

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Пушилїна Олексія Євгенійовича
«Метод обґрунтування характеристик енергетичної системи гібридної
турбоелектричної силової установки для пасажирського літака»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»

Актуальність і новизна теми

Одним з напрямів розвитку сучасної світової авіації є досягнення жорстких екологічних вимог і стандартів та значного зменшення витрати палива в авіації. Це є **актуальною науково-технічною задачею** і стратегічним напрямком розвитку світових компаній світу для досягнення вуглецевої нейтральності і розвитку регіональної авіації. У зв'язку з цим дисертаційна робота спрямована на покращення паливної та екологічної ефективності гібридної турбоелектричної силової установки (ГТЕСУ) з турбогвинтовим двигуном (ТГВД) для пасажирського літака на основі вдосконалення енергетичної системи (ЕнС) з електричним двигуном (ЕД) та паливними елементами (ПЕ).

Зазначена задача потребує проведення циклу наукових робіт із обґрунтування напрямків покращення характеристик, удосконалення структури методу обґрунтування параметричного обриса, удосконалення методики розрахунку характеристик, удосконалення показника гібридизації і визначення впливу показника гібридизації ЕнС ГТЕСУ з ТГВД на експлуатаційні характеристики та діапазон застосування пасажирських ЛА та індекси емісій. Це визначає **наукову новизну** цієї роботи.

Таким чином, дисертація має значну наукову новизну й значущість та актуальність.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації та їх достовірності

В дисертаційній роботі вирішено **науково-технічну задачу**, яка полягає у розробці гібридної турбоелектричної силової установки для економії палива і зменшення викидів шкідливих речовин.

Найбільш значущим **науковим результатом**, який *уперше* отримано автором і який визначає відповідність дисертації вимогам до рівня кваліфікаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є нові залежності маси та об'єму енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової установки від показника її гібридизації для нових проектів пасажирських літаків вміщенням 20, 50 та 100 пасажирів.

Також, удосконалено метод обґрунтування параметричного обриса гібридної турбоелектричної силової установки пасажирського літака.

Заслуговує на увагу розроблена удосконалена методика розрахунку характеристик енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової

установки з турбогвинтовим двигуном, електричним двигуном та паливними елементами, а також удосконалений показник гібридизації для оцінювання гібридної турбоелектричної силової установки з турбогвинтовим двигуном, електричним двигуном та паливними елементами.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, результатів, висновків і рекомендацій забезпечуються коректним застосуванням загальноновизнаного математичного апарату, несуперечливістю з відомими положеннями теорії авіаційних двигунів, методів імітаційного моделювання, 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.

Впровадження цих підходів при розробці і проектуванні енергетичних систем **надають суттєвого розвитку** відповідній концепції створення силових установок з покращеними функціональними параметрами їх робочого процесу.

Наукові положення і висновки, сформульовані автором дисертаційної роботи, в **достатньому обсязі** віддзеркалюють постановку задачі дослідження та послідовність її вирішення.

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 обрису 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 (очікуваного) ступеня гібридизації ГТЕСУ у складі пасажирського літака на етапах його проектування 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 (газ, водень, SAF) у процес отримання загальної кількості доступної електричної енергії (потужності) на валу ПГ.

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

6. Запропонованих рекомендацій щодо побудови раціональної ЕнС ГТЕСУ.

Основні результати дисертації впроваджені у навчальному процесі НАУ «ХАІ», у науково-технічних дослідженнях в АТ «Мотор Січ» і АТ «Івченко-Прогрес», 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

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.

Оцінка змісту та повнота викладу результатів в опублікованих працях

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.

Основні результати і висновки дисертації представляються достовірними, достатньо обґрунтованими та випробуваними. Автор базує свої

дослідження на детальному кваліфікованому аналізі проблеми та робіт інших дослідників, які виконано у напрямку її вирішення.

В основу методики дослідження покладено самостійне отримання теоретичних та експериментальних даних, досвід попередників, відокремлення значущих факторів, формування математичної структури моделі.

Математичне моделювання виконано на основі відомих випробуваних програмних продуктів, які стали стандартними в сучасних дослідженнях.

Висновки та наведені автором праці в дисертації, повністю відповідають її змісту й отриманим результатам.

Зауваження щодо змісту дисертаційної роботи

1. В п.2.1 за схемами (рис. 2.1-2.3) передбачено впорскування води та подачу водню в камеру згоряння ГТД і показано їх вплив на викиди шкідливих речовин, але нічого не сказано, як ці фактори впливають на параметри робочого процесу та функціональні параметри двигуна. Справа в тому, що ізобарна теплоємність води C_p більша ніж повітря, а нижня теплотворна здатність водню H_u значно більша ніж гасу, що суттєво впливає на кількість підведеного тепла в циклі та його функціональні параметри.

2. На рис.2.6 зображено повздовжній переріз турбовального двигуна. В таких двигунах, зазвичай, реалізується цикл з перерозширенням в турбіні, тобто $P_t < P_n$ і тому, в них встановлюється не сопло, а дифузор. Також, на рисунку не зрозуміло механічний зв'язок вільної турбіни зі споживачем, таке враження, що вал турбокомпресора і вал вільної турбіни – це один вал.

3. В п. 2.6 достатньо поверхнево розглянуто проектування лопаті повітряного гвинта (немає розрахунку її аеродинамічних характеристик). Для математичного моделювання профілю польоту літака достатньо було зробити посилання на відповідну літературу (документацію).

4. При верифікації розрахунку польоту (рис.3.1) не позначена вісь абсцис, а також не зрозуміло, що за позначення А,Б,В,Г,Д,Е.

5. В п.п 4.4.3 представлена зміна конструкції планера для поліпшення його аеродинамічних характеристик та компоновальна схема пасажирського літака з гібридною силовою установкою, але не зрозуміло на підставі чого це зроблено.

6. В роботі бажано було би представити експлуатаційні характеристики гібридної турбоелектричної силової установки при різних показниках гібридизації по відношенню до традиційної силової установки.

Вказані недоліки суттєво не знижують наукову і практичну значущість роботи.

Висновки

Подана до захисту дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому вирішена актуальна науково-практична задача щодо удосконалення методу обґрунтування характеристик енергетичної системи гібридної турбоелектричної силової установки для пасажирського літака.

Враховуючи актуальність обраної теми, обґрунтованість наукових результатів дисертації, їх достовірність та новизну, практичну цінність, повноту викладання в наукових публікаціях та відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертаційна робота відповідає пп. 6, 7, 8, 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, а здобувач Пушилін Олексій Євгенійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри Авіаційного транспорту
Національного університету
«Київський авіаційний інститут»

Сергій ДМИТРИЄВ