

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

завідувача кафедрою відновлюваних джерел енергії, доктора технічних наук, доцента Національного технічного університету України «Київський політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського» **Будька Василя Івановича**

на дисертаційну роботу **Карабецького Дениса Петровича** «Автоматизоване проектування гібридних сонячних енергетичних систем», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – «Системи автоматизації проектувальних робіт»

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Швидке виснаження традиційного викопного палива на глобальному рівні стимулює розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для задоволення енергетичних потреб. Однією з основних причин впровадження ВДЕ є зменшення залежності від викопного палива, що посилює наслідки глобального потепління з тривожними змінами клімату, що породжують негативний вплив на довкілля протягом останніх десятиліть. Враховуючи доступність та значний потенціал енергії сонячного випромінювання з однієї сторони та широке впровадження сонячних енергоустановок з іншої, актуальним до вирішення постає питання впливу умов навколишнього середовища на стабільність виробітку електричної енергії. Оскільки системи на основі одного відновлюваного джерела енергії в більшості випадків не в змозі забезпечити виконання вимог навантаження внаслідок нестабільності генерування через мінливий характер надходження енергоресурсу (сонячного випромінювання чи вітру), виникає необхідність їх інтеграції в гібридні системи які можуть включати в себе підсистеми генерації на основі вітрогенераторів, фотоелектричних батарей, гідротурбін, паливних елементів та інших більш традиційних джерел енергії, наприклад, як звичайний дизельний генератор або мікротурбіна. Через наявність декількох технологій та енергетичних систем управління, оптимізація цих систем є актуальною науковою задачею. Проблему оптимізації гібридних систем на основі ВДЕ можна вирішити шляхом одночасного вирішення трьох підзадач: проблеми синтезу, автоматизованого проектування та управління. Саме такій проблемі присвячена дисертаційна робота Карабецького Д.П., тому актуальність теми дисертації не викликає ніякого сумніву.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з програмою наукових досліджень кафедри авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів Національного авіаційного університету відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи: №996-ДБ15 «Інтегрована система автоматизованого проектування енергетичних установок для використання енергії вітру та Сонця».

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації та їх достовірність. Наведені в роботі наукові положення, висновки і рекомендації викладені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими за рахунок коректного використання методів імітаційного та комп'ютерного моделювання, відомих положень теорії оптимізації, дискретної математики і лінійної алгебри, елементів теорії мета-евристичних алгоритмів оптимізації.

Достовірність основних наукових результатів роботи підтверджується коректністю використання математичних методів, логічністю отриманих висновків, збіжністю результатів моделювання та експериментального дослідження з теоретичними висновками та твердженнями.

Структура, задачі, короткий зміст роботи.

Обсяг дисертаційної роботи складає 150 сторінок друкованого тексту, що містять вступ, чотири розділи, висновки і додатки.

У *вступі* наведено обґрунтування вибору теми дослідження, мету дослідження, практичне значення одержаних наукових результатів, дані про впровадження та зв'язок роботи з науковими університетськими програмами.

Перший розділ дисертації присвячений використанню відновлюваної енергетики у світі, важливості використання гібридних сонячних енергетичних систем та зазначено перелік проблем при проектуванні систем такого типу. Виконано огляд вже існуючих систем автоматизованого проектування ГСЕС та представлено порівняльний аналіз відомого програмного забезпечення (HOMER, HYBRID, RETScreen та HOGA).

Запропоновано загальну структуру ГСЕС, яка має наступні елементи: сонячна енергетична система (включаючи фотоелементи, набір перетворювачів), система акумулювання енергії на основі використання акумуляторних батарей, дизельний генератор та систему підключення до електромережі.

У *другому розділі* запропоновано загальну структуру системи автоматизованого проектування (САПР) для проектування ГСЕС використовуючи чотири визначені критерії: вартість системи, кількість викидів CO₂, наявність дефіциту енергії та використання невідновлюваної енергії при експлуатації кінцевим споживачем. Представлено опис кожного з блоків САПР, включаючи наступні частини: принциповий та функціональний опис, набір вирішених проблем та методів їх розв'язання, набір релевантних моделей процесів (включаючи принципові схеми, математичні та імітаційні моделі), дослідження характеристик та результати.

Третій розділ присвячено розробці підходів збільшення енергоефективності ГСЕС.

Запропоновано метод вирішення задачі структурно-параметричного синтезу ГСЕС завдяки використанню методів багатокритеріальної оптимізації, на основі використання генетичного алгоритму NSGA-II. Формалізований набір основних критеріїв, які включають проектні цілі, у тому числі: мінімізація вартості системи за рахунок обліку амортизації і факторів експлуатації, збільшення надійності за рахунок мінімізації дефіциту

енергії, мінімізація впливу на довкілля за рахунок зменшення викидів CO₂ і пріоритетного використання ВДЕ. Розроблено алгоритм управління елементами ГСЕС на основі правил поведінки системи з урахуванням можливих режимів експлуатації (автономний режим та режим з підключенням до енергомережі). Слід відмітити впровадження розробленого програмного середовища САПР у практичну діяльність ДП «ВО Київприлад», що дозволило знизити оціночну вартість системи на етапі проектування, у деяких випадках, на 45%.

Розроблено новий алгоритм відстеження точки максимальної потужності з урахуванням можливих умов часткового затінення на основі мета-евристичного алгоритму міного вибуху. Запропоновано додатково модифікувати оригінальний алгоритм для покращення характеристик відстеження. Ефективність роботи алгоритму перевірено з використанням імітаційних моделей сонячної енергетичної системи у програмному комплексі MATLAB/Simulink (США). Неведені результати моделювання демонструють невеликий рейтинг втрат потужності та високу ефективність відстеження точки максимальної потужності з урахуванням умов часткового затінення.

Четвертий розділ присвячено питанням використання сонячної енергетичної системи в якості джерела енергії безпілотних літальних апаратів (БПЛА), для збільшення тривалості польоту. Описано типову конструкцію та структуру електричного БПЛА. Запропоновано підхід до оптимізації структури та параметрів літального апарату, до складу якого входить гібридна система акумуляування енергії (акумуляторні батареї і суперконденсатори), використовуючи методи багатокритеріальної оптимізації на основі генетичного алгоритму SPEA2. Зазначено, що рішення оптимізаційної задачі є подальшим розвитком концептуального проектування БПЛА представленого університетом ETH Zürich (Швейцарія) та відрізняється від відомого тим, що використані методи багатокритеріальної оптимізації.

Наукова новизна результаті роботи. Основними науковими результатами дисертації можна вважати наступне:

1. Розроблено новий алгоритм відстеження точки максимальної потужності (*англ.* MPPT) який відрізняється від відомих тим, що для його реалізації використаний еволюційний метод мінного вибуху (Mine Blast Algorithm), що дозволяє підвищити ефективність і швидкість знаходження точки максимальної потужності в умовах часткової затіненості.

2. Розроблена система імітаційних моделей елементів ГСЕС, яка відрізняється від відомих тим, що до її складу входять елементи СЕС (сонячні панелі, набір перетворювачів постійного та змінного струму), дизель-генератор, гібридна система акумуляування енергії, енергомережа, що дозволяє перевірити результати проектування.

3. Розроблений підхід (метод) оптимізації структури системи автоматизованого проектування ГСЕС, який відрізняється від відомих тим, що дозволяє оптимізувати структуру і параметри ГСЕС на підставі використання

методів багатокритеріальної оптимізації, що дозволяє мінімізувати вартість системи, збільшити надійність, мінімізувати дефіцит енергії для споживачів, мінімізувати забруднення навколишнього середовища.

4. Розроблений підхід (метод) оптимізації структури сонячної енергетичної системи (СЕС) для безпілотного літального апарату (БПЛА) на сонячній енергії до складу якої входить гібридна система акумулювання енергії, яка відрізняється від відомих тим, що до її складу входять акумуляторні батареї і суперконденсатори, параметри яких визначаються в результаті рішення оптимізаційної задачі, що дозволяє підвищити надійність, збільшити час польоту, збільшити пікову максимальну потужність енергетичної системи БПЛА.

Практичне значення отриманих результаті роботи:

1. На підставі розробленого математичного забезпечення: спроектовано і побудовано гібридну сонячну енергетичну систему на даху 5 навчального корпусу НАУ, що дозволило перевірити ефективність системи автоматизованого проектування для побудови ГСЕС;

2. Розроблено і побудовано сонячну енергетичну систему на даху 5 корпусу НАУ з поворотною платформою, яка дозволяє підвищити ефективність відбору сонячної енергії на 30%;

3. Використання системи автоматизованого проектування гібридних сонячних енергетичних на ДП «ВО Київприлад» дозволило оптимізувати структуру і параметри проєктованих відновлюваних систем, і тим самим скоротити вартість, збільшити надійність, скоротити дефіцит енергії та забруднення навколишнього середовища для споживачів (акт впровадження від 20.04.2021).

Повнота викладення основних результатів дисертації. Основні результати достатньо повно відображено в 20-и опублікованих роботах. З них 1 стаття входить до наукометричної бази Scopus, 1 статтю опубліковано у закордонному виданні ЕС та ОЕСР, 7 статей видано в наукових фахових виданнях України, 11 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях. Автореферат відображає з достатньою повнотою основні положення дисертації.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності. Дисертаційна робота Карабецького Д. П. відповідає паспорту спеціальності 05.13.12 – «Системи автоматизації проєктувальних робіт».

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації:

1. В авторефераті на сторінці 2 та в дисертаційній роботі на сторінці 13 автором сформульовано, що об'єкт дослідження це «система автоматизованого проектування ГСЕС». На мою думку це не зовсім вдале формулювання. Більш логічним було б визначення «процеси автоматизації в системі ГСЕС».

2. В авторефераті на сторінці 2 та в дисертаційній роботі на сторінці 13 автором сформульовано, що предмет дослідження це «методи, моделі і алгоритми, на основі яких відбувається енергетична і структурно-параметрична оптимізація ГСЕС». Методи, моделі і алгоритми – це результати наукової новизни та практичної цінності результатів досліджень. Більш логічним було б визначення «режимні параметри ГСЕС для її енергетичної та структурно-параметричної оптимізації».

3. В ряді випадків автором при формулюванні використані невдалі звороти, зокрема «потужностних кривих» більш вірно сказати як «кривих потужності», «сонячні панелі» вірно називати «сонячні фотомодулі», і т.д. Крім того ряд приведених рисунків має позначення на англійській мові, тоді як згідно вимог до оформлення всі позначення мають бути державною мовою. В таблиці 7 стор. 19 автореферату та таблиці 3.13 стор.115 дисертаційної роботи приводяться дані зі значеннями в чотири знаки після коми, хоча як забезпечується така висока точність не зовсім зрозуміло. В таблиці 3.2 та стор. 83 розмірності ємності акумуляторної батареї приведені в «А*ч» тоді як потрібно «А*год», час позначений як «г», тоді як правильно позначати «год» і т.д. Таблиця 4.3. на стор. 139 повністю приведена англійською мовою.

4. На стор. 134 в четвертому розділі дисертації для БПЛА вводиться комплексна система акумулявання енергії, що складається з електрохімічної АБ та суперконденсаторної батареї. Які функції виконує в такому поєднанні АБ та суперконденсаторна батарея? В чому суть такого поєднання?

5. В першому абзаці загальних висновків пошукачем дано визначення «У дисертаційній роботі розглянута актуальна проблема проектування гібридних сонячних енергетичних систем та їх підсистем, які були теоретично та експериментально досліджена». Більш логічним був би текст наступного змісту «У дисертаційній роботі вирішена актуальна наукова задача підвищення ефективності проектування гібридних сонячних енергетичних систем та їх підсистем за рахунок створення системи автоматизованого проектування на основі використання інтелектуальних підходів, зокрема, багатокритеріальних методів оптимізації», що більш чітко відповідатиме заявленій меті.

Відмічені недоліки не носять принципового характеру і не знижують теоретичного й практичного значення дисертації.

Загальна оцінка роботи. Дисертаційна робота Карабецького Д.П. містить теоретичні основи та приклади структурно-параметричного синтезу гібридних сонячних енергетичних систем для вирішення поставлених оптимізаційних задач. Робота з достатньою повнотою розкриває принципи функціонування елементів системи та їх математичні моделі. Дисертація представляє собою завершену науково-дослідну роботу.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Карабецького Дениса Петровича на тему «Автоматизоване проектування гібридних сонячних енергетичних систем» є завершеним науковим дослідженням, що містить

нові науково обґрунтовані та практично важливі результати, які у своїй сукупності забезпечують актуальність науково-прикладної задачі.

Основні результати дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.13.12 – «Системи автоматизації проектувальних робіт».

За науковим рівнем, практичною цінністю, публікаціями та апробацією результатів дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів» (затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами) та іншими чинними вимогами, які висуваються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор, Карабецький Денис Петрович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – «Системи автоматизації проектувальних робіт».

Завідувач кафедру відновлюваних джерел енергії
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний Інститут
імені Ігоря Сікорського»,
докт. техн. наук, доцент

Підпис Будька В. І. засвідчую



вк 17/51.03
виз 10.09.21.