

Вченому секретарю спеціалізованої вченої
ради СРД 26.062.05 Національного
авіаційного університету О. Мікосянчик

03058, м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1

В І Д Г У К

офіційного опонента

Головного конструктора з силових установок та систем життєзабезпечення

Державного підприємства «Антонов»

кандидата технічних наук Усенка Вячеслава Юрійовича

на дисертацію Денисюк Олесі Валерійовни на тему:

” Підвищення ефективності гвинтовентилятора газотурбінного двигуна з
надвисоким ступенем двоконтурності ”, що подана на здобуття наукового

ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.05.03 - двигуни та енергетичні установки

Актуальність теми дослідження.

Дисертаційна робота Олесі Валеріївни присвячена вирішенню науково-прикладної задачі щодо розробки науково-методичного апарату для оцінки ефективності закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності.

Відомо, що ефективність і економічність літального апарату, в основному, визначаються параметрами і характеристиками силової установки.

Ефективність авіаційного двигуна оцінюється рядом параметрів, у тому числі силою тяги та коефіцієнтом корисної дії, а економічність оцінюється питомою витратою палива.

З метою забезпечення підвищення економічності та ефективності світові розробники постійно удосконалюють авіаційні двигуни. Одним з можливих технічних рішень забезпечення високих характеристик перспективних двигунів з надвисоким ступенем двоконтурності є використання закапотованого гвинта або гвинтовентилятора. Також, використання закапотованого гвинтовентилятора дозволяє зменшити його акустичне випромінювання.

Об'єктивне протиріччя між рівнем сучасних вимог до значень параметрів та характеристик гвинтовентилятора силової установки та обмеженими можливостями існуючого науково-методичного апарату для забезпечення підвищення ефективності закапотованого гвинтовентилятора силової установки, ставить актуальну науково-прикладну задачу, що розглянута здобувачем.

Саме тому тема дисертації є актуальною та практично значимою для удосконалення існуючих та розробки нових силових установок з використанням закапотованого гвинтовентилятора.

О.В. Денисюк коректно визначила мету дисертаційної роботи - створення науково-методичного апарату для вирішення задачі підвищення ефективності гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності шляхом використання капоту.

Для досягнення мети роботи, що визначена, достатньо коректно поставлені і вирішені ряд наукових задач.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дана дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, що проводяться ДП «Івченко-Прогрес», ДП «Антонов» спільно з науковими установами Міністерства оборони України, Міністерства освіти і науки

України та спрямовані на підвищення рівня ефективності силових установок літальних апаратів і пошук нових методів аеродинамічного вдосконалення лопаткових вінців гвинтовентиляторів для двигунів з надвисоким ступенем двоконтурності.

Робота відповідає напрямам Стратегії відродження вітчизняного авіабудування на період до 2030 року, що схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 липня 2020 р. № 851-р та Державній цільовій наукової технічній програмі розвитку авіаційної промисловості на 2021-2030 рр., що затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 951 від 1 вересня 2021.

Наукова новизна одержаних у дисертації результатів.

1. Вперше розроблено науково-методичний апарат для забезпечення підвищення ефективності закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності, що включає в себе:

- науково-обґрунтовані рекомендації щодо тягових характеристик відкритого та закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності;

- удосконалену методику проектування закапотованого гвинтовентилятора газотурбінного двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності;

- оцінку урахування опору капоту гвинтовентилятора при розрахунку ефективної сили тяги закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності.

2. Отримала подальший розвиток теорія теплових двигунів у напрямку розрахунку параметрів та характеристик відкритих та закапотованих гвинтовентиляторів для газотурбінних двигунів з надвисоким ступенем двоконтурності.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність

забезпечується коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених наукових задач та підтверджується хорошим узгодженням результатів розрахункових досліджень з результатами фізичних експериментів та досліджень інших авторів, виконаних за апробованими методикам

Теоретичне значення результатів дисертації полягає у впровадженні математичного апарату моделювання газодинаміки потоку з використанням програмного середовища ANSYS CFX у відкритому та закапотованому гвинтовентиляторі силової установки шляхом створення геометричної моделі об'єкту дослідження, генерації скінчено – елементної структурованої сітки і рішення рівнянь Нав'є-Стокса з використанням двошарової SST моделі турбулентної в'язкості та показано можливість оцінки урахування опору капоту гвинтовентилятора при розрахунку ефективної сили тяги закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що застосування розробленого науково-методичного апарату в практиці створення авіаційних двигунів із відкритими та закапотованими гвинтовентиляторами дозволить підвищити ефективність гвинтовентилятора газотурбінного двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності

Практичне значення отриманих результатів підтверджується Актом впровадження результатів, що одержані в дисертаційній роботі, на ДП «Івченко – Прогрес» та ДП «Антонов».

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях відповідає вимогам Міністерства освіти та науки України щодо кваліфікаційних наукових робіт, що подані на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Результати роботи достатньо повно викладено в 5 наукових статтях, опублікованих у журналах, що входять до переліку фахових видань, в тому числі у 1 статті, що індексується наукометричною базою Scopus, у розділі зарубіжної монографії, 2 свідоцтвах України на промисловий зразок та 8 тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації.

Подання матеріалу дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти та науки України. Дисертацією є рукопис, що складається з вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел та 3 додатків.

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, показані основні положення наукової новизни, практичної цінності роботи, а також дані про публікації та апробацію роботи.

У першому розділі проведено аналіз попередніх досліджень щодо підвищення рівня технічної досконалості з одночасним зниженням питомої витрати палива. Проведений аналіз тенденцій розвитку авіаційного двигунобудування показує, що в ближній перспективі підвищення ефективності двигуна, як теплової машини, можуть забезпечити ТРДД з надвисоким ступенем двоконтурності. Визначені недоліки перспективних ТРДД з надвисоким ступенем двоконтурності та шляхи їх усунення.

Показано, що застосування закапотованого гвинтовентилятора для підвищення ефективності перспективних ТРДД з надвисоким ступенем двоконтурності є перспективним.

Показано, що до теперішнього часу питання розробки науково-методичного апарату для забезпечення підвищення ефективності закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності залишаються до кінця не розкритими.

Визначена мета дослідження і основні завдання для її досягнення.

У другому розділі проаналізовано основні методи дослідження течії у відкритих та за капотованих гвинтовентиляторах. Автором показано, що важливе місце займають експериментальні методи дослідження, але вони мають ряд недоліків, що приводять до неможливості і нерациональності використання їх на етапах розробки і модернізації відкритих та закапотованих гвинтовентиляторів. Експериментальні методи доцільно використовувати на останніх етапах доводки відкритих та закапотованих гвинтовентиляторів. Показано, що метод чисельного експерименту дозволяє досліджувати характеристики відкритих та закапотованих гвинтовентиляторів при будь-яких режимах роботи з будь-якими геометричними характеристиками, має високу точність і надійність. Важливими етапами чисельного експерименту є вибір розрахункової сітки та моделі турбулентної в'язкості. В результаті проведених тестових задач моделювання течії у компресорних решітках і відкритому гвинтовентиляторі двигуна Д-27 для наступних досліджень течії у відкритому та закапотованому гвинтовентиляторі обрано модель турбулентної в'язкості SST Ментера, що показала себе надійною і не вимогливою до обчислювальної потужності.

Третій розділ присвячений дослідженням щодо удосконалення методики аеродинамічного проектування закапотованого гвинтовентилятора турбореактивного двоконтурного двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності. Показано, що методика дозволяє проектувати лопатковий вінець закапотованого гвинтовентилятора з урахуванням заданих параметрів газогенератора, проводити вибір кількості лопатей та оцінювати його характеристики. Отримані залежності сили тяги від числа Маха на вході для відкритого та закапотованого гвинтовентилятора показують, що збільшення лопатей з 8 до 14 приводить до зростання сили тяги як в закапотованому, так і у відкритому гвинтовентиляторі на крейсерському режимі роботи та на землі. Збільшення кількості лопатей в закапотованому гвинтовентиляторі з 8 до 14 дозволяє збільшити силу тяги гвинтовентилятора до 57 % на

крейсерському режимі роботи і до 48% на режимі роботи на землі. Аналіз отриманих залежностей сили тяги від числа Маха на вході для закапотованого і відкритого гвинтовентилятора на крейсерському режимі роботи показує, що капот дає суттєвий приріст у тязі від 23,2% до 69,2%. Найбільший відносний приріст у тязі в закапотованому гвинтовентиляторі спостерігається у 8-ми лопатевого гвинтовентилятора і сягає до 69,2%. Аналіз отриманих залежностей сили тяги від числа Маха на вході для закапотованого і відкритого гвинтовентилятора на режимі роботи на землі показує, що капот дає суттєвий приріст у тязі від 28,8% до 77,2%. Як і для крейсерського режиму роботи гвинтовентилятора на висоті $H=11$ км найбільші значення сили тяги для відкритого та закапотованого гвинтовентилятора спостерігаються для частоти обертання 1650 об/хв. для гвинтовентилятора, який має 14 лопатей. Найбільший відносний приріст у тязі в закапотованому гвинтовентиляторі спостерігається у 8-ми лопатевого гвинтовентилятора і сягає до 77,2%. При роботі на землі ККД знижується. При збільшенні частоти обертання ККД закапотованого гвинтовентилятора збільшується. Найбільші значення ККД має гвинтовентилятор з 14 лопатями. При роботі на землі $H=0$ км при збільшенні кількості лопатей від 8 до 14 ККД збільшується від 0,47...0,79 до 0,5...0,83 в розглянутому діапазоні чисел Маху $M=0,5...0,8$ і частоті обертання ротора від 1650 об/хв. до 1500 об/хв. При роботі на крейсерському режимі роботи на висоті $H=11$ км при зменшенні кількості лопатей від 14 до 8 ККД зменшується від 0,62...0,85 до 0,58...0,77 в розглянутому діапазоні чисел Маху $M=0,5...0,8$ і частоті обертання ротора від 1650 об/хв. до 1500 об/хв. Тобто, закапотований гвинтовентилятор з 14 лопатями є більш ефективним, ніж закапотований гвинтовентилятор з 8 лопатями. Якісний характер зміни обтікання при зміні кількості лопатей демонструє візуалізація ліній струменя при обтіканні відкритого і закапотованого гвинтовентилятора. При обтіканні відкритого гвинтовентилятора можна відмітити особливість, що має місце при обтіканні всіх трьох досліджуваних варіантів – вихрові сліди за лопатями в периферійній частині. Візуалізація ліній струменя при обтіканні

закапотованого гвинтовентилятора має схожий характер обтікання. На периферії наявні зони підвищеної швидкості, однак при цьому не спостерігається зон з вихроутвореннями.

У четвертому розділі проведені дослідження та оцінка впливу опору капоту гвинтовентилятора при розрахунку ефективної тяги закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності.

Показано, що капот впливає на зниження сили тяги.

Сила опору закапотованого гвинтовентилятора на землі набагато більша, ніж на висоті крейсерського польоту $H=11$ км і складає до 29% при $H=0$ км від тяги гвинтовентилятора, на висоті $H=11$ км – до 15,3%.

Результати дослідження показали, що для режиму на землі при досліджених частотах обертання від 1500 об/хв. до 1650 об/хв. і діапазоні числа Маха на вході від 0,5 до 0,8, опір становить від 6,9 до 29,3% від сили тяги закапотованого гвинтовентилятора. Для режиму роботи на висоті $H=11$ км значення сили опору та процентне відношення зменшуються на відміну від роботи закапотованого гвинтовентилятора на землі. При досліджених частотах обертання від 1500 об/хв. до 1650 об/хв. і діапазоні числа Маха на вході від 0,55 до 0,8, опір становить від 6,3 до 15,3% від сили тяги закапотованого гвинтовентилятор

Змісту рукопису, предмет та об'єкт досліджень, отримані наукові та практичні результати підтверджують, що дисертаційна робота Денисюк О.В. відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, з яких присуджується науковий ступінь кандидата технічних наук.

Матеріали дослідження викладено логічно, послідовно і технічно грамотно.

Запозичень без посилань на джерело та автора не виявлено.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації, містить основні положення і результати досліджень та дозволяє достатньо повно оцінити новизну та практичне значення дисертаційної роботи.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту роботи:

1. У роботі проведено дослідження характеристик відкритого та закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності при зміні параметрів польоту (число M та висоти). Доцільно було розглянути вплив інших факторів на характеристики відкритого та закапотованого гвинтовентилятора двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності, наприклад кута атаки, ковзання та нестационарності потоку на вході.

2. У роботі при математичному моделюванні відкритого і закапотованого гвинтовентилятора розглянуто одну геометричну форму лопаті гвинтовентилятора та капоту. Доцільно було б оцінити зміну впливу на основні характеристики силової установки з закапотованим і відкритим гвинтовентилятором інших варіантів геометричної форми лопатей і капоту.

3. Відомо, що основними напрямками підвищення ефективності ГТД є зниження питомої витрати палива, зменшення шкідливих викидів та акустичного випромінювання. Саме тому важливим є комплексна оцінка впливу цих трьох факторів на ефективність силової установки. Результати математичного моделювання, що проведені дозволяють оцінити рівень акустичного випромінювання гвинтовентилятора. Але це не є предметом дослідження роботи і може бути подальшим напрямом досліджень здобувача.

Викладені зауваження носять рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку, наукову новизну та практичну цінність результатів дисертаційної роботи.

Висновок про дисертацію в цілому та відповідність її вимогам МОН України. Дисертація Денисюк О.В. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові наукові результати, що вирішують поставлені науково – прикладні задачі.

В цілому, дисертаційна робота О.В. Денисюк ” Підвищення ефективності гвинтовентилятора газотурбінного двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності ”, за актуальністю, змістом, науковою новизною, обґрунтованістю висновків і їх практичною важливістю, обсягом і одержаними науковими та практичними результатами, а також за особистим внеском автора, відповідають паспорту і профілю спеціальності 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки і нормативним вимогам до кандидатських дисертацій, відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 що визначені у Положенні ДАК МОН України про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань» і «Основних вимогах до дисертацій та авторефератів дисертацій», а її автор Денисюк Олеся Валерійовна заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент

Головний конструктор з силових установок і систем життєзабезпечення
Державного підприємства «Антонов»
кандидат технічних наук

Вячеслав УСЕНКО

” 18 ”

10

2023 р

