

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Богданова М.Ю.**
на тему «**Методика визначення параметрів адаптивної системи
газодинамічного впливу на відривну течію в ступенях осьових
вентиляторів**», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю
05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Представлена дисертаційна робота виконана Богдановим М.Ю. на 150 сторінках основного тексту і переліку використаних джерел із 154 найменувань на 16 сторінках, автореферат – на 19 сторінках.

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Зменшення кінцевих врат в осьових вентиляторах дозволяє не лише підвищити їх ККД, але і досягти істотного зниження безпосередньо пов'язаного з кінцевими ефектами рівня шуму вентиляторів. Враховуючи широке використання осьових вентиляторів, як в авіаційній техніці, так і для потреб промисловості, дослідження одного з можливих шляхів зниження кінцевих врат в лопаткових апаратах осьових вентиляторів є, безумовно, актуальною науковою задачею.

У першому розділі роботи, який присвячений постановці задачі дослідження, проведено вичерпний огляд сучасного стану, та шляхів аеродинамічного вдосконалення осьових вентиляторів. Було показано, що найбільш перспективними методами зниження кінцевих врат в осьових вентиляторах є системи газодинамічного керування вихровими течіями активного типу. Отже, дисертаційна робота, яка присвячена створенню математичного і методичного апарату для розрахунку параметрів та характеристик адаптивної системи впливу на вихрові течії у проточній частині вентиляторів представляє великий науковий і практичний інтерес для транспортного і промислового машинобудування.

Обґрунтованість і достовірність основних наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість запропонованої методики базується на ряді наукових положень, які мають теоретичне і експериментальне підтвердження, а в основу розроблених математичних моделей покладені відомі закони газової динаміки і акустики.

Достовірність одержаних результатів підтверджується використанням сучасних методів обчислювальної аеродинаміки, визнаних науковим співтовариством, та експериментальними даними, одержаними на газодинамічному стенді при виконанні експериментальних випробувань модельного осьового вентилятора.

Наукова повнота дисертаційної роботи

У дисертаційній роботі вперше обґрунтовано доцільність застосування адаптивної газодинамічної системи для зменшення інтенсивності кінцевих

вихрових течій, що є одним з перспективних способів підвищення ефективності осьових вентиляторів у широкому діапазоні їх експлуатаційних режимів роботи.

Вперше була розроблена методика розрахунку параметрів та характеристик адаптивної газодинамічної системи керування вихровими течіями, яка може бути рекомендована для використання при проектуванні сучасних і перспективних вентиляторів провідними КБ України.

Наукову новизну представляє також і сама конструктивна схема осьового вентилятора високої ефективності зі спрямляючими лопатками з рециркуляцією примежового шару, що була досліджена в роботі, і яка може бути рекомендована для використання на сучасних малорозмірних ЛА.

Новими є також нові закономірності зміни енергетичних параметрів ступеня осьового вентилятора із застосуванням адаптивної системи керування вихровими течіями, що були виявлені під час експериментальних досліджень.

Практичне значення отриманих результатів

У дисертаційній роботі запропоновано методику розрахунку параметрів та характеристик адаптивної системи керування вихровими течіями, що забезпечує пришвидшення процесу розрахунку комплексного акустичного резонатору.

Спроектовано осьовий вентилятор для малорозмірних ЛА, що дозволяє розширити експлуатаційний діапазон безпілотних літальних апаратів цивільного та військового призначення.

Розроблено спрямляючі лопатки з керуванням вихровими течіями шляхом рециркуляції примежового шару, які можуть бути використані в сучасних осьових вентиляторах.

Спроектовано та створено випробувальний стенд для дослідження впливу адаптивної системи на характеристики ступеня осьового вентилятора, який може бути рекомендовано для подальших наукових досліджень та впровадження в навчальному процесі «Національного авіаційного університету».

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях

Результати дисертаційної роботи достатньо повно представлені в різних науково-технічних друкарських виданнях. Так, за темою дисертації опубліковано 13 друкованих праць, у тому числі 6 наукових праць у виданнях, що входять до переліку фахових видань ДАК МОН України з технічних наук, з яких 4 публікації у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз, та 7 тез доповідей.

Аналіз змісту дисертації

В першому розділі відповідно до мети та завдань дисертаційної роботи формується уявлення про предмет дослідження. Проведено огляд і аналіз опублікованих експериментальних і чисельних досліджень існуючих шляхів зниження кінцевих втрат в ступенях осьових вентиляторів. Розглянуті методи та програмні пакети розрахунку тривимірного потоку в лопаткових вінцях ступенів ОВ. Показано, що для зменшення рівня кінцевих втрат необхідно застосовувати комплексний підхід, оскільки усі з досліджених методів впливу на газодинаміку

течії характеризуються обмеженим діапазоном можливого застосування. Визначені шляхи та методи вирішення поставлених в дисертації задач.

В другому розділі роботи розглянуто особливості методики CFD - моделювання ступеня ОВ, представлено математичні залежності визначення зміни значень основних показників роботи ступеня, визначено особливості налаштування розрахункової сітки та встановлено граничні умови розрахунку ступеня осьового вентилятора з використанням системи рівнянь газової динаміки у формі усереднених по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса.

В роботі були отримані теоретичні залежності для визначення коефіцієнту імпульсу вдуву, що є одним із основних параметрів, який характеризує ефективність активного керування відривними та вихровими течіями.

Вирішення багатofакторної задачі стало можливим з використанням методів комп'ютерного аналізу та створення спеціальної методики визначення геометричних параметрів комплексного акустичного резонатору, яка може бути узагальнена на інші аеродинамічні компонування.

Для досягнення конкретних результатів за визначенням ефективності адаптивної системи керування відривними течіями автор використовує сучасні програмні комплекси, такі як «ANSYS», «SolidWorks», «Mathcad» та «OriginPro».

Таким чином, поставлену задачу створення сучасної методики визначення параметрів адаптивної системи газодинамічного впливу на вихрові течії в ступенях осьових вентиляторів здобувач вирішує на досить високому науково-технічному рівні.

У третьому розділі представлена методика розрахунку параметрів та характеристик елементів коливального контуру адаптивної системи, визначення аналогії між акустичними та електричними елементами систем.

У розділі приведена розробка узагальнених залежностей та формування математичної моделі адаптивної системи, що представлена у вигляді акустичної моделі з рушійним елементом та еквівалентного їй електричного коливального контуру.

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у розробці узагальнених залежностей і визначення впливу спрямляючих лопаток з рециркуляцією прилеглового шару на аеродинамічні характеристики ступенів осьових вентиляторів.

Четвертий розділ роботи містить опис конструкції експериментального газодинамічного стенду для дослідження характеристик осьового вентилятора з адаптивною системою керування вихровими течіями і системи вимірів, методику проведення експериментальних досліджень, обробки результатів та оцінку похибок експериментальних даних.

У п'ятому розділі роботи представлені результати порівняльних експериментальних і чисельних досліджень "базового" ступеня та ступеня ОВ з акустичним резонатором при розрахунковому і зривному режимах роботи, а також результати дослідження ступеня ОВ із застосуванням адаптивної системи при зривному режимі роботи.

Отримано розподіли значень параметрів повного тиску та осьової швидкості ступеня ОВ на номінальному та зривному режимах. Визначено особливість роботи "базового" ступеня ОВ на номінальному режимі, що полягає в періодичному формуванні "М-подібних" піків значень параметрів повного тиску та осьової швидкості. Встановлено появу низькочастотної складової коливань при зривному режимі роботи ступеня ОВ.

Проведено оцінку зміни роботи ступеня ОВ з резонатором при розрахунковому режимі, що полягає в збільшенні амплітуди коливань значень повного тиску та збільшення середнього значення осьової швидкості. Автором було показано, що застосування резонатору при розрахунковому режимі роботи ступеня ОВ призвело до збільшення значення ККД ступеня на 16% та тяги на 11,5% в порівнянні з базовим ступенем.

Показано, що при зривному режимі роботи ступеня ОВ з резонатором, останній акумулював високочастотну складову параметрів повного тиску та осьової швидкості тим самим провівши перерозподіл їхніх значень, що призвело до підвищення ККД на 7,69% та тяги 2,4%.

Результати дослідження ступеня ОВ з адаптивною системою зменшення рівня кінцевих втрат характеризуються зменшенням амплітуди високочастотних та низькочастотних коливань значень повного тиску і осьової швидкості в порівнянні з ступенем ОВ з резонатором та з базовим ступенем. Показано, що застосування адаптивної системи при зривному режимі роботи ступеня осьового вентилятора, призводить до приросту значень ККД ступеня на 10,5 % та тяги на 16,25 %.

Зауваження по роботі:

1. Не розшифровані величини, що входять до формул, які були приведені в першому розділі, тому у ряді випадків не можливо оцінити коректність приведених залежностей.
2. Наведена в розділі 1 формула для внутрішнього ККД вентилятора (стор. 23) представляється ні зовсім некоректною, як і саме визначення внутрішнього ККД стосовно осьового вентилятора.
3. З другого розділу дисертаційної роботи не ясно, з використанням якої методики було виконано профілювання досліджуваного осьового вентилятора, і з яких міркувань був виконаний вибір геометрії складної стрілоподібності лопаток робочого колеса, а також комбінація складної стрілоподібності та складного навалу лопаток спрямляючого апарату.
4. Не зрозуміло, з яких міркувань була вибрана область та характер розташування отворів вдува (відсмоктування) повітря для дослідженої системи зниження кінцевих втрат на поверхнях лопаток спрямляючого апарату і чи є таке розташування отворів оптимальним.
5. Розмірність розрахункової сітки використаної автором для CFD-моделювання осьового вентилятора представляється не достатньою, у зв'язку з чим, виникає сумнів в точності результатів чисельного моделювання. При цьому в роботі не приведені результати тестування CFD-моделі за наявними експериментальними даними.

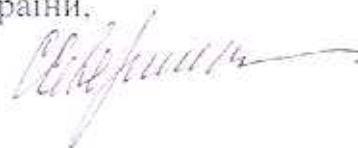
6. Не ясно, чому для розрахунку характеристик адаптивної системи була використана модель електричної аналогії (розділ 3), а не пряме газодинамічне моделювання (CFD - моделювання або експеримент).
7. Методика експериментального визначення ККД модельного ступеню осьового вентилятора представляється не досить точною, оскільки величина крутячого моменту на валу вентилятора визначається непрямим методом з використанням ряду залежностей, що містять емпіричні константи, вибір значень яких не цілком обґрунтований. В даному випадку, було б доцільно аналізувати відносну величину ККД вентилятора віднесено до його базового значення.
8. На жаль, приведені в дисертаційній роботі результати чисельних і експериментальних досліджень не досить повно розкривають фізичний механізм газодинамічного впливу на кінцеві вихрові структури в ступені ОВ.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Не дивлячись на приведені зауваження представлена дисертаційна робота є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності є важливим кроком для подальшого розвитку сучасного двигунобудування. Оформлення дисертації в цілому відповідає діючим нормативним документам. Зміст автореферату відповідає до основних положень викладених в дисертації. Дисертаційна робота показує, що її автор, Богданов М.Ю., є достатньо підготовленим фахівцем в області гідрогазодинаміки та обчислювальної техніки, здатним вирішувати складні задачі у галузі газової динаміки лопаткових машин. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, а також вимогам, які висуваються до кандидатських дисертацій за пунктами 9, 11-13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а автор роботи, Богданов Микола Юрійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

старший науковий співробітник
відділу високотемпературної термогазодинаміки
Інституту технічної теплофізики НАН України,

кандидат технічних наук, с.н.с.



С.Д. Северін



ВІДГУК

офіційного опонента Дихановського Віктора Миколайовича на основі вивчення дисертації Богданова Миколи Юрійовича "Методика визначення параметрів адангивної системи газодинамічного впливу на відривну течію в ступенях осьових вентиляторів", поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 "Двигуни та енергетичні установки", та праць, опублікованих за темою дисертації

Одним з важливих елементів силових установок сучасних авіаційних транспортних засобів є осьовий вентилятор, який широко використовується в якості рушія на пілотованих і безпілотних літальних апаратах. Незамінним був би вентилятор також і для наземної техніки. Однією з важливих вимог, що висуваються до вентиляторів, є забезпечення газодинамічної стійкості їх роботи в широкому діапазоні експлуатаційних режимів. Значний вплив на газодинамічну стійкість вентиляторів мають умови обтікання периферійної частини допідкового вінця.

Відома значна кількість досліджень, у напрямі забезпечення газодинамічної стійкості вентиляторів в широкому діапазоні експлуатаційних режимів. Але, не дивлячись на ґрунтовність відпрацювання цієї науково-технічної галузі, залишається недослідженою низка питань. Зокрема, недостатньо дослідженими є питання зі зменшення рівня кінцевих втрат, обумовлених вихровими течіями у проточній частині вентиляторів. Одним з напрямків досліджень є застосування методів активного та пасивного впливу на периферійну течію вентилятора.

Виходячи з цього, тема дисертаційної роботи є актуальною та має важливе науково-практичне значення. Тематика роботи відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 - "Двигуни та енергетичні установки".

З огляду на потребу дослідження течії газу через вентилятор у якості дослідницького інструменту автор обрав обчислювальний експеримент, в основу якого було покладено систему рівнянь Нав'є-Стокса для течії

в'язкого, стисливого, теплопровідного газу. Це дозволило автору отримувати достовірні результати.

Розроблена автором методика визначення параметрів адаптивної системи газодинамічного впливу на відривну течію в ступенях осьових вентиляторів ґрунтується на аналогії між акустичними та електричними системами. Це дозволило використати простий і надійний математичний апарат для опису роботи адаптивного акустичного резонатора, який запропонований автором для підвищення ефективності ступенів осьових вентиляторів.

Здобувач в цілому дає правильну оцінку значущості його праці для науки й практики. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена автором методика дозволяє на 7% підвищити ККД вентилятора і на 4,5% його тягу.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректністю використання широковідомого математичного апарату, а також задовільним узгодженням результатів розрахункових та експериментальних досліджень автора.

Основні наукові результати дисертаційної роботи в повній мірі викладені у шести наукових статтях, опублікованих у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Додатково результати дисертаційної роботи викладені в тезах доповідей на семи конференціях.

Автором одержано низку нових наукових результатів, серед яких:

- 1). Вперше обґрунтовано доцільність застосування адаптивної системи для зменшення рівня кінцевих вихрових течій.
- 2). Вперше розроблено методику розрахунку параметрів та характеристик адаптивної системи.
- 3). Вперше отримано узагальнені залежності для розрахунку параметрів та характеристик адаптивної системи.

4). Вперше проведено оцінку зміни параметрів ефективності ступеня осевого вентилятора із застосуванням адаптивної системи.

За своїм змістом дисертаційна робота побудована методично правильно й має завершений вид. Зміст автореферату в достатній мірі відбиває основні положення дисертаційної роботи.

До недоліків роботи слід віднести:

1. У своїх дослідженнях автор намагається впливати на відривну течію в той час, коли було б доцільніше зосередитися на недопущенні відриву потоку.

2. Описуючи свій особистий внесок до статей, що були надруковані у співавторстві, автор згадує також статті, які надруковані без співавторів.

3. Некоректно вживається термін "спрямні лопатки", адже його прийнято вживати для перухомих лопаток турбіни, а не вентилятора.

4. Рисунки 3.1.1 і 3.2.2 мають неразбірливі позначення.

5. Рисунок 3.2.10 дисертації відрізняється від відповідного рисунку в авторефераті.

6. Некоректно прирівняні формули (4.2.14 – механічна потужність) та (4.2.15 – електрична потужність). Тут не враховано відмінність електричної потужності від механічної, що повинно відображатись через ККД електродвигуна.

Вказані недоліки не зменшують наукову та практичну цінність одержаних результатів.

Дисертація "Методика визначення параметрів адаптивної системи газодинамічного впливу на відривну течію в ступенях осевих вентиляторів" є завершеним дослідженням, виконаним на актуальну тему, містить отримані автором нові науково обґрунтовані результати, які у сукупності розв'язують наукове завдання щодо підвищення ефективності ступенів осевих вентиляторів із застосуванням адаптивної системи газодинамічного впливу на відривну течію в широкому діапазоні їх експлуатації. Робота виконана на достатньому науковому рівні, автор володіє методологією досліджень. В

цілому дисертація відповідає п.п. 9, 11, 13, 14 "Порядку присудження наукових ступенів", а її автор, заслуговав на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 "Двигуни та енергетичні установки".

Офіційний опонент
заступник голови Секції прикладних проблем
Президії Національної академії наук України,
доктор технічних наук, старший науковий співробітник

В.М. Дихановський

17.02.2016

Підпис В.М. Дихановського
засвідчую
Начальник Секретаріату Президії
національної академії наук України

17.02.2016