналізу ризиків електронних пристроїв у ситуаціях з високим ступенем невизначеності. Моделі Монте-Карло дозволяють досліджувати варіанти розвитку ситуацій за

допомогою випадкових симуляцій і визначати найбільш стійкі конфігурації пристроїв до можливих збоїв. Це є корисним підходом у критичних сферах, таких як аерокосмічна і медична промисловість, де надійність є вирішальною характеристикою.

Таким чином, сучасні методи оптимізації параметрів і структури електронних пристроїв охоплюють широкий спектр підходів, які забезпечують покращення продуктивності, надійності та енергоефективності. Використання цих методів у рамках експертних систем проектування значно спрощує процес розробки та скорочує час виходу пристроїв на ринок.

Висновки. Дослідження методів оптимізації параметрів і структури електронних пристроїв із використанням штучного інтелекту та експертних систем показує значний потенціал для підвищення ефективності та якості процесу проектування. Застосування математичного моделювання та симуляцій дозволяє скоротити час на розробку, а впровадження методів машинного навчання і генетичних алгоритмів підвищує точність та швидкість оптимізації. Використання методів проектування з урахуванням обмежень забезпечує кращу виробничу сумісність, а енергетична оптимізація сприяє ефективності роботи електронних систем в умовах обмежених ресурсів. Подальші дослідження мають на меті розширення гібридних методів, інтеграцію нових алгоритмів машинного навчання і їх адаптацію до специфічних вимог виробництва, що підвищить гнучкість і універсальність експертних систем проектування.

Л і т е р а т у р а

1. Ляшук О.Л., Плекан У.М., Цьонь О.П., Гевко Б.Р., Розвиток технологій гібридних силових установок автомобілів//Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023р. м. Тернопіль. 139-146.
2. Barrett MA, Humblet O, Marcus JE, et al. Effect of a mobile health, sensor-driven asthma management platform on asthma control. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2017.
3. [IEEE Transactions on Industrial Electronics \(https://ieeexplore.ieee.org\)](https://ieeexplore.ieee.org)
4. [IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems \(https://ieeexplore.ieee.org\)](https://ieeexplore.ieee.org)
5. [Journal of Electronic Testing \(https://link.springer.com\)](https://link.springer.com)

6. Damar, M., Özen, A., Çakmak, Ü. E., Özoğuz, E., et al. (2024). Super AI, Generative AI, Narrow AI and Chatbots: An Assessment of Artificial Intelligence Technologies for The Public Sector and Public Administration. *Journal of AI*, 8(1), 83-106. (<https://doi.org/10.61969/jai.1512906>)
7. Стецюк, В.З., Бабінцева Л.Ю., Чиж Ю.М., Фіногенов О.Д., Самоненко Н.В. "Експертна система для діагностування генетичних відхилень". *Medical Informatics and Engineering*, № 3 (2021): 78–83.
8. Tkachenko V.Yu., Ryazantsev O.I., Modestova T.V.. Artificial intelligence in the study of methods for optimizing the parameters and structure of electronic devices for building an expert design system//Матеріали XXVII міжн. наук.-практ. конф. Технологія-2024. 24 травня. 2024 р., м. Київ. 82-83.
9. [IEEE Industrial Electronics and applications Conference \(IFACon 2024\) 4-5 November 2024. Kuala Lumpur Malaysia \(https://ieeieacon.org\)](https://ieeieacon.org)
10. Arash Qodratnama, Farshad Khunjush, Mohsen Raji. A methodology for the SPICE-Compatible modelling of metal-semiconductor-metal photodetectors for nanophotonic interconnects application. *Microelectronics journal*. Volume 115, September 2021 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026269221001774>)
11. М.М. Масюк. Застосування методу кінцевих елементів для проведення розрахунків// Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.
12. [Importance of DFM, DFT, and DFA in Product Design.\(https://volansys.medium.com\)](https://volansys.medium.com)
13. Kovar D. Internet of Things Applications: Introduction to Internet of Things: Industrial Internet of Things. Independently Published, 2021.
- Administration. *Journal of AI*, 8(1), 83-106. (<https://doi.org/10.61969/jai.1512906>)
7. Stetsyuk, V.Z., Babintseva, L.Yu., Chizh, Yu.M., Finogenov, O.D., and Samonenko, N.V. "Expert system for diagnosing genetic abnormalities". *Medical Informatics and Engineering*, No. 3 (2021): 78–83.
8. Tkachenko V.Yu., Ryazantsev O.I., Modestova T.V.. Artificial intelligence in the study of methods for optimizing the parameters and structure of electronic devices for building an expert design system//Materials of the XXVII international. science and practice conf. Technology-2024. May 24. 2024, Kyiv. 82-83.
9. [IEEE Industrial Electronics and applications Conference \(IFACon 2024\) 4-5 November 2024. Kuala Lumpur Malaysia \(https://ieeieacon.org\)](https://ieeieacon.org)
10. Arash Qodratnama, Farshad Khunjush, Mohsen Raji. A methodology for the SPICE-Compatible modeling of metal-semiconductor-metal photodetectors for nanophotonic interconnects application. *Microelectronics journal*. Volume 115, September 2021 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026269221001774>)
11. M.M. Masyuk Application of the finite element method for calculations// Materials of the IX International scientific and technical conference of young scientists and students. Actual tasks of modern technologies - Ternopil, November 25-26, 2020.
12. [Importance of DFM, DFT, and DFA in Product Design.\(https://volansys.medium.com\)](https://volansys.medium.com)
13. Kovar D. Internet of Things Applications: Introduction to Internet of Things: Industrial Internet of Things. Independently Published, 2021.

References

1. Lyashuk O.L., Plekan U.M., Tsyon O.P., Gevko B.R., Development of technologies of hybrid power plants of cars//Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences. 2023 Ternopil city. 139-146.
 2. Barrett MA, Humblet O, Marcus JE, et al. Effect of a mobile health, sensor-driven asthma management platform on asthma control. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2017.
 3. [IEEE Transactions on Industrial Electronics \(https://ieeexplore.ieee.org\)](https://ieeexplore.ieee.org)
 4. [IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems \(https://ieeexplore.ieee.org\)](https://ieeexplore.ieee.org)
 5. [Journal of Electronic Testing \(https://link.springer.com\)](https://link.springer.com)
 6. Damar, M., Özen, A., Çakmak, Ü. E., Özoğuz, E., et al. (2024). Super AI, Generative AI, Narrow AI and Chatbots: An Assessment of Artificial Intelligence Technologies for The Public Sector and Public Administration. *Journal of AI*, 8(1), 83-106. (<https://doi.org/10.61969/jai.1512906>)
 7. Stetsyuk, V.Z., Babintseva, L.Yu., Chizh, Yu.M., Finogenov, O.D., and Samonenko, N.V. "Expert system for diagnosing genetic abnormalities". *Medical Informatics and Engineering*, No. 3 (2021): 78–83.
 8. Tkachenko V.Yu., Ryazantsev O.I., Modestova T.V.. Artificial intelligence in the study of methods for optimizing the parameters and structure of electronic devices for building an expert design system//Materials of the XXVII international. science and practice conf. Technology-2024. May 24. 2024, Kyiv. 82-83.
 9. [IEEE Industrial Electronics and applications Conference \(IFACon 2024\) 4-5 November 2024. Kuala Lumpur Malaysia \(https://ieeieacon.org\)](https://ieeieacon.org)
 10. Arash Qodratnama, Farshad Khunjush, Mohsen Raji. A methodology for the SPICE-Compatible modeling of metal-semiconductor-metal photodetectors for nanophotonic interconnects application. *Microelectronics journal*. Volume 115, September 2021 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026269221001774>)
 11. M.M. Masyuk Application of the finite element method for calculations// Materials of the IX International scientific and technical conference of young scientists and students. Actual tasks of modern technologies - Ternopil, November 25-26, 2020.
 12. [Importance of DFM, DFT, and DFA in Product Design.\(https://volansys.medium.com\)](https://volansys.medium.com)
 13. Kovar D. Internet of Things Applications: Introduction to Internet of Things: Industrial Internet of Things. Independently Published, 2021.
- Tkachenko V.Yu., Khoroshun H.M., Shumova L.O., Ryazantsev O.I. Research of the optimization methods of the parameters of electronic devices for building an expert system**
- This article is devoted to the study of methods for optimizing the parameters and structure of electronic devices for building an expert design system. Emphasis is placed on the use of innovative approaches such as mathematical modeling, simulation, and artificial intelligence techniques, including machine learning, genetic algorithms, and neural networks. The use of such methods helps to increase design accuracy, automate complex processes, reduce development time, and improve productivity. The possibility of using hybrid approaches to obtain optimal configurations of devices that provide better energy efficiency and compliance with production requirements is also considered. The results of the study testify to the perspective and practical significance of these methods, which open up new opportunities for the engineering of electronic systems.*
- The mathematical modeling techniques discussed include SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) for circuit analysis and Finite Element Method (FEM) for assessing thermal and mechanical properties, especially relevant in devices with high component density. These models allow designers to simulate*

and validate device performance under varied operational conditions, significantly lowering the need for physical prototypes.

Research on methods of optimizing the parameters and structure of electronic devices using artificial intelligence and expert systems shows significant potential for increasing the efficiency and quality of the design process. The use of mathematical modeling and simulations allows to reduce development time, and the introduction of machine learning methods and genetic algorithms increases the accuracy and speed of optimization. The use of design methods taking into account the constraints ensures better production compatibility, and energy optimization contributes to the efficiency of electronic systems in conditions of limited resources. Further research is aimed at expanding hybrid methods, integrating new machine learning algorithms and adapting them to specific production requirements, which will increase the flexibility and versatility of expert design systems.

Keywords. Expert system, parameter optimization, artificial intelligence, electronic devices, mathematical modeling, genetic algorithms, neural networks.

Ткаченко Владислав Юрійович – аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, asp-122-23-3@snu.edu.ua

Хорошун Ганна Миколаївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, horoshun@snu.edu.ua

Шумова Лариса Олександрівна – доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, shumova@ukr.net

Рязанцев Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, кафедра комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, a_ryazantsev@snu.edu.ua

Стаття подана 09.10.2024.