

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БОНДАРЕНКО Віктор Володимирович



УДК 004.942:004.021

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ В САПР СИСТЕМ
«ПАЛИВНИЙ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОР – ЕЛЕКТРОДВИГУН»

05.13.12 – Системи автоматизації проєктувальних робіт

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Швець Павло Степанович,
Одеський національний політехнічний
університет, доцент кафедри
електропостачання та енергетичного
менеджменту

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мещеряков Володимир Іванович,
Одеський державний екологічний університет,
завідувач кафедри інформатики;

кандидат технічних наук, доцент
Носенко Тетяна Іванівна,
Київський університет ім. Бориса Грінченка,
доцент кафедри інформаційних технологій та
математичних дисциплін

Захист відбудеться 16 березня 2017 р. о 13.30 на засіданні спеціалізованої
вченої ради К 41.052.08 в Одеському національному політехнічному універси-
теті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400-А.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського національного
політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий 14 лютого 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Р.О. Шапорін

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема автоматизованого проектування асинхронних електродвигунів (АД) існує на тлі протиріччя, яке випливає, з одного боку, із надзвичайної складності відповідних електричних, магнітних, термічних та механічних розрахунків, які входять до типового процесу «проектування АД», а з іншого, – з існування широкого спектру вже спроектованих та централізовано виготовлених двигунів подібного типу, що в багатьох випадках виключає потребу в проектуванні АД взагалі і призводить до тривіального вибору електродвигуна з лінійки типових покупних.

В той же час існує багато застосувань електричної рушійної сили, де з різних причин покупні АД не задовольняють завданням на проектування об'єкта в цілому, – або з точки зору електромеханічних характеристик (наприклад, транспортні двигуни, двигуни ескалаторів, приладів, тощо), або з точки зору оптимальності енергетичних витрат (наприклад, системи «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун»), що ускладнює існуючі або створює нові, «нетипові» обмеження при оптимізації таких систем в САПР.

Прикладом існуючого обмеження при проектуванні АД є *ковзання*, розрахунок якого виходить за межі параметрів двигуна (оскільки одночасно ковзання є функцією параметру генератора), та яке, в той же час, суттєво впливає майже на усі його споживчі характеристики. Завдяки цим особливостям, ковзання стоїть окремо серед проєктованих параметрів, адже один з його аргументів, – частота електричного струму живлення, – не завжди доступна для проєктувальника в якості аргументу.

Взагалі, під терміном «ковзання» розуміють два, суттєво різні з точки зору проєктувальника параметри: реальне, *миттєве ковзання* як функцію навантаження двигуна, а отже, часу, і *номінальне ковзання*, як число, яке береться до уваги при проєктних розрахунках. Саме тому, номінальне ковзання при типових розрахунках окремих електродвигунів або «вибирається з таблиць», або просто перевіряється на «прийнятне значення», що, зрештою, сприяє створенню далеких від оптимуму конструкцій.

З іншого боку, дуалізм ковзання створює широкі можливості для САПР в тому випадку, коли об'єктом проектування є не окремий електродвигун, а система «генератор – електродвигун». Як правило, потужності елементів таких систем сумірні, а отже, змінні, що входять до ковзання, тісно взаємодіють. В цих умовах ковзання, завдяки також широкій, – *глобальній зв'язності* із багатьма іншими параметрами згаданої системи, може бути розглянуте вже не як деяке обмеження, а важлива проміжна цільова функція проектування.

На жаль, розрахунок оптимальних «по ковзанню» АД обмежується сьогодні відсутністю відповідних методів в САПР і математичних моделей, необхідних для практичної реалізації цих методів. Відсутні також оперативні методи експериментальної оцінки ковзання в АД, необхідні для підтвердження адекватності оптимізаційних моделей та якості автоматизованого проектування в цілому.

Тому удосконалення існуючих та створення нових методів і моделей, призначених для підвищення ефективності автоматизованого проектування систем типу «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун», енергетичні показники яких не можуть бути розглянуті незалежно, є **вельми актуальним завданням**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалася відповідно до технічних завдань науково-дослідних робіт Одеського національного політехнічного університету № 676-24 «Автоматизація проектування об'єднаних технологічних процесів у машинобудуванні» (№ державної реєстрації 0111U010451) та № 78-53 «Енергетичний аналіз і поліпшення енергетичної результативності функціонування підприємств, установ, будинків, устаткування, систем і процесів» (№ державної реєстрації 0113U001466).

Метою роботи є зменшення термінів підготовки виробництва і підвищення якості продукції машинобудівних підприємств на етапі автоматизованого проектування складного електротехнічного обладнання шляхом розробки та впровадження методів і моделей для оптимізації глобальних зв'язків в САПР.

Для досягнення цієї мети в роботі були **розв'язані наступні задачі**:

- проаналізовано існуючі проблеми та методи автоматизованого проектування складних електротехнічних систем, зокрема, систем «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун» (ПГ-АД);

- теоретично вдосконалено та практично відтворено математичне забезпечення САПР АД: математичні моделі та методи оптимізації параметрів складних електротехнічних систем по глобальній зв'язності;

- розроблено, виготовлено та впроваджено експериментальне забезпечення САПР АД: методи та стенди для вимірювання теплових та механічних характеристик АД; а також для оцінки точності і адекватності прийнятих методів і моделей;

- розроблено програмне забезпечення САПР АД, яке впроваджене у вигляді підсистеми САПР «OPTIGLOC» (*Optimization by the global connectivity*), що базується на запропонованих методах та моделях;

- здійснено лабораторне комп'ютерне випробування результатів дослідження та виробниче випробування підсистеми САПР «OPTIGLOC» з позитивним технічним ефектом.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого проектування складного електротехнічного обладнання по глобальній зв'язності між параметрами його елементів.

Предметом дослідження є методи і моделі автоматизованого проектування параметрів системи «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун» із використанням глобальної зв'язності між параметрами її елементів в якості проміжної цільової функції.

Методи дослідження. В роботі запропоновано метод рухомого вікна, ширина якого на поточній ітерації оптимізації дорівнює ширині зони зв'язності між параметрами елементів об'єкта проектування. Метод використовували для оптимізації ширини зони зв'язності у випадку двох або більше цільових функ-

цій одного аргументу. Рухаючись вздовж вісі цього аргументу, вікно дозволяє обчислити його оптимальну ширину за запропонованим критерієм такої оптимізації.

При побудові моделей об'єктів електротехнічного обладнання, використаних для проектування за допомогою методу рухомого вікна, застосовували залежності «параметри – якість», отримані з теорії електротехніки, а також власних досліджень. Для отримання порівняльних характеристик методу рухомого вікна додатково використовували оптимізацію однотипних об'єктів методами повного перебору і якнайшвидшого спуску на тестових функціях.

Для створення методів експериментальної оцінки електромеханічних та термічних характеристик АД, необхідної для підтвердження адекватності оптимізаційних моделей, використовували перетворення багатовимірної вимірювальної інформації до числа за допомогою еліптичних та параболічних перетворень.

Для верифікації створених моделей та методів та обґрунтування можливостей САПР електротехнічного обладнання «OPTIGLOC» використовували лабораторні та виробничі потужності Одеського ПП «Спеціалізоване енергетичне підприємство Енерго-КОМ».

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає у вдосконаленні методів і моделей, призначених для підвищення ефективності САПР системи «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун», енергетичні показники яких не можуть бути в процесі автоматизованого проектування розглянуті незалежно:

- вперше запропонована розрахункова модель системи «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун» з порівнянними енергетичними параметрами джерела та споживача, яка враховує процеси, що відбуваються не тільки в електродвигуні, але й в генераторі, що дозволило виділити розв'язуючі зв'язки між цими підсистемами при вирішенні завдань в САПР асинхронних двигунів;

- вперше запропоновано поняття «глобальний зв'язок» між аргументами проектного об'єкта в якості характеристики співвідношення між параметрами підсистем, коли такий зв'язок домінує над іншими в тому сенсі, що він присутній в найбільшій кількості розрахункових моделей, у зв'язку з чим його обчислення здійснює вирішальний вплив на об'єкт проектування в цілому, що дозволило запропонувати метод розрахунку в САПР систем «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун» по глобальному зв'язку – номінальному розрахунковому ковзанню в електродвигуні;

- вперше запропоновано метод розрахунку в САПР систем «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун», в якому проміжною цільовою функцією є не споживчі якості об'єкта, а глобальний зв'язок між елементами системи, що дозволило побудувати алгоритм проектування за новою схемою: аналіз поточного реального ковзання під навантаженням – оптимізація номінального розрахункового ковзання – розрахунок параметрів асинхронного електродвигуна;

– отримав подальший розвиток метод рухомого вікна при проектуванні складних систем глобального зв'язку між елементами, в якому на кожній ітерації ширина вікна відповідає поточній величині глобальної зв'язку, при якому виконується пошук прийнятних рішень на кожній позиції вікна, що дозволило звести багатокритеріальну задачу до однокритеріальної і підвищити якість автоматизованого проектування;

– отримав подальший розвиток метод експериментальної оцінки поточного значення ковзання асинхронного електродвигуна, що працює під навантаженням, який відрізняється тим, що замість стробоскопічного диска в ньому використовується зображення геометричного фрактала з подальшим фотографуванням його в двох часових моментах і застосуванням до одержуваних відображень параболічного перетворення, що дозволило оперативно використовувати отримані результати в процесі автоматизованого проектування.

Практичне значення отриманих результатів. Теоретично доведено і практично, за допомогою комп'ютерного експерименту і виробничих випробувань підтверджено можливість підвищення ефективності проектування та якості продукції електротехнічного виробництва за рахунок використання САПР, яка забезпечує ефективну оптимізацію параметрів складного електротехнічного обладнання за глобальною зв'язністю.

В Одеському ПП «Спеціалізоване енергетичне підприємство «ЕнергоКОМ» було проведено випробування САПР електротехнічного обладнання «OPTIGLOC», яка базується на запропонованих моделях і методах. В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували систему «Дизельний генератор – асинхронний двигун змінного струму». В результаті випробувань встановлено, що використання САПР «OPTIGLOC» дозволило зменшити питому витрату палива в генераторі на 5,3 %, зберігши термін служби системи та стабільність виконання нею технічних завдань, і знизити терміни проектування в середньому на 13,7 %.

Запропоновані методи і моделі, а також алгоритми і програми, розроблені для їхньої реалізації, впроваджені в навчальний процес в ОНПУ і використовуються в дисциплінах, які вивчають методи автоматизованого проектування, а також в курсовому та дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача полягає в створенні: методів експериментального оцінювання ефективності автоматизованого проектування складних електротехнічних систем [1, 2, 3, 9, 17], методу оптимізації зв'язності елементів в задачах автоматизованого проектування систем [4, 7, 8, 12, 14, 18, 20], підсистем САПР, які проектують зв'язані різномірні елементи єдиної системи [5, 13, 15, 16, 19, 21], методу рухомого вікна оптимізації глибини зони глобальної зв'язності [6], методів проектування елементів систем управління складним електротехнічним обладнанням [10, 11]. Здобувач приймав участь у виробничих випробуваннях розробленої підсистеми САПР «OPTIGLOC» і в оцінці техніко-економічних результатів її використання.

Апробація результатів роботи. Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на IV Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених

і студентів «Молодь у світі сучасних технологій» (Херсон, 2015), XXI – XXIV семінарах «Моделирование в прикладных научных исследованиях» (Одеса, 2013 – 2016); 2-й Всеукраїнській конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості 2015» (Івано-Франківськ, 2015); II Международной научно-технической internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (Київ, 2015); V міжнародній міжвузівській школі-семінарі «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МіЗДТС-2015)» (Івано-Франківськ, 2015); XVII міжнародній науково-практичній конференції «Современные информационные и электронные технологии» (Одеса, 2016), VII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформатика та системні науки» (Полтава, 2016), IX Annual Scientific Conference “Information Technology and Automation – 2016” (Одеса, 2016), а також на розширеному засіданні наукового семінару кафедри «Інформаційні технології проектування в машинобудуванні» ОНПУ (Одеса, 2016).

Публікації. Результати дисертації викладені в 21 публікації, в тому числі: в 7 статтях в журналах з переліку спеціальних видань України (з них 5 входять до міжнародних наукометричних баз *Scopus*, *BASE*, *ULRICHSWEB*, *DRIVER*, *Index Copernicus*, *Worldcat*, *DOAJ*, *EBSCO*, *Freefullpdf*, *elibrary*), а також в 14 матеріалах конференцій та семінарів.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків. Об'єм дисертації – 169 стор., з них додатків – 19 стор. Дисертація містить 45 рисунків, 4 таблиці та посилання до 153 наукових джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, яка підкреслює її актуальність, відповідність державним науковим програмам, вимогам МОН України, наукову новизну та практичне значення; визначені об'єкт і предмет дослідження, сформульовані його мета і задачі, особистий внесок автора в публікацію та апробацію матеріалів роботи.

У першому розділі проаналізовані матеріали літературних джерел з автоматизованого проектування АД. Розглянуті існуючі методи розрахунку основних споживчих характеристик АД в САПР, проблеми і методи їх оптимізації. Проаналізовані методи оптимізації зв'язаних підсистем.

У другому розділі запропоноване математичне забезпечення САПР ПГ-АД.

Класифікація зв'язності аргументів в задачах оптимізації складних електротехнічних систем. Класична одноцільова оптимізація в САПР передбачає наявність цільової функції, вектора оптимізують аргументів, від яких ця функція залежить, формул або правил обчислення значення функції за значеннями цих аргументів і, нарешті, обмежень на область існування аргументів. При цьому обмеження в САПР сприймаються як деякі природні, ресурсні, юридичні або інші заборони на довільне незалежне варіювання аргументів в процесі оптимізації (обмеження першого роду – ОПР) (рис. 1 а).

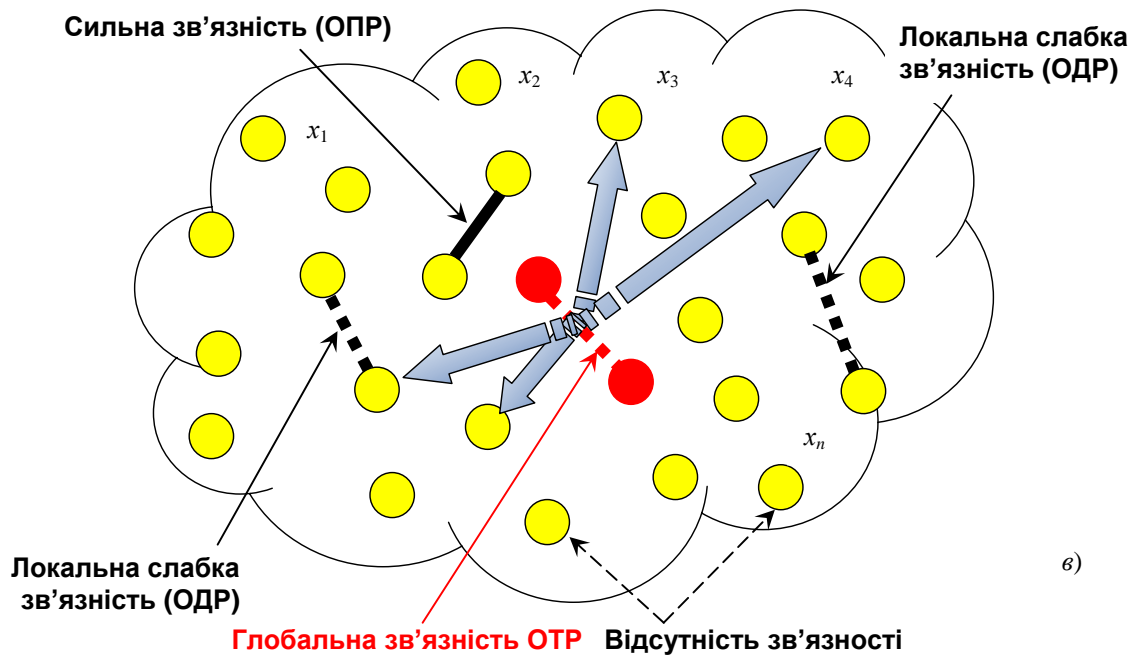
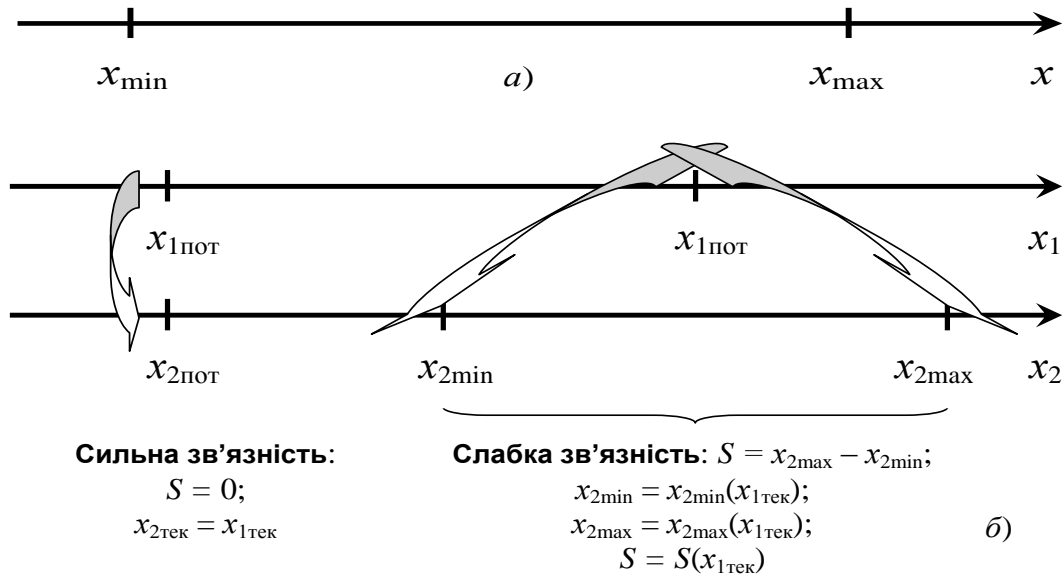


Рисунок 1 – Види обмежень при оптимізації параметрів складних систем в САПР:
 а – обмеження першого роду (діапазон); б – обмеження другого роду (зв'язність);
 в – локальні та глобальна зв'язності

Зв'язки між аргументами створюють обмеження другого роду (ОДР) (рис. 1 б), але вони тільки знижують розмірність початкової задачі оптимізації, спрощуючи її рішення. З іншого боку, існує велика група складних систем, в яких один (глобальний) зв'язок між аргументами домінує над іншими в тому сенсі, що ОДР, яке такий зв'язок створює, присутнє в найбільшій кількості моделей в процесі проектування, крім того, його вибір має вирішальний вплив на об'єкт в цілому (рис. 1 в).

Назвемо таке обмеження обмеженням третього роду (ОТР). В цьому випадку в САПР видається перспективною постановка і рішення оберненої задачі, коли саме величина зв'язності або ОТР стає проміжною цільовою функцією, а інші техніко-економічні характеристики об'єкта проектування системи в цілому переводяться в список аргументів, ОПР або ОДР.

Прикладом такого ОТР в АД, яке має найсуттєвіший вплив практично на всі його експлуатаційні характеристики, є реальне поточне електричне ковзання $s = (f_1 - f_2) / f_1$, яке пов'язує параметри різних матеріальних субстанцій (поле і фізичний об'єкт), що належать до різних підсистем системи «генератор – АД»: f_1 – частота обертання магнітного поля статора, f_2 – частота обертання ротора двигуна. У випадку системи ПГ-АД із близькими значеннями потужності обидва ці параметри, а отже і ковзання, суттєво залежать від моменту на валу АД M : $f_1(M)$, $f_2(M)$ та $s(M)$. Але ковзання одночасно є *розрахунковою* характеристикою

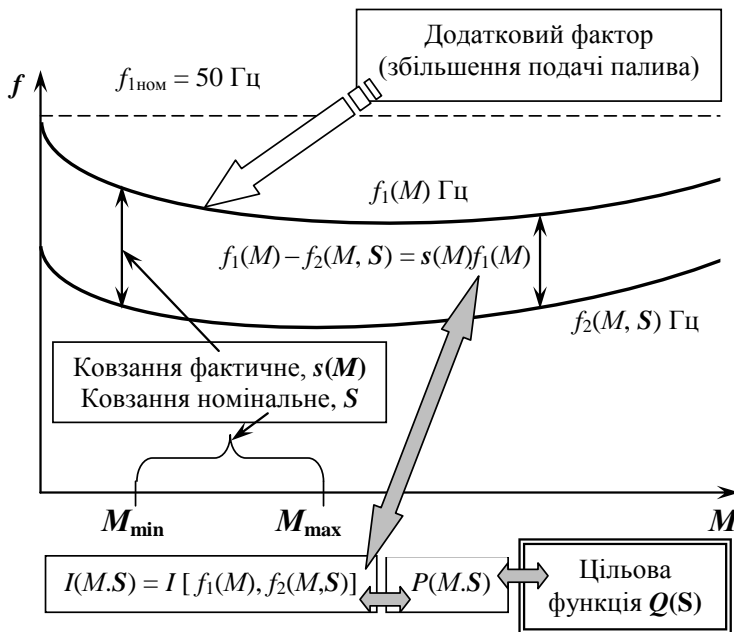


Рисунок 2 – Інформаційна схема оптимізації розрахункового значення ковзання S

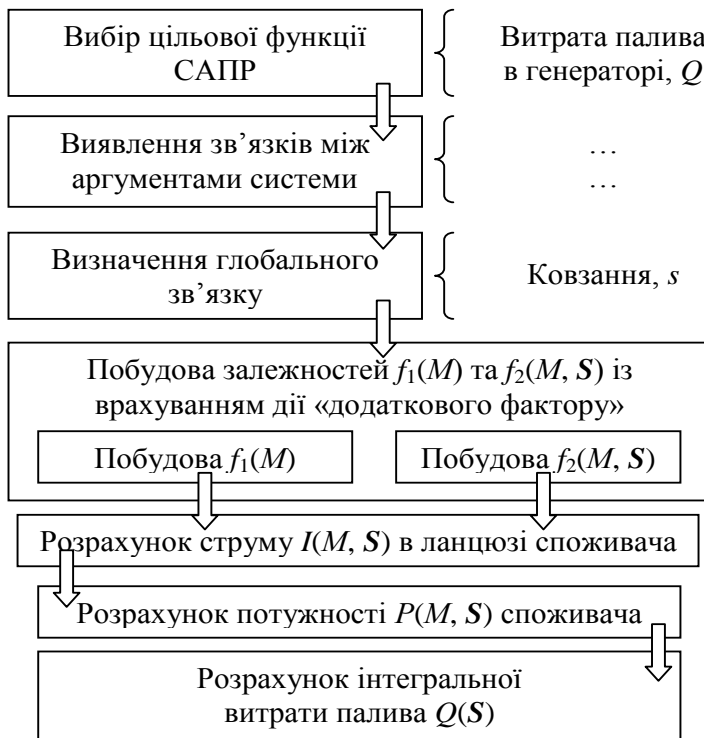


Рисунок 3 – Послідовність операцій при розрахунку ковзання S в САІР системи «ПГ – АД»

в САІР АД. Це означає, що під час проектування розрахункове (номінальне) значення ковзання S – суть число, а фактичне ковзання s – функція режиму роботи АД. Тому в роботі реалізовано такий метод «оберненого» розрахунку ковзання S , якому передує «прямий» розрахунок функції $s(M)$ (рис. 2).

Відмітимо, що вигляд кривих на рис. 2 із явно вираженим мінімумом відповідає такому режиму роботи системи, коли деякий «додатковий фактор» всякий раз розганяє потужність роботи генератора при критичному зменшенні частоти обертання магнітного поля статора f_1 . При цьому значення f_1 відновлюється, а витрата палива Q в генераторі – збільшується.

На рис. 2 позначені обидва види ковзання: фактичне (поточне) s та номінальне S .

Послідовність операцій методу при використанні в якості глобального зв'язку ковзання наведена на рис. 3.

Спочатку відбувається вибір проміжної цільової функції оптимізації, далі – виявлення усіх враховуваних в САІР зв'язків між аргументами системи, і, нарешті, вибір глобального зв'язку.

Далі будуються залежності $f_1(M)$ та $f_2(M, S)$ та визначаються функції $I(M, S)$ та $P(M, S)$. Інтегруючи останню, отримуємо цільову функцію – витрату палива $Q(S)$ в генераторі.

Оптимізація в рамках запропонованого методу полягає у підборі такого номінального значення S , при якому інтегральна витрата палива Q в генераторі буде мінімальною. В будь-якому випадку, маючи «пряму» залежність $Q(S)$, можна розв'язувати обернену задачу оптимізації: пошук такого номінального значення ковзання S^* , яке (в заданих межах) гарантує не перевищення заданої витрати палива Q^* . Така задача по суті є завданням оптимізації із зв'язаними аргументами, оскільки ковзання S є функцією слабкозв'язаних між собою моментів M_{\min} та M_{\max} .

Оптимізація систем зі слабкозв'язаними аргументами за допомогою методу рухомого вікна. Метод рухомого вікна в нашому випадку – це двохцільова оптимізація функцій $f_1(x)$ та $f_2(x)$ при за допомогою спільного аргументу x , причому значення x для кожної функції та на кожному кроці вікна можуть відрізнятися одне від одного, але не більш, ніж на деяку величину b (рис. 4).

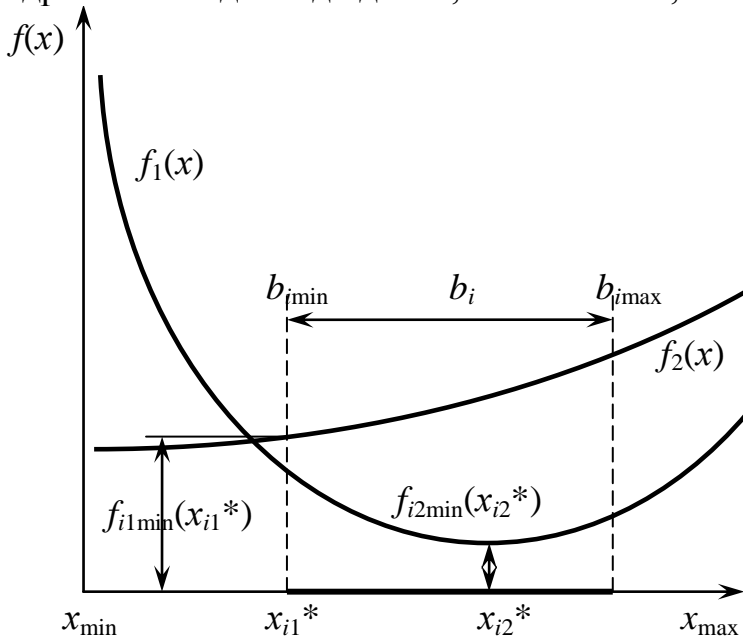


Рисунок 4 – Оптимізація зв'язності за допомогою методу рухомого вікна

Саме ця величина i є слабким зв'язком між аргументами двох функцій, в межах якого виконується пошук «оптимальної» пари значень таких аргументів. Можливості пошуку обмежується шириною рухомого вікна b_i та його поточною позицією вздовж осі аргументів. Застосовуючи запропонований показник ефективності оптимізації E :

$$E(x, b) = \frac{f_1(x, b)}{f_1(x_1^*)} + \frac{f_2(x, b)}{f_2(x_1^*)}$$

(позначення див. на рис. 4), отримуємо можливість знайти

таке значення b , при якому E мінімальне. Вважаючи $b = S$, отримуємо механізм оптимізації номінального ковзання по відомих значеннях поточного ковзання s .

У нашому випадку мова йде про функції, де аргументом не є час. Тому ми можемо надати можливість аргументам переміщатися всередині зони зв'язності i , крім того, дозволити самій зоні зв'язності змінюватися при русі, тобто покласти $b = b(x)$. Тепер до переліку вихідних даних, крім цільових функцій, додатково входять ширина зони зв'язності як функція оптимізуемого аргументу i і інтервал оптимізації уздовж осі цього аргументу.

Саме ширина зони зв'язності $b = b(x)$ стає в цьому методі величиною змінного вікна, яка, природно, в загальному випадку також є змінною функцією аргументу x . Для оптимізаційних розрахунків методом «рухомого вікна» відрізок шириною b дискретно переміщається уздовж осі x , породжуючи дискретні зна-

чення $E(x, b)$. Крок дискретизації є в цьому методі налаштуванням користувача і може вибиратися останнім або функціонально прив'язуватися до змінних параметрів системи, що оптимізується довільно.

Точність методу визначається кроком ітерації рухомого вікна. Зазвичай при вирішенні оптимізаційних задач точність оптимізації задається як вихідний параметр, а відповідний до цієї точності крок переміщення рухомого вікна обчислюється.

Оптимізації на прикладі складної системи «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун». Основною важливою основою її розрахунку є те, що співвідношення потужностей споживача (електродвигуна) і джерела (генератора) близьке до одиниці, а отже падінням напруги і частоти струму, що живить електродвигун не можна нехтувати і вважати ці параметри постійними. Один з підходів до розв'язання задачі оптимізації такого об'єкта представлений на рис. 5. Аргументом такої оптимізації буде ковзання S – узагальнена характеристика двох змінних: частоти обертання магнітного поля статора f_1 і частоти обертання ротора електродвигуна f_2 (рис. 5).

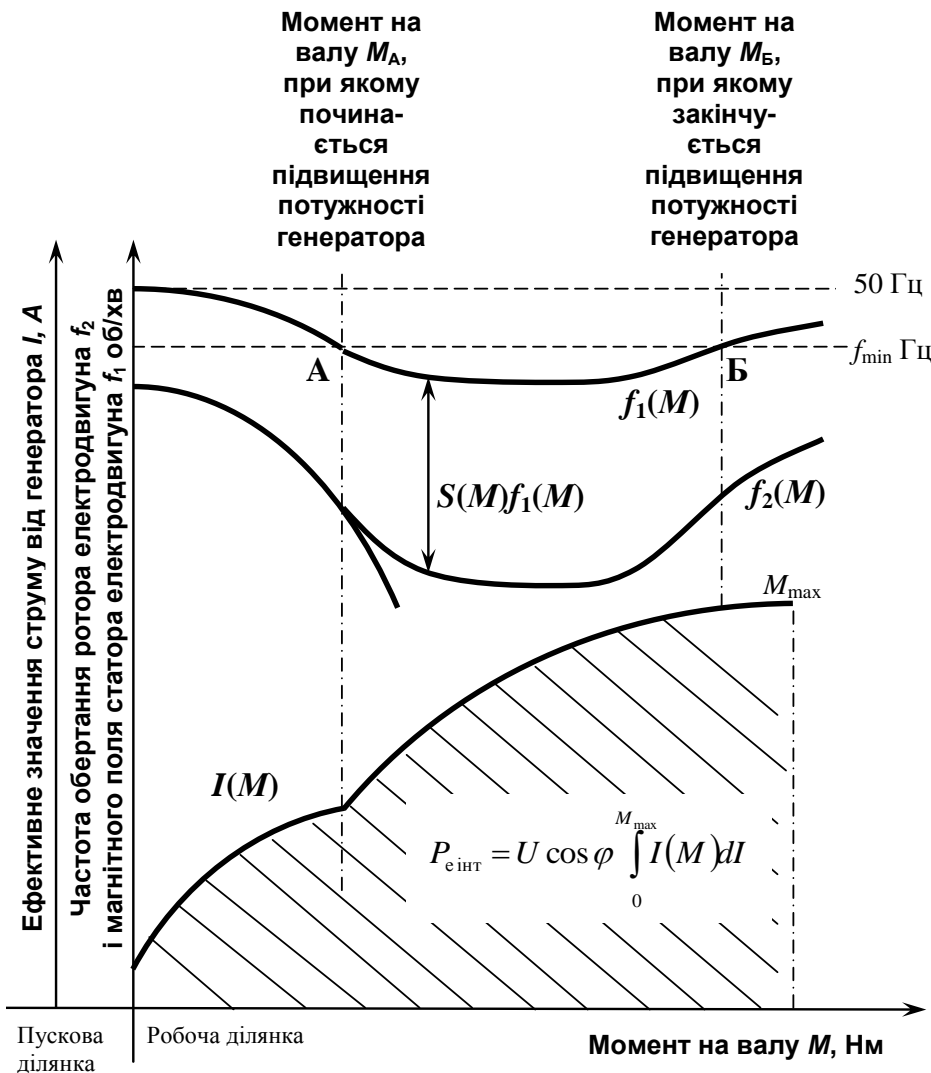


Рисунок 5 – Когнітивна модель електромеханічної взаємодії в системі «паливний генератор – електродвигун»

Оскільки обидві частоти в такому об'єкті визначає навантажувальний момент на валу двигуна, саме в цих координатах: $f_1(M)$ та $f_2(M)$ побудуємо відповідні когнітивні моделі.

Із зростанням навантаження зменшується частота обертання валу і збільшується струм та потужність, споживані електродвигуном від джерела. Однак, в цьому випадку потужність джерела не нескінченна, тому одночасно з падінням частоти обертання валу n відбувається зменшення частоти

струму в мережі f (рис. 5). Таке падіння, втім, триває не безмежно, і при досягненні частотою f_1 деякого мінімально допустимого значення f_{\min} (точка А на рис. 6) спрацьовує частотний захист генератора і його максимальна потужність починає збільшуватися. Це як додати газу в автомобілі: по рівній дорозі все йде штатно, а при підйомі частота обертів двигуна починає падати і водій (або автомат) вимушено натискає на «газ», збільшуючи витрату палива.

Після точки А ситуація починає вирівнюватися, обидві криві: $f_1(M)$ та $f_2(M)$ проходять крізь мінімум і повертаються до припустимого рівня в околиці точки Б (рис. 5). Але при цьому не все стабілізується: залишається один важливий параметр, який не відновлюється після такого «маневру», – це струм в мережі, що визначає споживану від генератора потужність: $P = IU \cos \varphi$, а отже і витрату палива в генераторі! Ця витрата розраховується за формулою, наведеною на рис. 5, як площа під кривою зміни струму в ланцюзі електродвигуна.

У третьому розділі запропоноване експериментальне забезпечення САПР асинхронних електродвигунів.

Експериментальне забезпечення САПР асинхронних електродвигунів з обмеженням є частиною технічного забезпечення САПР і являє собою лабораторне обладнання для натурних (фізичних) експериментів і комп'ютерну техніку для віртуальних експериментів.

Електродвигун в єдиній системі із паливним генератором працює, як правило, в режимі частих та суттєвих змін механічного навантаження на його валу. Принаймні, саме для такого режиму призначена запропонована система проектування, інакше, багато розрахунків в її межах можна було б значно спростити. Тому в процесі проектування складне навантаження на двигун необхідно фізично моделювати, а реакцію останнього – вимірювати. Для цього були створені експериментальні стенди підтримки САПР АД.

Експериментальне забезпечення служить в САПР підтримкою прийняття як структурних, так і параметричних рішень в процесах оптимізації з точки зору дотримання різних обмежень, наприклад, теплових, механічних, електричних, тощо. Експериментальне забезпечення незамінне також в САПР для визначення механічних властивостей матеріалів, які закладаються в конструкцію (щільності, міцності, жорсткості, теплоємності, теплопровідності, електропровідності, і багатьох інших), які, як правило, у реальних речовинах і їх композиціях набагато відрізняються від «паспортних» довідкових даних, а деяких відсутні взагалі. Оскільки проектувальники в САПР працюють з моделями майбутніх об'єктів, експериментальне забезпечення дозволяє їм переконуватися, що прийняті методи та моделі адекватні і відповідають заданій точності оптимізаційних розрахунків.

Експериментальна підтримка проектування (ППР) теплових процесів. В «стандартній» постановці тепловий розрахунок виконується для номінального навантаження. На жаль, точність такого розрахунку невелика. Адже, вид розрахункових формул не відображує закони теплопередачі в геометрично вельми складному об'єкті, тобто розрахункові результати отримуються для умов, як правило, дуже далеких від тих, в яких буде працювати проектований електрод-

вигун. Тому важливим елементом системи ППР є експериментальна перевірка теплового стану зразка системи «паливний генератор – асинхронний електродвигун», виготовленої за результатами попереднього проектування.

Система ППР в САПР теплового режиму електродвигуна виходить з того, що поверхня електродвигуна, яка працює при номінальному навантаженні, будучи нагрітою до порівняно невисоких температур (в різних місцях від 40 до 100 °С) випромінює електромагнітні хвилі в інфрачервоному діапазоні. Це дозволяє за допомогою інфрачервоних приладів отримувати фото або відео відображення поверхні. Останні, в свою чергу, використовували локально (зміна кольору в окремих областях свідчить про локальний перегрів) або інтегрально, зводячи всі точки теплового зображення до єдиного числа за допомогою еліптичного перетворення.

Інформаційне забезпечення в САПР АД при експериментальному вимірюванні ковзання. Для вимірювання ковзання в працюючих під різноманітним навантаженням електродвигунів, в залежності від типу джерела живлення, можливі два підходи.

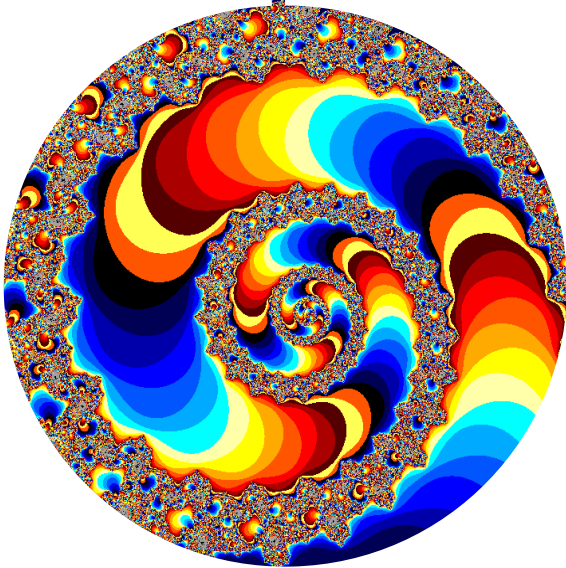


Рисунок 6 – Диск із зображенням геометричного фрактала, який використовується для точного вимірювання швидкості обертання валу двигуна

Якщо потужність генератора на порядки вище за потужність двигуна, ковзання вимірюється тільки як функція частоти обертання останнього. Якщо ці потужності близькі, необхідно також вимірювати частоту струму в ланцюзі від генератора до двигуна.

В обох випадках необхідно швидко та точно вимірювати частоту обертання валу двигуна. Для цього в роботі, замість традиційного стробоскопічного диску, використовували диск із зображенням кольорового геометричного фрактала (рис. 6). Далі робили послідовні цифрові фотографії при суворо заданому інтервалі між ними і застосовували до них вже параболічне перетворення.

У четвертому розділі наведена структура САПР асинхронних електродвигунів «OPTIGLOC» та її виробничі випробування.

Зі сказаного видно, що ковзання є головним зв'язком в системі «джерело змінної напруги – асинхронний електродвигун»; тому варіанти проектування, коли ковзання вибирається з таблиць або задається в якості одного з вихідних даних на проектування, не є оптимальними. У роботі був запропонований новий метод, в якому оптимальне ковзання виходить в результаті оптимізаційного розрахунку.

Структура і основні підсистеми САПР «OPTIGLOC». Загальна структура розробленої САПР «OPTIGLOC» наведена на рис. 7. Вона містить блоки введення вихідних даних і класифікації поставленого в цих даних завдання з

точки зору виду проектування: об'єкт, що містить електродвигун, проектування по «стандартній» схемі з вибором величини ковзання, проектування за новою схемою з визначенням ковзання за допомогою оптимізаційних розрахунків.

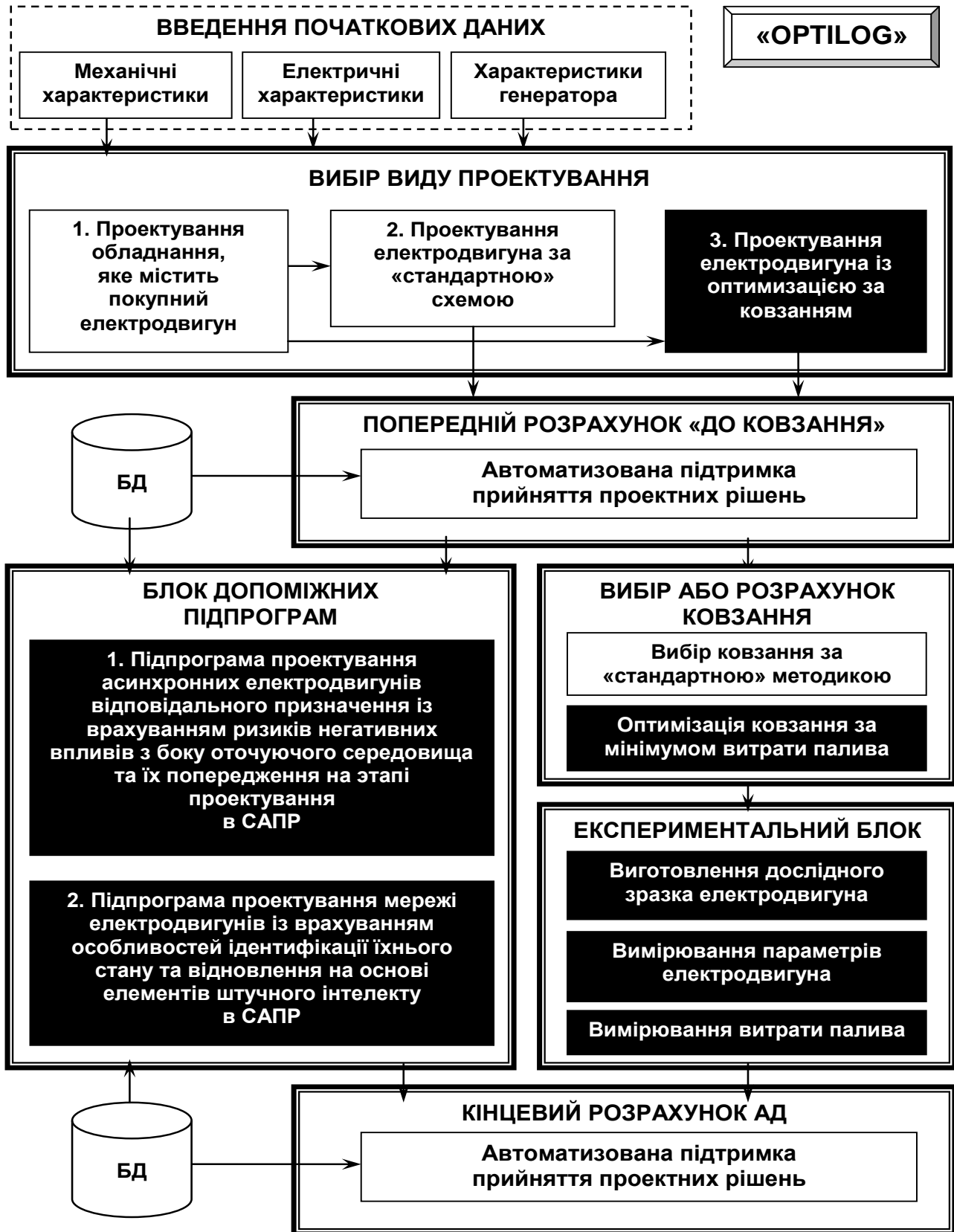


Рисунок 7 – Структура та головні підсистеми САПР «OPTIGLOC»

Далі виконується попередній розрахунок асинхронного двигуна «до ковзання», вибір або розрахунок ковзання і остаточний розрахунок, після якого проектування закінчується.

Серед об'єктів проектування існують такі, які по одному або декількох параметрах можна віднести до «об'єктів відповідального призначення». Прикладом таких об'єктів може бути відповідальне електрообладнання, складовими якого є, зокрема, унікальні електродвигуни, лінії електропередач (ЛЕП) та ін. Перший додатковий блок запускається саме в тих випадках, коли з технічного завдання на проектування виходить, що необхідно створювати двигун відповідального призначення, який буде працювати в несприятливому середовищі зі значними можливостями можливих ризиків загроз його працездатності.

Другий додатковий блок призначений для проектування електродвигунів, які призначені для роботи в мережі, частково недоступній для моніторингу. Це породжує задачу забезпечення таких електродвигунів інтелектуальним блоком, в завдання якого входить визначення несправностей в мережі і підтримка прийняття рішення щодо їх усунення.

Експериментальний блок САПР «OPTIGLOC» створений для виготовлення дослідного зразка проектованого варіанта електродвигуна і випробування його на лабораторному стенді з можливістю оцінки теплового стану вузлів двигуна за допомогою відображення і комп'ютерної обробки інфрачервоного випромінювання від його поверхні, а також вимірювання швидкості обертання валу асинхронного електродвигуна, механічного моменту на ньому, ковзання і витрати пального в бензиновому генераторі.

Приклад лабораторної оптимізації системи «бензиновий генератор – двигун» з допомогою САПР «OPTIGLOC». До системи «паливний (бензиновий) генератор – асинхронний електродвигун» входив покупний генератор моделі «*Champion GG3300*» і проектований електродвигун. Потужності генератора, що працює в «штатному» режимі достатньо для підтримання роботи електродвигуна, при цьому, «штатна» витрата палива становить 1,5 л/год або 0,23 кг/кВт·год.

Як сказано вище, навантаження на систему ПГ-АД, як правило, нестабільне, при його різкому зростанні падає частота струму на виході генератора, що призводить до форсування його потужності і, як наслідок, автоматичного відновлення частоти до дозволеного рівня на виході і, відповідно, підвищення витрати бензину в генераторі.

Режим зміни витрати палива залежить від обраного при проектуванні електродвигуна значення ковзання S . Експеримент показав, що залежність витрати палива від закладеної в проект величини ковзання має мінімум, пошук якого і був оптимізаційним завданням.

Виробничі випробування САПР «OPTIGLOC». В Приватному підприємстві «Спеціалізоване енергетичне підприємство ЕНЕРГО-КОМ» (м. Одеса) були проведені виробничі випробування САПР «OPTIGLOC».

В якості об'єкта проектування використовували систему «Дизельний генератор – асинхронний двигун». В результаті випробувань встановлено, що вико-

ристання САПР «OPTIGLOC» дозволило зменшити питому витрату дизельного палива в генераторі на 5,3 %, зберігши при цьому незмінним термін служби системи і стабільність виконання нею технічних завдань, а також знизити терміни проектування в середньому на 13,7 %.

ВИСНОВКИ

1. Аналізом проблем та існуючих методів автоматизованого проектування складних електротехнічних систем, зокрема, асинхронних електродвигунів встановлено, що при проектуванні близьких за потужністю підсистем «паливний електрогенератор» та «асинхронний електродвигун» їх необхідно розглядати у тісному взаємозв'язку. Для цього введено поняття та запропоновано метод розрахунку глобального зв'язку між аргументами проектного об'єкта в САПР систем «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун». Цей зв'язок домінує над іншими в тому сенсі, що він присутній в найбільшій кількості моделей в процесі проектування, у зв'язку з чим результат його обчислення здійснює вирішальний вплив на об'єкт в цілому. Запропоновано метод розрахунку в САПР систем «паливний електрогенератор – асинхронний електродвигун», в якому проміжною цільовою функцією є не споживчі якості об'єкта (потужність, маса, вартість, ККД, тощо), а згаданий глобальний зв'язок (ковзання).

2. Для розв'язання багатокритеріальних задач при проектуванні параметрів складних систем із глобальним зв'язком між їх елементами (наприклад, ковзанням) розроблено метод рухомого вікна, в якому на кожній поточної позиції ширина вікна відповідає поточній величині ковзання, при цьому виконується пошук прийнятних рішень на кожній позиції вікна з подальшою обробкою отриманих даних. Це дозволило звести багатокритеріальне завдання до однокритеріального і тим самим підвищити ефективність автоматизованого проектування та якість проектів.

3. Для організації оптимізаційних розрахунків «за ковзанням» створено модель, в якій вдалося зв'язати частоти обертання магнітного поля генератора та ротора двигуна із фінішною характеристикою ефективності САПР: витратою палива в генераторі. Така модель дозволяє перейти до оптимізації характеристик двигуна за схемою: знайти ковзання, що забезпечує мінімум витрат палива, і підставити його в подальші розрахунки параметрів електродвигуна. Таку оптимізацію через вельми складні математичні моделі, що беруть в ній участь, можна виконати будь-яким з дискретних методів підбору. Подальша послідовність операцій при проектуванні асинхронного двигуна відповідає стандартній схемі, але номінальне ковзання в результатах розрахунків вже не задається і не перевіряється за таблицями на відповідність допуску, а є результатом описаних вище оптимізаційних розрахунків.

4. На основі розроблених методів та моделей в роботі була створена САПР «OPTIGLOC», яка містить блок класифікації виду проектування: вибір готового двигуна, проектування з вибором величини номінального ковзання, проектування із розрахунком номінального ковзання за допомогою оптимізаційних, за-

пропонованих в даній роботі. Далі виконується розрахунок номінального ковзання асинхронного двигуна і остаточний розрахунок «по ковзанню», після якого проектування закінчується. Перший додатковий блок запускається в тих випадках, коли проектується двигун відповідального призначення із значною ймовірністю загроз його працездатності. Другий додатковий блок підтримує проектування електродвигунів, які призначені для роботи в мережі, частково недоступної для моніторингу.

5. Для підвищення якості проектування до складу САПР «OPTIGLOC» додатково залучили експериментальне забезпечення, зокрема прискорений метод експериментальної оцінки ковзання в двигуні, що працює під навантаженням. В рамках методу замість звичайного стробоскопічного використовували диск із зображенням геометричного фрактала з наступним цифровим фотографуванням цього зображення в двох часових точках і застосуванням до відображень параболічного перетворення.

6. У ПП «СЕР Енерго-КОМ» було проведено випробування САПР електротехнічного обладнання «OPTIGLOC». В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували систему «Дизельний генератор – асинхронний двигун змінного струму». В результаті випробувань встановлено, що використання САПР «OPTIGLOC» дозволило зменшити питому витрату дизельного палива в генераторі на 5,3 %, зберігши при цьому незмінним термін служби системи та стабільність виконання нею споживчих завдань, а також знизити терміни проектування, в середньому, на 13,7 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові роботи, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Становский, А.Л. Разработка методов преобразования многомерной измерительной информации к числу с помощью дифференциальных уравнений в частных производных / А.Л. Становский, А.В. Шмараев, И.В. Прокопович, Д.А. Пурич, П.С. Швец, В.В. Бондаренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2015. – № 4/4 (76). – С. 56 – 61. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз Scopus, BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

2. Становский, А. Л. Разработка метрологического обеспечения управления технологическим процессом литья медных анодов / А.Л. Становский, А.В. Шмараев, И.В. Прокопович, Д.А. Пурич, П.С. Швец, В.В. Бондаренко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – Харьков, 2015. – № 4/3 (24). – С. 55 – 59. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

3. Становский, А. Л. Автоматизированное проектирование теплообменных аппаратов с помощью фрактальных сверток компьютерных томограмм / А.Л. Становский, А.В. Торопенко, П.С. Швец, В.В. Бондаренко // Сучасні тех-

нології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 10. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. — С. 140 – 155. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

4. Становський, О. Л. Оптимізація зв'язності елементів в задачах автоматизованого проектування систем / О.Л. Становський, П.С. Швець, А.В. Торопенко, В.В. Бондаренко, А.О. Становський, О. Абу Шена, О.М. Красножон // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2015. – № 49(1158)2015. – С. 170 – 175.

5. Shvets, P. S. The computer-aided design of rubber-metal products / P. S. Shvets, O. Yu. Lebedeva, V. V. Bondarenko // Праці Одеського національного політехнічного університету. – Одеса: ОНПУ, 2015. – С. 63 – 72.

6. Швець, П.С. Многоцелевая оптимизация объектов со связанными параметрами с помощью метода скользящего окна / П.С. Швець, Д.А. Монова, В.В. Бондаренко, Е.А. Оборотова // Научный журнал «ScienceRise». – Харьков, 2016. – № 4(21). – С. 31 – 36. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

7. Становский, А. Л. Автоматизированное проектирование сложных систем по ограничениям / А.Л. Становский, П.С. Швець, В.В. Бондаренко // Научный журнал «ScienceRise». – Харьков, 2016. – № 4(21). – С. 31 – 36. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

Наукові публікації апробаційного характеру

8. Бовнегра, Л. В. Обобщение метода виртуального объекта на расчеты оптимальных параметров сложных систем // Л. В. Бовнегра, В.В. Бондаренко, С.В. Кошулян // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22 – 23 января 2013. – С. 112 – 113.

9. Прокопович, И. В. Особенности технологического процесса литья как нестабильного объекта моделирования // И. В. Прокопович, В.В. Бондаренко, В.В. Добровольская // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22 – 23 января 2013. – С. 114 – 115.

10. Щедров, І. М. Підтримка прийняття рішень в управлінні латентними мультиплікативними ризиками проектів будівництва мегаспоруд // І.М. Щедров, К.І. Березовська, В.В. Бондаренко // Матеріали ІV міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій», МССТ-2015. – Херсон, ХНТУ, 4 – 5 червня 2015. – С. 228 – 231.

11. Бондаренко, В. В. Проектування складних електротехнічних систем / В.В. Бондаренко, П.С. Швець, Д.О. Пуріч // Матеріали ХХІІ семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 4 – 5 марта 2014. – С. 65 – 67.

12. Швець, П. С. Оптимизация параметров оборудования по критерию связности элементов / П.С. Швець, В.В. Бондаренко, Д.О. Пуріч // Материалы

XXII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 4 – 5 марта 2014. – С. 68 – 70.

13. Торопенко, А. В. Элементы технических систем с переменной связностью / А.В. Торопенко, Д.А. Пурич, П.С. Швець, В.В. Бондаренко // Материалы XXIII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 10 – 12 марта 2015. – С. 47 – 48.

14. Швець, П. С. Оптимизация технических систем по критерию связности между их элементами / П.С. Швець, Д.А. Пурич, А.В. Торопенко, В.В. Бондаренко // Материалы XXIII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 10 – 12 марта 2015. – С. 49 – 55.

15. Лебедева, О. Ю. Автоматизация проектирования технологического процесса изготовления гумовометалевых виробів. / О.Ю. Лебедева, О.Абу Шена, В.В. Бондаренко, О.М. Красножон // Материалы 2-ої Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості 2015». – Івано-Франківськ, 6 – 9 жовтня 2015. – С. 59 – 60.

16. Становський, О. Л. Фазовий портрет технологічного процесу виготовлення гумовометалевих виробів / О.Л. Становський, О.Ю. Лебедева, О. Абу Шена, В.В. Бондаренко // II Міжнародна науково-технічна internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами». – Київ, НУХТ, 25 листопада 2015. – С. 87.

17. Становський, А. О. Використання методу поля напрямків в діагностиці бездротових комп'ютерних мереж / А.О. Становський, В.В.Бондаренко, Абу Шена О., О.І. Дадерко // V міжнародна міжвузівська школа-семинар «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МіЗДТС-2015)». – Івано-Франківськ, 16 – 19 листопада 2015. – С. 73 – 76.

18. Становский, А. Л. Оптимизация связности элементов в САПР / А.Л. Становский, В.В. Бондаренко, В.В. Добровольская, Осам Абу Шена, И.А. Саух // Материалы 17-й международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, 23 – 27 мая 2016 г. – С. 32 – 33.

19. Становский, А. Л. Оптимизация систем при связанных аргументах / А.Л. Становский, В.В. Бондаренко, В.В. Добровольская, Осам Абу Шена, И.А. Саух // Материалы VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформатика та системні науки». – Полтава, 10 – 12 березня 2016 р. С. 290 – 292.

20. Швець, П. С. Оптимізація зони зв'язності в САПР / П.С. Швець, Т.П. Становська, В.В. Бондаренко, Абу Шена Осам // Материалы XXIV науково-технічного семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 11 января 2016. – С. 9 – 11.

21. Stanovskyi, O. Mathematical modeling and optimization of complex systems on a global connection parameters in CAD / O. Stanovskyi, P. Shvets, V. Bondarenko, O. Toropenko, Abu Shena Osama, Walid Hussain // Materials of IX Annual Scientific Conference “Information Technology and Automation – 2016”. – Odessa, October 11-14, 2016. – P. 8 – 9.

АНОТАЦІЯ

Бондаренко В.В. Математичне моделювання та оптимізація в САПР систем «паливний електрогенератор – електродвигун». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2017.

Дисертація присвячена удосконаленню призначених для САПР методів проектування складних електротехнічних систем, зокрема, оптимізації «глобального зв'язку» між параметрами їх підсистем в останніх, а також створення нових моделей з метою адаптації їх до роботи з конструкціями, що містять зв'язки між елементами глобального типу.

Проаналізовані існуючі проблеми та методи в САПР складних електротехнічних систем. Розроблено математичне забезпечення для САПР асинхронних електродвигунів: математичні моделі та методи оптимізації глобальної зв'язності параметрів складних електротехнічних систем. Розроблено експериментальне забезпечення САПР асинхронних електродвигунів: визначення властивостей матеріалів; оцінка точності і адекватності прийнятих методів і моделей. Розроблено програмне забезпечення САПР асинхронних електродвигунів: підсистема САПР «OPTIGLOC», що базується на методі рухомого вікна. Здійснено комп'ютерне та виробниче випробування результатів дослідження з позитивним технічним ефектом.

Ключові слова: паливний електрогенератор, електродвигун, глобальні зв'язки, метод ковзного вікна, САПР «OPTIGLOC».

ANOTATION

Bondarenko V.V. Mathematical modeling and optimization in the systems «fuel generator – electro engine» CAD. – The Manuscript.

The dissertation seeking scientific degree of the technical science candidate in specialty 05.13.12 – The systems of design works automation. – Odesa national polytechnic university, Odesa, 2017.

The dissertation is devoted to improvement of intended for CAD methods to design complex electrical systems, in particular, the optimization of «global connection» between the parameters of the subsystems in the past, and create new models to adapt them to work with structures containing relations between elements of the global type. Existing problems and methods in CAD of complex electrical systems are analyzed. Developed software for CAD asynchronous motors according to the constraints: mathematical models and optimization techniques global coherence of the parameters of complex electrical systems. Experimental support for CAD asynchronous motors: definitions of material properties; assessment of the accuracy and adequacy of the adopted methods and models. Developed CAD software asynchronous motors for restrictions: subsystem CAD "OPTIGLOC" based on the sliding window. Computer implemented production and test research results with positive technical effect.

Keywords: fuel generator, motor, global connection, moving window method, CAD "OPTIGLOC".

АННОТАЦИЯ

Бондаренко В.В. Математическое моделирование и оптимизация в САПР систем «топливный электрогенератор – электродвигатель». – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектных работ. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2017.

Диссертация посвящена усовершенствованию предназначенных для САПР методов проектирования сложных электротехнических систем, в частности, оптимизации «глобальной связи» между параметрами подсистем в последних, а также создание новых моделей с целью адаптации их к работе с конструкциями, содержащими связи между элементами глобального типа.

Проанализированы существующие проблемы и методы в САПР сложных электротехнических систем. Разработано математическое обеспечение для САПР асинхронных электродвигателей: математические модели и методы оптимизации глобальной связности параметров сложных электротехнических систем. Разработано экспериментальное обеспечение САПР асинхронных электродвигателей: определения свойств материалов; оценка точности и адекватности принятых методов и моделей. Разработано программное обеспечение САПР асинхронных электродвигателей: подсистема САПР «OPTIGLOC», основанный на методе скользящего окна. Осуществлено компьютерное и производственное испытание результатов исследования с положительным техническим эффектом.

Научная новизна результатов диссертационной работы состоит в совершенствовании методов и моделей, предназначенных для повышения эффективности САПР системы «топливный электрогенератор – асинхронный электродвигатель», энергетические показатели которых не могут быть рассмотрены не зависимо.

Впервые предложена расчетная модель системы «топливный электрогенератор – асинхронный электродвигатель» с сопоставимыми энергетическими параметрами источника и потребителя, учитывающая процессы, происходящие не только в электродвигателе, но и в генераторе, что позволило выделить решающие связи между этими подсистемами при решении задач в САПР асинхронных двигателей.

Впервые предложено понятие «глобальная связь» между аргументами проектируемого объекта как соотношение между параметрами подсистем, когда такая связь доминирует над остальными в том смысле, что она присутствует в наибольшем количестве моделей, в связи с чем ее вычисление оказывает решающее влияние на объект проектирования в целом, что позволило предложить метод расчета в САПР систем «топливный электрогенератор – асинхронный электродвигатель» по глобальной связи.

Впервые предложен метод расчета в САПР систем «топливный электрогенератор – асинхронный электродвигатель», в котором целевой функцией являются не потребительские качества объекта, а глобальная связь между элементами системы, что позволило построить алгоритм проектирования по схеме: оптимизация скольжения – расчет параметров асинхронного электродвигателя;

Получил дальнейшее развитие метод подвижного окна при проектировании сложных систем по глобальной связи между элементами, в котором на каждой текущей позиции ширина окна соответствует текущей величине глобальной связи, при которой выполняется поиск приемлемых решений на каждой позиции окна, что позволило свести многокритериальную задачу к однокритериальной и повысить качество автоматизированного проектирования

Получил дальнейшее развитие метод экспериментальной оценки скольжения асинхронного электродвигателя, работающего под нагрузкой, отличающийся тем, что вместо стробоскопического диска использовано изображение геометрического фрактала с последующим фотографированием его в двух временных моментах и применения к получаемым отображениям параболического преобразования, что позволило оперативно использовать получаемые результаты в процессе автоматизированного проектирования

Теоретически доказаны и практически, с помощью компьютерного эксперимента и производственных испытаний подтверждены возможности повышения эффективности проектирования и качества продукции электротехнического производства за счет использования САПР, обеспечивающей эффективную оптимизацию параметров сложного электротехнического оборудования по глобальной связности.

В Одесском ЧП «Специализированное энергетическое предприятие «Энерго-КОМ» было проведено испытание разработанной в ОНПУ САПР электротехнического оборудования «OPTIGLOC» (*Optimization by the global connectivity*), которая базируется на предложенных моделях и методе оптимизации параметров сложных систем по глобальной связности параметров их подсистем. В качестве объекта автоматизированного проектирования использовали систему «Дизельный генератор – асинхронный двигатель переменного тока». В результате испытаний установлено, что использование САПР «OPTIGLOC» позволило уменьшить удельный расход топлива в генераторе на 5,3 %, сохранив при этом неизменным срок службы системы и стабильность выполнения ею технических задач, и снизить сроки проектирования в среднем на 13,7 %.

Предложенные методы и модели, а также алгоритмы и программы, разработанные для их реализации, внедрены в учебный процесс в Одесском национальном политехническом университете и используются в дисциплинах, изучающих методы автоматизированного проектирования, а также в курсовом и дипломном проектировании.

Ключевые слова: топливный электрогенератор, электродвигатель, глобальные связи, метод скользящего окна, САПР «OPTIGLOC».

Підписано до друку 13.02.17 р.
Формат 90×60/16. Папір офсетний.
Об'єм 1,25 ум. друк. арк.; 0,8 обл.-видав. арк.
Замовлення №1302/1. Тираж 100 прим.

Виготовлено з готового оригінал-макету
ФОП Побута М.І.
65044, м. Одеса, пр-т Шевченка, 1-а