

УДК 621.313

doi:10.20998/2413-4295.2026.01.04

ПРИНЦИПИ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

О. М. МІНКО

Відділ організації та впровадження науково-дослідних робіт, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, УКРАЇНА
*e-mail: alexandr.minko@i.ua

АНОТАЦІЯ Показано актуальність розробки методів проектування та моделювання структурних елементів енергетичних установок та механізмів. Акцентовано увагу, що електромеханічні перетворювачі енергії є невід'ємною складовою енергетичного устаткування яке повинно розглядатися системно, як один енергетичний комплекс у складі газотурбінної та паротурбінної установки. Електромеханічні перетворювачі енергії різних типів (трансформатори, електродвигуни, турбогенератори) є основним технологічним устаткуванням енергетичної промисловості та складають основу ланку устаткування для теплових та атомних електростанцій. Розглянуто принципи системного проектування енергетичних установок серед яких виокремлено принцип цілісності, принцип ієрархічності, принцип взаємозв'язку, принцип адаптивності, принцип оптимізації. Ці принципи запропоновано покласти в основу мультипараметричного проектування електромеханічних перетворювачів енергії. Зазначено що, мультипараметричне проектування ґрунтується на математичному апараті параметричного проектування. Більш детально розглянуто сутність принципів цілісності та ієрархічності. Інші принципи мультипараметричного проектування викладено в окремих роботах. Сформульовано ознаки цих принципів проектування, розроблено функціональні блоки виконання проектних робіт, наведено послідовність їх реалізації та результати які повинні бути отримані при їх застосуванні. Виконано адаптацію розглянутих принципів проектування до особливостей розробки трансформатора, електродвигуна та турбогенератора. Зазначено що особливістю мультипараметричного проектування електромеханічних перетворювачів енергії різних типів та конструкцій – є врахування багатofізичних процесів, що відбуваються під час роботи цих енергетичних машин. Головним чином це електродинамічні, механічні та тепло-вентиляційні процес. Виконання розрахунків та моделювання деталей та вузлів енергетичних машин з урахуванням саме цих процесів є складною та вкрай важливою задачею, тому що майже всі вузли енергетичної установки перебувають під впливом електричних, механічних та теплових навантажень.

Ключові слова: енергетична установка; мультипараметричне проектування; електромеханічний перетворювач енергії; принципи проектування; багатofізичні процеси.

PRINCIPLES OF MULTIPARAMETER DESIGN OF POWER EQUIPMENT

О. М. MINKO

Department of Organization and Implementation of Research Works, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The relevance of developing methods for designing and modeling structural elements of power plants and mechanisms is shown. Attention is focused on the fact that electromechanical energy converters are an integral part of power equipment that should be considered systematically, as one energy complex as part of a gas turbine and steam turbine plant. Electromechanical energy converters of various types (transformers, electric motors, turbogenerators) are the main technological equipment of the power industry and form the basis of the equipment for thermal and nuclear power plants. The principles of system design of power plants are considered, among which the principle of integrity, the principle of hierarchy, the principle of interconnection, the principle of adaptability, and the principle of optimization are highlighted. These principles are proposed to be the basis of multiparametric design of electromechanical energy converters. It is noted that multiparametric design is based on the mathematical apparatus of parametric design. The essence of the principles of integrity and hierarchy is considered in more detail. Other principles of multiparametric design are set out in separate works. The features of these design principles are formulated, functional blocks for performing design work are developed, the sequence of their implementation and the results that should be obtained when they are applied are given. The considered design principles are adapted to the features of the development of a transformer, electric motor and turbogenerator. It is noted that a feature of multiparametric design of electromechanical energy converters of various types and designs is the consideration of multiphysical processes that occur during the operation of these power machines. These are mainly electrodynamic, mechanical and heat-ventilation processes. Performing calculations and modeling of parts and assemblies of power machines taking into account these processes is a complex and extremely important task, because almost all components of a power plant are under the influence of electrical, mechanical and thermal loads.

Keywords: power plant; multiparametric design; electromechanical energy converter; design principles; multiphysics processes

Вступ

Обладнання енергетичних установок (ЕУ) в основі яких знаходяться енергетичні

перетворювачі різного виду енергії, наприклад такі як газотурбінні та паротурбінні установки, зазвичай використовують електромеханічні перетворювачі енергії (ЕМПЕ). Ці перетворювачі

енергії в широкому представлені являють собою широкий перелік енергетичного устаткування та агрегатів для електроенергетичної та верстатобудівельної галузі. До цього силового устаткування відносяться енергетичні машини (ЕМ) метою яких є перетворення електричної енергії в механічну (режим двигуна), й перетворення механічної енергії в електричну (режим генератора), та з метою перетворення функціональних показників електричної енергії (компенсатори, трансформатори, тощо). Головним чином цей тип обладнання є основою функціональності та працеспроможності роботи підприємств з вироблення та перетворення різних типів енергії (це насамперед атомні та теплові електричні станції) та промислові об'єкти нафтохімічної та металургійної спрямованості. ЕМПЕ є основною, з функціональної точки зору, складовою наземних енергетичного устаткування та можуть бути розглянуті як структурні компоненти ЕУ, в яких відбуваються електродинамічні, термодинамічні, гідродинамічні та газодинамічні, процеси перетворення одного виду енергії в інший [1].

Оптимальне проектування та підвищення якості показників конструкції та показників режимів роботи вищезгаданих складових ЕУ та агрегатів істотним чином покращать загальний рівень надійності, конкурентоспроможності та економічності роботи вищезазначених паросилових підприємств, саме тому розгляд методологічних принципів та підходів проектування та розрахунку структурних частин енергетичних машин є актуальною науково-технічною задачею [2].

Серед ефективних та сучасних підходів щодо проектування енергетичних установок з позитивної сторони зарекомендував себе метод мультипараметричного проектування, який ґрунтується на основі параметричного моделювання [3]. В межах цього способу можливо вирішення проектних задач з визначення електромагнітних навантажень, механічних навантажень та визначення теплового стану ЕМ. Проте розвиток та розширення функціональності параметричного проектування, в розрізі до використання в області ЕМПЕ, потребує додаткового та всебічного дослідження. Дійсна робота присвячена розгляду принципів мультипараметричного проектування.

Мета роботи

Мета дійсної роботи – сформулювати принцип адаптивності та принцип оптимізації стосовно до застосування в мультипараметричному проектуванні при розробці структурних частин енергетичних установок.

Виклад основного матеріалу

Загальноприйняті принципи параметричного проектування ЕМПЕ ґрунтуються на комплексному аналізі, збору проектного досвіду, синтезу проектних задач з оптимізації та моделювання параметрів ЕМ, з метою досягнення високої продуктивності та надійності роботи майбутнього ЕМПЕ. Такий підхід дає можливість враховувати функціональну взаємодію електродинамічних, теплових, механічних та конструктивних характеристик ЕМ, яка знаходиться на стадії розробки, або на стадії модернізації. Згідно з останніми науково-дослідними на методологічними положеннями та тенденціями розробки ЕМПЕ, а також до загальної теорії електричних машин виокремлено такі принципи системного підходу розробки та проектування [4]:

- принцип взаємозв'язку (однорідності);
- принцип цілісності;
- принцип адаптивності;
- принцип оптимізації;
- принцип ієрархічності.

Окремо зазначимо що принципи мультипараметричного проектування достатньо якісно використовуються не лише в машинобудівельній галузі, а і в апаратобудуванні, наприклад для розробки та розрахунку електричних апаратів різного призначення (вирішуються задачі визначення режимів роботи апарату, електродинамічних навантажень, моделювання умов селективності, тощо), проектування структурних окремих елементів електричних станцій (визначення показників сумісної роботи ланцюга «генератор-турбіна») та моделювання процесів передачі, та перетворення електричної енергії в промисловій електричній мережі (прогнозування характеру навантажень та коливань критичних показників мережі). Дослідженню та вирішенню вищенаведених задач присвячено багато наукових робіт [5-8], але питання принципів розробки та проектування саме складових ЕМ розглянуто недостатньо повному обсязі. Дійсну роботу ми присвячуємо дослідженню принципів адаптивності та оптимізації проектування ЕМПЕ. Принцип взаємозв'язку розглянуто в [9].

1. Мультипараметричне проектування ЕМПЕ використовує **принцип адаптивності** при розробці, розрахунках та моделюванні різних типів ЕУ. Під принципом адаптивності розуміється здатність системи змінювати свої параметри та структуру відповідно до змін зовнішніх умов або вимог експлуатації. Це дозволяє підвищити ефективність роботи ЕМ, зменшити енергетичні втрати та забезпечити оптимальну продуктивність у різних режимах її

роботи. Основними ознаками принципу адаптивного проектування є наступні [10]:

- гнучкість конструкції: можливість змінювати компонування, окремі вузли, деталі, методи та послідовність збирання, крім того змінювати параметри перетворювача для досягнення найкращих характеристик та результатів;

- автоматизоване регулювання: використання датчиків, сенсорів та алгоритмів керування для динамічного налаштування параметрів роботи основних функціональних вузлів, таких як: струм збудження, швидкість обертання ротора, тиск охолоджуючого середовища, тиск мастила в підшипнику та газовому ущільненні, тощо;

- оптимізація енергоспоживання: мінімізація витрат енергії шляхом адаптації до змінних навантажень, сезонних пікових навантажень, добових навантажень та зміна режимів, викликаних аварійними умовами експлуатації;

- стійкість до зовнішніх впливів: здатність працювати в умовах змінних температур, вібрацій, зміни в роботі паралельних ЕМ та систем або інших технологічних чинників.

На рис. 1 показано принцип адаптивності при проектуванні ЕМПЕ на прикладі трифазного двообмотувального трансформатора, асинхронного електродвигуна та синхронного турбогенератора, який пропонується використовувати при реалізації мультипараметричного проектування.

Як бачимо з рис. 1 в межах однієї серії ТМ трансформатор може бути запроєктовано на потужність від 0,10 до 2,5 МВА при цьому відбувається адаптація рівня напруги вторинної обмотки з 0,4 кВ до 0,69 кВ. Виконання такої адаптації в межах однієї серії змінить і конструктивні атрибути трансформатора (наприклад кількість меді, та маси обмотки, об'єм охолоджуючої середовища, та інше) проте не всі, як правило приєднувальні, транспортні та монтажні розміри запишуться без зміни. Ця особливість насамперед викликана адоптувати конструкцію трансформатора до взаємозамінності у разі потреби встановити більш потужних агрегат без суттєвих змін в транспортуванні, підключенні та встановленні на фундамент. Також адоптація, викликана зміною потужності, призведе до зміни електромагнітних показників трансформатора, вони теж адаптуються, наприклад потужність без навантаження (холостий хід) зміниться в діапазоні з 2,6 до 5,7 кВ, а реактивна потужність з 0,5 до 1,0 квар. Результатом такої адаптації отримаємо три різні марки електричної машини в межах однієї серії: ТМ-100/35, ТМ-160/35 та ТМ-250/35, які об'єднанні одним конструктивним рішенням та мають загальні атрибути та умови використання.

Аналогічно з рис. 1а – на рис. 1б та 1в показано реалізацію принципу адаптивності для асинхронного електродвигуна та трифазного

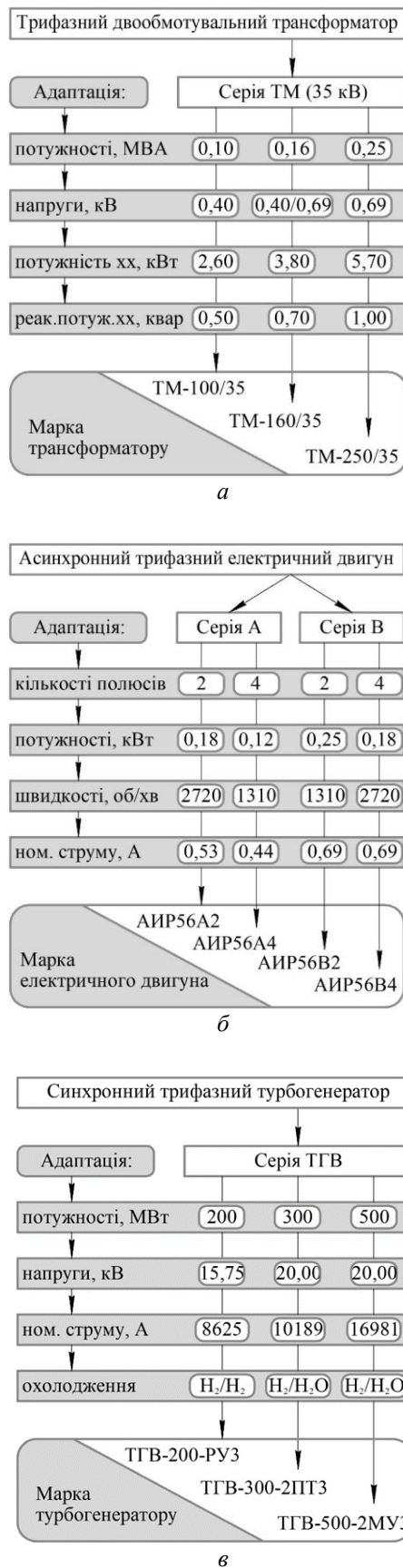


Рис. 1 – Принцип адаптивності для проектування ЕМПЕ: а – трансформатор; б – електродвигун; в – турбогенератор

синхронного турбогенератору, де у двигуна при зміні серії (А – коротке осердя, В – довге осердя) та кількості пар полюсів виконується зміна інших експлуатаційних параметрів (потужність, швидкість обертання ротору, номінальний струм), результатом такої адаптивності отримуємо чотири різних електродвигуна в рамках одного ряду: АІР56А2, АІР56А4, АІР56В2 та АІР56В4. Після зміни потужності турбогенератору адаптуються його основні електромагнітні показники (номінальна напруга, номінальний струм) та система охолодження (зі збільшення потужності додається вода до охолодження обмотки статора), в результаті чого отримуємо три різні моделі турбогенератору з адаптивними та не змінними (наприклад, висота осі обертання ротору) параметрами: ТГВ-200-РУ3, ТГВ-300-2ПТ3 та ТГВ-500-2МУ3.

2. В класичному представленні **принцип оптимізації** під час мультипараметричного проектування ЕМПЕ полягає у виборі найкращих параметрів для досягнення максимальної ефективності, роботоспроможності, надійності та економічності. Існує багато засобів реалізації цього принципу, які більш детально викладено в [11]. Ознаками принципу оптимізації є такі:

- виконання математичного моделювання для створення моделей електромеханічних систем (окремих вузлів) для аналізу їх поведінки та ефективності під впливом різних умов роботи;

- визначення та врахування фізичних, економічних та технологічних обмежень при оптимізації параметрів конструкції або режиму роботи ЕМ;

- використання чисельних методів розрахунку, логічних операторів розрахунку, дослідження функції на екстремум та використання програмного забезпечення, для аналізу та оптимізації характеристик ЕМПЕ;

- виконання оптимізації енергетичної ефективності: мінімізації втрат енергії та підвищення ККД ЕМ.

Для реалізації принципу оптимізації в мультипараметричному проектуванні ЕМПЕ доцільно використовувати такі методи:

а) градієнтні методи – ефективні для пошуку оптимальних параметрів, особливо в задачах з гладкими функціями цілі;

б) методи штрафних функцій – дозволяють враховувати обмеження в процесі оптимізації, що важливо для реальних електромеханічних систем (наприклад, насичення осердя статора);

в) чисельне моделювання – використання різних типів програмного забезпечення для аналізу та моделювання фізичних процесів що вникають під час роботи ЕМ;

г) методи сполучених градієнтів – застосовуються для складних систем, де необхідно швидко знайти оптимальні параметри, наприклад моделювання електричних втрат в лобових частинах обмотки статора;

д) комбіновані методи – поєднання різних підходів, що дозволяє досягти більш точних і ефективних результатів.

В сучасний час існує де-кілька алгоритмів оптимізації при проектуванні ЕМПЕ, зокрема успішно використовуються:

- генетичні алгоритми: ефективні для складних нелінійних систем, дозволяють знаходити оптимальні параметри шляхом еволюційного пошуку;

- методи рою часток (PSO): застосовуються для оптимізації електромеханічних систем, забезпечуючи швидку збіжність до оптимального рішення;

- нечітка логіка та нейронні мережі: використовуються для адаптивного керування та оптимізації параметрів електричних машин різних типів (втому числі для машин спеціального призначення);

- чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь: застосовуються для моделювання та оптимізації електромеханічних систем у програмних середовищі (приклад, MATLAB та ANSYS).

Узагальнений алгоритм проектування ЕМ з використанням принципу оптимізації, із наведених вище алгоритмів, показано на рис. 2. Пунктирним зв'язком показано шлях оптимізації лише за одним параметром (мається на увазі проста лінійна задача), решта – шлях оптимізації з кінцевим розрахунковим вузлом конструкції n , та кінцевою умовою оптимізації m , яка відповідає розрахунковому вузлу n .

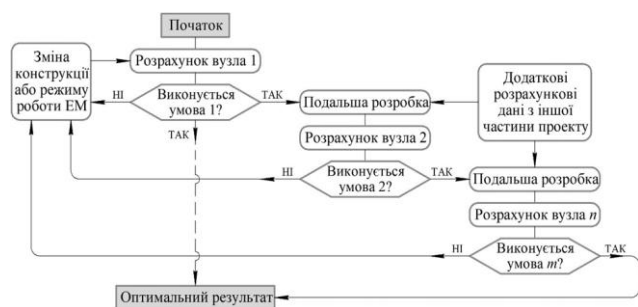


Рис. 2 – Принцип оптимізації для проектування різних типів електромеханічних перетворювачів енергії

Застосування алгоритму принципу оптимізації, який показано на рис. 2 пропонується використовувати при мультипараметричному проектуванні ЕМ, для вирішення наступних задач:

1. Частотно-регульовані асинхронні електроприводи. Дослідження [12] показали, що використання скалярного, векторного та квазівекторного управління дозволяє значно підвищити ефективність роботи електроприводів;

2. Оптимізація індукційних електромеханічних перетворювачів. В яких мультипараметрична оптимізація асинхронних двигунів та трансформаторів з обертовим магнітним полем сприяє енергоресурсозбереженню та підвищенню якості електроенергії в цілому;

3. Високошвидкісні лінійні електромеханічні перетворювачі ударної дії. При комп'ютерному моделюванні має змогу визначити оптимальні геометричні параметри та електромеханічні характеристики для підвищення ефективності таких перетворювачів.

Висновки

Наведений огляд принципів проектування ЕМПЕ встановив, що для проектування структурних елементів ЕУ поки що не існує єдиної методології яка б охоплювала всі етапи проектування та послідовність їх виконання, проведення розрахунків і розробки конструкції.

Виконання розрахунків та проектної побудови ЕМПЕ лише за одним проектним параметром не доцільно, та потребує використання додаткових параметрів (мультипараметричності), для врахування явища одночасного впливу електродинамічних, теплових та механічних навантажень на елемент конструкції, яка знаходиться в проекті;

При застосуванні принципів адаптивності та оптимізації, для кожного окремого типу ЕМ, потрібно урахувати індивідуальні особливості конструкції та технологічні умови режимів роботи.

Список літератури

1. Xiaoxuan Wu, De Tian, Huiwen Meng and Yi Su. Distributed Parameter Identification Framework Based on Intelligent Algorithms for Permanent Magnet Synchronous Wind Generator. *Energies*: 2025. №18(3). P. 683. doi: 10.3390/en18030683.
2. Гоголюк О. П., Гоголюк П. Ф. Універсальна математична модель автономного асинхронного генератора з конденсаторним самозбудженням. *Технічна електродинаміка*. 2024. № 6. С. 50 – 55.
3. Shevchenko V. V., Minko A. N., Stoychev V. T. Proposals for the Multiparametric Design Application in Electrical Mechanical Engineering. *Problems of the regional energetics, E-Journal*. 2024. №4(64). P. 135-149. doi: 10.52254/1857-0070.2024.4-64.12.
4. Plugin V., Shilkova L., Letl J., Buhr K., Fajtl R. Analysis of the Electromagnetic Field of Electric Machines Based on Object-oriented Design Principles. *PIERS 2015*. 2015. Prague. P. 2522-2527.

5. Zinovkin V., Krysan Y., Shylo S. Devising a method for large-scale modeling of non-stationary electromagnetic processes in power transformer equipment under sharply changing loads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. № 6(8(138)). P. 6 – 23. doi: 10.15587/1729-4061.2025.348152.
6. Podoltsev O. D., Bondar R. P. Modeling of coupled electromechanical and thermal processes in a linear permanent magnet motor based on the multiphysics circuit theory. *Technical Electrodynamics*. 2020. №2. P. 50-55.
7. Fernández-Guillamón A., Gómez-Lázaro E., Muljadi, E., Molina-García Á. Power systems with high renewable energy sources: A review of inertia and frequency control strategies over time. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. №115. Article 109369. doi: 10.1016/j.rser.2019.109369.
8. Terao Y., Seta A., Ohsaki H., Oyori H., Morioka N. Lightweight design of fully superconducting motors for electrical aircraft propulsion systems. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2019. №29. №5. P. 1-5, art. №5202305. doi: 10.1109/tasc.2019.2902323.
9. Мінко О. М. Принцип взаємозв'язку при мультипараметричному проектуванні електромеханічних перетворювачів енергії. *VIII Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»: Матеріали. Електронне видання*. Дніпро: Журфонд. 2025. С. 129-133.
10. Sinik V., Despotovic Z., Palinkas I. Optimization of the operation and frequency control of electro-magnetic vibratory feeders. *Elektronika ir Elektrotechnika*. 2016. Vol. 22. № 1. p. 24-30. doi: 10.5755/j01.eee.22.1.14095.
11. Wei L., Bo Lu, Youxiang P., Zhou H., Lujia W. Numerical Analysis of Electric Field in Oil-Immersed Current Transformer with Metallic Particles Inside Main Insulation. *Energies*. July 2025. № 18(14). P. 3628. doi: 10.3390/en18143628.
12. Jardot R., Krebs G., Lahlou A., Roy F., Marchand C. Calculation of Losses in a Motor Fed by a Conventional Inverter and a Battery Distributed Inverter. *Energies*. 2023. №16. P. 7993.

References (transliterated)

1. Xiaoxuan Wu, De Tian, Huiwen Meng and Yi Su. Distributed Parameter Identification Framework Based on Intelligent Algorithms for Permanent Magnet Synchronous Wind Generator. *Energies*, 2025, vol. 18(3), pp. 683, doi: 10.3390/en18030683.
2. Gogolyuk O. P., Gogolyuk P. F. Universalna matematychna model avtonomnoho asynkronnoho heneratora z kondensatornym samozbudzhenniam [Universal mathematical model of an autonomous asynchronous generator with capacitor self-excitation]. *Technical Electrodynamics*, 2024, no. 6, pp. 50-55.
3. Shevchenko V. V., Minko A. N., Stoychev V. T. Proposals for the Multiparametric Design Application in Electrical Mechanical Engineering. *Problems of the regional energetics, E-Journal*, 2024, no. 4(64), pp. 135-149, doi: 10.52254/1857-0070.2024.4-64.12.
4. Plugin V., Shilkova L., Letl J., Buhr K., Fajtl R. Analysis of the Electromagnetic Field of Electric Machines Based

- on Object-oriented Design Principles. *PIERS 2015*, 2015, Prague, pp. 2522-2527.
5. Zinovkin V., Krysan Y., Shylo S. Devising a method for large-scale modeling of non-stationary electromagnetic processes in power transformer equipment under sharply changing loads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025, no. 6(8(138)), pp. 6-23, doi: 10.15587/1729-4061.2025.348152.
 6. Podoltsev O. D., Bondar R. P. Modeling of coupled electromechanical and thermal processes in a linear permanent magnet motor based on the multiphysics circuit theory. *Technical Electrodynamics*, 2020, no. 2, pp. 50-55.
 7. Fernández-Guillamón A., Gómez-Lázaro E., Muljadi, E., Molina-García Á. Power systems with high renewable energy sources: A review of inertia and frequency control strategies over time. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, no. 115, article 109369, doi: 10.1016/j.rser.2019.109369.
 8. Terao Y., Seta A., Ohsaki H., Oyori H., Morioka N. Lightweight design of fully superconducting motors for electrical aircraft propulsion systems. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2019, vol. 29, no. 5, pp. 1-5, art. №5202305, doi: 10.1109/tasc.2019.2902323.
 9. Minko O. The principle of interconnection in multiparametric design of electromechanical energy converters. *Informatsiyeni tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya. Tezy dopovidey XXI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. Ch. 1 (29–31 travnya 2013 r., Kharkiv)* [Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXI Int. Sci.-Pract. Conf. Part 1 (29–31 May 2013, Kharkiv)]. Dnipro, Zhurfond, 2025, pp. 129-133.
 10. Sinik V., Despotovic Z., Palinkas I. Optimization of the operation and frequency control of electro-magnetic vibratory feeders. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 2016, vol. 22, No. 1, pp. 24-30, doi: 10.5755/j01.eee.22.1.14095.
 11. Wei L., Bo Lu, Youxiang P., Zhou H., Lujia W. Numerical Analysis of Electric Field in Oil-Immersed Current Transformer with Metallic Particles Inside Main Insulation. *Energies*, July 2025, no. 18(14), pp. 3628, doi:10.3390/en18143628.
 12. Jardot R., Krebs G., Lahlou A., Roy F., Marchand C. Calculation of Losses in a Motor Fed by a Conventional Inverter and a Battery Distributed Inverter. *Energies*, 2023, no. 16, pp. 7993.

Відомості про авторів (About authors)

Мінко Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, старший дослідник, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», начальник відділу; м. Харків; ORCID: 0000-0003-3206-0131; e-mail: dr.alexandr.minko@gmail.com

Minko Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Head of Department; Kharkiv; ORCID: 0000-0003-3206-0131; e-mail: dr.alexandr.minko@gmail.com

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мінко О. М. Принципи мультипараметричного проектування енергетичного устаткування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2026. № 1 (27). С. 30-35. doi:10.20998/2413-4295.2026.01.04.

Please cite this article as:

Minko O. Principles of multiparametric design of power equipment. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2026, no. 1(27), pp. 30–35, doi:10.20998/2413-4295.2026.01.04.

Надійшла (received) 30.01.2026
Прийнята (accepted) 20.03.2026
Опублікована (published) 02.04.2026