

ВІДГУК
офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Тертишного Ігоря Михайловича**

«Удосконалення конструкції блоково-комплектних турбокомпресорних агрегатів з газотурбінним приводом для компресорних станцій магістральних газопроводів» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини і турбоустановки

1. Актуальність і новизна теми

Актуальність удосконалення газотранспортного устаткування, серед якого головне місце посідають турбокомпресорні агрегати (ТКА), визначила вибір напрямку дослідження дисертаційної роботи. Головним чинником, що стимулює розвиток цього напрямку, є недосконалість методів узгодження характеристик газотурбінного привода і відцентрового компресора.

Актуальність теми дисертації є наслідком:

- великого значення газотранспортних систем у розвитку економіки та суспільства взагалі;
- підвищенні складності газотранспортних систем та зростання кількості чинників, що впливають на їх ефективність;
- необхідності урахування впливу основних і допоміжних систем на ефективність агрегата під час проектування та експлуатації;
- зростання матеріальних витрат, спричинених неузгодженістю агрегатів, внаслідок зростання ціни природного газу.

Новизна теми визначається недостатньою опрацьованістю критеріїв та методів, які забезпечують опис та розв'язання проблеми аналізу роботи та узгодження режимів турбокомпресорного обладнання.

Таким чином, тема дисертації має значну наукову і практичну актуальність, а об'єкт дослідження має новизну.

Актуальність роботи також підтверджується тим, що вона виконана у рамках програм Енергетичної стратегії України.

2. Значущість для науки і практики

Найбільш значущим **науковим результатом**, який отримано автором і визначає відповідність дисертації вимогам до кандидатського рівня, є суттєве удосконалення критеріїв термодинамічного аналізу турбокомпресорних агрегатів на основі ексергетичного підходу із урахуванням впливу усіх систем ТКА, які споживають та виробляють енергію.

На основі цього результату автором поновлено методики вибору ефективних схем агрегатів, оптимальних режимів сумісної роботи газотурбінного привода та відцентрового компресора, профілювання проточної частини відцентрового компресора.

Практичні результати дисертаційної роботи.

Результати досліджень є новою методичною основою проектування турбокомпресорних агрегатів із обґрунтованим узгодженням характеристик обладнання, що входить до їх складу.

У роботі наведено приклади застосування запропонованого методу, критеріїв та моделей до ряду завдань проектування ТКА.

Основні результати вже пройшли практичну перевірку і впроваджені в Сумському виробничому об'єднанні (СМНВО) при проектуванні перспективного агрегата.

3. Обґрунтованість і достовірність результатів

Основні результати і висновки дисертації є достовірними, добре обґрунтованими і випробуваними.

Автор базує свої дослідження на основоположних законах термодинаміки, методах експериментального та чисельного аналізу.

Достовірність результатів доведена чисельними порівняльними розрахунками, виконаними для різних об'єктів.

В роботі використано експериментальні дані, отримані на випробувальних стендах провідних підприємств галузі – ДП «Івченко-Прогрес», АТ «Мотор Січ», СМНВО, взяті зі статей і монографій, опублікованих у відомих вітчизняних і закордонних виданнях. Тому вірогідність експериментальних даних не викликає сумніву.

Висновки, приведені автором в дисертації, повністю відповідають її змісту і отриманим результатам.

4. Повнота викладення дисертації в публікаціях

Результати дисертаційної роботи опубліковано в період з 2010 р. по 2018 р. у 11 статтях у фахових виданнях, 1 статті в іноземному журналі, а також у 5 тезах доповідей. Результати дисертаційних досліджень доповідалися на шести наукових конференціях в Україні та за кордоном.

Аналіз публікацій дозволяє дійти висновку, що всі основні результати дисертації опубліковані та відомі широкому колу профільних вчених.

5. Оформлення дисертації та автореферату

Оформлення дисертації та автореферату відповідає встановленим вимогам, за винятком зауважень, наведених нижче.

Автореферат достатньо повно викладає зміст дисертації, її структуру і основні результати.

6. Зауваження

1. У роботі недостатньо глибоко виконано аналіз літературних джерел авторів із дальнього зарубіжжя. Основна частина містить тільки два посилан-

ня на праці закордонних авторів. Ще декілька посилань є у додатках. Це ускладнює оцінку рівня наукової актуальності роботи, тому що автор посилається досягнутий рівень параметрів західних ТКА, і цей рівень вище, ніж у ТКА, що розроблено в Україні.

2. Розділ 1 роботи, значний по об'єму, присвячений аналізу особливостей конструкції об'єктів дослідження. В цьому розділі доцільно було б більш детально розглянути методи оцінки ефективності ТКА, а матеріали по аналізу особливостей конструкції агрегатів перенести в додаток до дисертації, а не навпаки.

3. Формульовання пунктів 1, 2, 3, 4 наукової новизни даної роботи мають деяку подібність до формульовань пунктів 2, 3, 3, 5, 9 докторської дисертації наукового керівника Парафійника В.П. Тому в тексті роботи (наприклад, у висновках за розділами дисертації) слід було б навести достатньо інформації для того, щоб визначити відмінності цих положень.

4. Розділ 1 роботи, значний по об'єму, присвячений аналізу особливостей конструкції об'єктів дослідження. В цьому розділі доцільно було б більш детально розглянути методи оцінки ефективності ТКА, а матеріали по аналізу особливостей конструкції агрегатів перенести в додаток до дисертації, а не навпаки.

5. В розділі 2.3 автор пропонує як показник паливної ефективності ТКА використовувати коефіцієнт витрати $K_{\text{ТГ}} = \frac{G_{\text{ТГ}}}{G_{\text{КГ}}\Psi_{\Pi}^P}$, де Ψ_{Π} – політропний напір; Ψ_{Π}^P – політропний напір на розрахунковому режимі роботи. Автор вважає цей показник новим. Неясно, які переваги цей показник має порівняно з питомою витратою палива. Адже ж знаменник наведеного виразу – це ефективна потужність стискування газу. Тому, якщо убрati із зазначеного виразу постійний множник Ψ_{Π}^P , то воно дорівнює питомій витраті паливного газу. Крім того, цей показник не відповідає прийнятій автором ексергетичній концепції аналізу ефективності, тому що як корисний результат роботи ТКА ураховує лише стискування газу.

6. В розділах 2,3 роботи сформульовано методичні підходи до термодинамічного аналізу енерготехнологічних схем і робочого процесу ТКА для лінійних і дотискувальних агрегатів магістральних газопроводів. Це дозволило одержати новий робочий інструмент для проектантів нових агрегатів з ВК різних типів. Але при викладенні цієї частини роботи не показано, які конкретні конструкторські завдання можуть вирішуватися в процесі створення облаштування, зокрема відцентрових компресорів, з використанням результатів, одержаних в дисертації.

7. Виходячи з аналізу характеристик, наведених на рис. 3.13, робиться висновок про те, що рівень ефективності першого відцентрового компресора (спроектованого кафедрою КВХТ) вище, ніж у другого компресора (спроектованого ДП «Івченко-Прогрес»). З рис. 3.13 це не слідує, тому що максима-

льне значення ККД і мінімальне значення витрати на рис. 3.13,б краще, ніж на рис. 3.13,а.

8. Як головну мету аналізу характеристик ТКА автор розглядає підвищення максимального значення ексергетичного ККД і зниження мінімального значення коефіцієнту витрати паливного газу. Однак на протязі часу експлуатації агрегат працює не на тому режимі, який призначив проектант, а на тому режимі, який визначається споживачами перекачуваного газу. Можливість зміни режимів роботи агрегата і відповідна циклограмма не ураховуються, що знижує практичну значущість результатів.

9. В розд. 3 и 4 під час аналізу оптимального режиму роботи ТКА автор використовує як показник узгодженості роботи ГТП і ВК величину неузгодженості, яка визначається як різниця між значеннями витрати перекачуваного газу, які відповідають максимумам ексергетичного ККД відцентрового компресора і ГТП. В даному випадку неузгодженість визначає зниження ефективності. Тому слід було б звернути увагу не тільки на зміщення максимуму, але й на крутизну характеристики. Так, наприклад, якщо характеристика має пологий характер (в граничному випадку – практично є горизонтальною), то зміщення не приведе до помітної втрати ефективності і тому не є показником неузгодженості.

10. В розділі 5 аналізується вплив температури атмосферного повітря і температури газу на характеристики ТКА. Незрозуміло, чому автор не використав для цього аналізу відомі формули зведення, основані на теорії подібності, а аналізував двомірні характеристики. Визначення таких формул для запропонованих інтегральних показників ефективності має самостійну наукову і практичну цінність.

11. На рис. 5.5 дисертації (рис. 13 автореферату) представлена залежність коефіцієнту паливної ефективності від витрати перекачуваного газу для різних значень температури атмосферного повітря. Лінія, яка відповідає температурі 288 К, випадає із загальної залежності, в той час як фізичних причин для цього не існує. Цей факт автор не пояснює.

12. Є деякі зауваження щодо оформлення роботи:

- автор використовує вирази «системний аналіз», «системний термодинамічний аналіз», «системний критерій», «системні характеристики», «системний ККД», не наводячи пояснень, що він має на увазі та які ще характеристики, аналіз, ККД та ін. існують. Це утруднює читання роботи, тому що подібні визначення сприймаються як зайвини;

- в роботі немає списку використаних позначень – є лише список скочочень. Це утруднює розуміння наведених формул і параметрів. Так, наприклад, на стор. 106 з'являється позначення V_{KG} , сенс якого з тексту незрозуміло. На рис. 3.3 коефіцієнт теоретичного напору позначено як ϕ , хоча раніше і далі він позначений як ψ . На стор. 114 використовується параметр Φ_0 , зміст якого не пояснено;

- зустрічаються деякі граматичні неточності:

- «Вибір сумісного режиму роботи» в назві розділу 3 замість «Вибір режиму сумісної роботи»;
- термін «ККД системної характеристики агрегату», який використано на стор. 105 і стор. 113, некоректний;
- вираз «характеристика потужності від витрати», який використано на стор. 106, некоректний;
- на рис. 3.9 і в тексті на стор. 112 розбіжність характеристик потужності та витрати позначено як ε , хоч раніше воно введено як $\Delta\varepsilon$;
- на стор. 140 використано термін «вхідний направляючий апарат турбіни», якого немає в літературі; напевно, автор мав на увазі сопловий апарат турбіни.

7. Висновки

Наведені зауваження не впливають на високу позитивну оцінку роботи і обумовлені широким колом досліджених автором питань та їх складністю. Область, якій присвячено дисертаційну роботу, безпосередньо торкається питань, які визначають ефективність складного газотранспортного обладнання.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні та є значною працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати в галузі турбоустановок, які є рішенням важливого науково-практичного завдання удоскonalення ефективності турбокомпресорних агрегатів шляхом узгодження режимів роботи складового обладнання.

Дисертація відповідає спеціальності 05.05.16 – турбомашини і турбоустановки.

Таким чином, дисертація задовільняє вимоги п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» до кандидатських дисертацій, а її автор – **Тертишний Ігорь Михайлович** – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Завідувач кафедри
конструкції авіаційних двигунів
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
докт. техн. наук, професор

С. В. Єпіфанов

Підпис д.т.н. Єпіфанова С.В. засвідчує

Ученій секретар



Ученій секретар