

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Пушилїна Олексїя Євгенїйовича

на тему «Метод обґрунтування характеристик енергетичної системи гїбридної турбоелектричної силової установки для пасажирського літака»,

яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 Електрична інженерія

за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

Актуальність теми дисертації

Глобальне потепління та посилення міжнародних екологічних норм змушують авіаційну галузь шукати нові шляхи зниження викидів шкідливих речовин та вуглецю. Оскільки створення повністю електричних пасажирських літаків великої дальності наразі обмежується недостатньою питомою ємністю акумуляторів, гїбридні силові установки (ГСУ) розглядаються як найбільш реалістичний та ефективний компроміс. Вони дозволяють значно скоротити шкідливі викиди за рахунок зменшення споживання пального при забезпеченні необхідної потужності силової установки (СУ) літака. Інтеграція теплових та електричних двигунів дає змогу не лише суттєво зменшити обсяги шкідливих викидів, але, за певних умов, і покращити льотно-технічні характеристики ЛА. Крім цього, застосування ГСУ вимагає комплексного розгляду ГСУ та літака, оскільки ускладнення силової установки змінює її масу і масу палива, що впливає на конструкцію і параметри літака. Тому дослідження нових конструкторсько-технологічних рішень при проектуванні СУ пасажирських літаків з урахуванням параметрів літака та його профіля польоту є актуальними.

Основною проблемою при проектуванні ГСУ є вибір співвідношення між тепловими та електричними джерелами енергії, яке забезпечує задовільнення вимог до ГСУ. Є різні підходи до опису цього співвідношення, які мають свої переваги та недоліки. Тому розробка комплексного параметру

гібридизації з подальшим обґрунтуванням його найвигіднішої величини при задовільненні обмежень, що накладаються на параметри ГСУ і літака є актуальною науково-технічною проблемою. Ця проблема загострюється у зв'язку з різноманітністю схем ГСУ, розмірів літаків та профілів їх польоту.

Оскільки дисертаційна робота Пушиліна Олексія Євгенійовича присвячена вирішенню саме цієї науково-технічної задачі стосовно гібридної турбоелектричної силової установки (ГТЕСУ) з турбогвинтовим двигуном (ТГВД) для пасажирського літака то вона є актуальною у науковому плані, є своєчасною і відповідає актуальним потребам світового літакобудування та авіадвигунобудування.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Для вирішення наукових завдань проведено якісний докладний критичний огляд науково-технічної інформації за темою дисертації та сформульовані мета і завдання дослідження.

Необхідно підкреслити, що для досягнення мети необхідно вирішити надзвичайно складну, комплексну науково-технічну задачу, яка потребує застосування знань не лише в галузі газотурбобудування, але і літакобудування, електрохімії та теплофізики.

Для вирішення наукових завдань застосовані теоретичні основи, які базуються на принципах і методах системного аналізу та математичного моделювання. У дисертаційній роботі використовувались методи математичного моделювання, ретроспективний метод, експериментальний метод, аналітичний метод. В основі математичних моделей лежать методи теорії авіаційних двигунів, конструкції теплових двигунів, динаміки польоту літальних апаратів (ЛА), розділи електрохімічної енергетики, теплофізика та термодинаміка процесів у енергетичній системі ГТЕСУ.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, результатів, висновків і рекомендацій забезпечуються коректним застосуванням загальноновизнаного математичного апарату, несуперечливістю з відомими

положеннями теорії авіаційних двигунів, обґрунтованим вибором основних припущень та обмежень, прийнятих під час моделювання, а також збіжністю результатів, отриманих під час практичного застосування розроблених моделей. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у фахових українських та міжнародних виданнях та апробовано на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях. Наукові положення і висновки, сформульовані автором дисертаційної роботи, в достатньому обсязі віддзеркалюють постановку задачі дослідження та послідовність її вирішення.

Треба підкреслити особливу наукову цінність запропонованого у роботі показника гібридизації, який враховує співвідношення між тепловими та електричними джерелами енергії на всіх етапах польоту з урахуванням часу роботи на кожному з них.

Цікавим є підхід до вибору параметрів ГТЕСУ, які забезпечують мінімізацію шкідливих викидів. Він базується на логічному припущенні, що чим більша частка електричної енергії, тим менші шкідливі викиди. Це дозволило сформулювати задачу оптимізації параметрів ГТЕСУ як максимізацію показника гібридизації при задовільненні всіх обмежень, що накладаються.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає у наступному:

1. Удосконалено метод обґрунтування параметричного обриса гібридної турбоелектричної силової установки пасажирського літака.
2. Удосконалено методику розрахунку характеристик енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової установки з турбогвинтовим двигуном, електричним двигуном та паливними елементами.
3. Удосконалено показник гібридизації для оцінювання гібридної турбоелектричної силової установки з турбогвинтовим двигуном, електричним двигуном та паливними елементами.

4. Отримано нові залежності маси та об'єму енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової установки від показника її гібридизації для нових проєктів пасажирських літаків вміщенням 20, 50 та 100 пасажирів.

Практична цінність отриманих результатів

Основні наукові положення дисертації доведено до практичної реалізації у вигляді:

1. Єдиного програмного комплексу як інструментального засобу щодо вибору та обґрунтування параметричного обриса ГТЕСУ з ТГвД, ЕД та ПЕ у складі пасажирського літака. Розроблений програмний комплекс дозволяє автоматизувати розрахункові дослідження та скоротити час для прийняття технічного рішення.

2. Обґрунтованої науково-технічної інформації під час прийняття рішень щодо забезпечення необхідного або очікуваного ступеня гібридизації ГТЕСУ у складі пасажирського літака на етапах його проєктування як нового або проведення модернізації/модифікації існуючого літака.

3. Методики розрахунку характеристик ЕнС ГТЕСУ з ТГвД, ЕД та ПЕ, яка дозволяє досліднику порівнювати різні схеми ЕнС ГТЕСУ та вибирати найкращу для заданого польотного циклу пасажирського літака.

4. Удосконаленого показника гібридизації ГТЕСУ з ТГвД, який показує досліднику внесок того чи іншого джерела енергії (гас, водень, SAF) у процес отримання загальної кількості доступної електричної енергії (потужності) на валу повітряного гвинта.

5. Методики розрахунку характеристик повітряного гвинта ТГвД у складі ГТЕСУ, що дозволяє досліднику економити час та прогнозувати результати дослідження характеристик ТГвД.

6. Запропонованих рекомендацій щодо побудови раціональної ЕнС ГТЕСУ.

Серед одержаних результатів цікавою є встановлена закономірність, що при збільшенні дальності польоту літака максимум показника гібридизації з урахуванням наявних обмежень зменшується. Тому найбільший вплив ГТЕСУ

на екологічні параметри спостерігається на коротких регіональних маршрутах пасажирських літаків. Крім цього, показано, що при зменшенні показника гібридизації від його максимального значення можливо покращення паливно-економічних параметрів СУ при деякому погіршенні екологічних параметрів. Ці висновки мають практичне значення для проектування літаків та їх СУ.

Основні результати дисертації впроваджені у навчальному процесі НАУ «ХАІ», у науково-технічних дослідженнях в АТ “Івченко-Прогрес”, АТ “Мотор Січ”, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Подальше практичне використання результатів роботи є доцільним в науково-дослідних установах, підприємствах промисловості та авіаційного транспорту України, які займаються проектуванням, виготовленням та модернізацією ГТД з різним рівнем гібридизації.

Оформлення дисертаційної роботи, дотримання вимог академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота Пушилїна Олексія Євгенійовича відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування та напрямкам досліджень відповідної освітньо-наукової програми, є завершеною науковою працею і свідчить про наявність вагомego особистого внеску здобувача.

Дисертаційна робота містить анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг роботи 288 сторінок, з яких: зміст на 5 сторінках, перелік умовних скорочень на 4 сторінках, вступ на 11 сторінках, основний текст на 145 сторінках, список використаних джерел на 36 сторінках (із 315 найменувань). Робота містить 11 таблиць, з яких 3 таблиці на 3 окремих сторінках, 16 рисунків, з яких 3 рисунки на 3 окремих сторінках, 4 додатків на 81 сторінці.

Оформлення дисертації відповідає усім діючим вимогам, всі розділи є логічно зв'язаними і направлені на вирішення поставлених задач, жоден розділ не виділяється з усієї структури роботи, матеріал подано рівномірно. Текст

дисертаційної роботи написаний грамотною мовою, легко сприймається при опануванні, та з коректним використанням технічних термінів.

Дисертаційна робота пройшла перевірку на антиплагіат, яка показала відсутність ознак академічного шахрайства і порушень академічної доброчесності.

Оформлення дисертаційної роботи повністю відповідає усім діючим вимогам, а її автор дотримався вимог академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою на високому науково-технічному рівні, з чіткою логічною структурою та використанням відповідної спеціалізованої термінології у галузі теорії авіаційних двигунів, конструкції теплових двигунів, динаміки польоту літальних апаратів, електрохімічної енергетики, теплофізики та термодинаміки процесів у енергетичній системі ГТЕСУ. Матеріал викладено послідовно і доступно. Робота належним чином ілюстрована рисунками та таблицями, що сприяє сприйняттю результатів.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основний зміст дисертації відображено у восьми наукових статтях (чотири статті опубліковані у закордонних виданнях проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus, чотири статті опубліковані у періодичних наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України), п'яти публікаціях у матеріалах і тезах конференцій, одному патенті України на корисну модель та трьох свідоцтвах України на промисловий зразок.

Публікації Пушилїна Олексія Євгенійовича відповідають сучасному науковому рівню, пройшли рецензування відповідно до вимог видань. Особистий внесок здобувача у публікаціях, виданих у співавторстві, є суттєвим і чітко визначеним. Публікації охоплюють усі основні результати дисертаційного дослідження.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Відзначаючи загалом високий науковий рівень роботи, вважаю за необхідне висловити окремі зауваження:

1. Припущення про зменшення шкідливих викидів при збільшенні частки електричної енергії для схеми з риформінгом гасу може виявитися не таким однозначним, оскільки при риформінгу також утворюються шкідливі викиди.

2. При формулюванні пунктів наукової новизни доцільно було б вказати на основі чого удосконалений показник та метод.

3. При розгляді ефективності застосування ГТЕСУ для різних літаків як ознака обрано пасажиромісткість літака, але краще було би обрати дальність польоту, оскільки саме вона найбільше впливає на величину показника гібридизації.

4. В тексті зустрічаються помилки розмірності параметрів, які зазвичай не впливають на кінцевий результат, оскільки вони використовуються у вигляді співвідношень величин однакової розмірності. Зокрема, іноді вказується, що енергія має розмірність Вт замість Дж («електрична енергія, Вт» на стор. 67, «енергія, витрачена за весь політ, Вт» на стор.74, енергія у формулах (2.4),(2.5) на стор. 115).

Висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичне значення результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновки

Вважаю, що за актуальністю обраної теми, обґрунтованістю наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни, практичною цінністю, повнотою викладання в наукових публікаціях та відсутністю порушень академічної доброчесності дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Пушиліна Олексія Євгенійовича на тему «Метод обґрунтування характеристик енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової

установки для пасажирського літака» відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Пушилін Олексій Євгенійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Рецензент:

Кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри теорії авіаційних двигунів
Національного аерокосмічного
університету
«Харківський авіаційний інститут»

Олег КІСЛОВ