

Голові спеціалізованої вченої ради Д 64.180.02
Інституту проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного НАН України

61046, м. Харків, вул. Дм. Пожарського, 2/10

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Косьянової Анни Ігорівни
**«Підвищення ефективності регулюючого відсіку
парової турбіни великої потужності»,**
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки

Актуальність теми дисертаційної роботи. Надійна та ефективна робота теплових і атомних електростанцій є основою енергетичної безпеки України. В даний час напрацювання обладнання електростанцій, в тому числі і турбінного, становить понад 30 років. При цьому обладнання, яке виробило свій ресурс, не забезпечує сучасні техніко-економічні показники експлуатації енергоблоків. Проточні частини парових турбін на сьогоднішній день є морально і фізично застарілими і вимагають відновлення. Одним з найбільш реальних напрямів розв'язання задач підвищення виробництва електроенергії може бути розгортання робіт по заміні та модернізації застарілого обладнання теплових і атомних електростанцій, на сучасне високоефективне обладнання.

При цьому важливо враховувати особливості режимів експлуатації, що характеризуються збільшенням тривалості роботи великих теплових електростанцій на знижених навантаженнях, а отже й спрямовувати зусилля на розв'язання актуальних задач підвищення ефективності та економічності.

Для великих теплових електростанцій з блоками потужністю 200, 300, 500 і 800 МВт для регулювання витрати через проточну частину найчастіше використовують системи соплового паророзподілу з коловою нерівномірністю потоку. На часткових режимах роботи регулюючі відсіки такого типу призводять до підвищеної колової нерівномірності тиску та температури, збільшення нестационарних термогазодинамічних навантажень на елементи конструкції.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливих науково-практичних задач, що пов'язані з удосконаленням чисельної моделі нестационарної просторової турбулентної течії пари і розробкою принципово нових підходів підвищення газодинамічної ефективності регулюючого відсіку парових турбін великої потужності.

Усе це свідчить про актуальність обраної теми дисертаційної роботи. Актуальність роботи також підтверджується зв'язком проведених досліджень із науковими програмами, планами і темами, які виконувались у відділі гідроаеромеханіки енергетичних машин Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України в період з 2009 по 2019 рр. відповідно до бюджетних тем «Розробка ефективних проточних частин паротурбінних установок підвищеної маневреності» (№ ДР 0110U006342), «Розробка та удосконалення методів математичного і фізичного моделювання в'язких турбулентних течій рідини і газу в елементах проточних частин парових, газових та гіdraulічних турбін» (№ ДР 0110U006342), «Удосконалення робочих процесів в проточних частинах енергетичних машин на основі методів математичного і фізичного моделювання просторових в'язких течій рідини і газу» (№ ДР 0114U001440) та «Розробка системи соплового регулювання нового типу для парових турбін серії К-300 з метою підвищення їх економічності та надійності» (№ ДР 0119U101231), в яких автор виконувала роботу як виконавець окремих розділів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані виконаними розрахунковими дослідженнями, проведеними здобувачкою особисто. Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків, що захищаються, базується на: докладному аналізі літературних джерел за тематикою роботи, коректній постановці мети та задач дослідження; вірному використанні сучасних методів математичного моделювання, фундаментальних положень теоретичної та обчислювальної газогідродинаміки; співставленні отриманих автором результатів з відомими результатами інших авторів.

Новизна результатів дисертації. Одержано нові наукові результати перевага яких перед існуючими полягає у наступному:

- розвинуто чисельну модель просторової в'язкої нестационарної течії стисливої пари, в якій на відміну від існуючих реалізовано можливість наближеного врахування нестационарних ефектів, що дозволяє суттєво скоротити обчислювальні ресурси;
- вперше запропоновано підхід до організації парціального паророзподілу для забезпечення регулювання режимів роботи парових турбін великої потужності, що на відміну від існуючих підходів використовує підвід пари з парціальністю в радіальному напрямку через кільцеві соплові блоки;
- вперше встановлено основні закономірності впливу радіального паророзподілу на структуру потоку та газодинамічні характеристики регулюючого відсіку ЦВТ в широкому діапазоні режимів роботи парової турбіни;
- набув подальшого розвитку підхід до проектування регулюючих відсіків з коловим сопловим паророзподілом, що на відміну від існуючих підходів спирається на відмову від камери вирівнювання, зменшенню навантаження регулюючого ступеня та використання проміжного ступеня, а також в використанні ступенів діагонального типу.

Наукове, практичне значення та реалізація результатів роботи.

Наукове значення роботи полягає у тому, що у сукупності одержані результати є науково-методичною складовою в проектуванні регулюючих відсіків парових турбін великої потужності.

Практичне значення отриманих результатів пов'язано з підвищеннем газодинамічної ефективності проточної частини циліндра високого тиску парових турбін великої потужності за рахунок використання принципово нових підходів до побудови регулюючого відсіку. Результати дисертаційної роботи використані при виборі напрямків підвищення газодинамічної ефективності проточної частини регулюючого відсіку та перших ступенів ЦВТ парової турбіни К-325-23,5 (м. Харків, Україна, акт впровадження ТА-02-221), а також

в учбовому процесі на кафедрі теплоенергетики та енергозберігаючих технологій Української інженерно-педагогічної академії (м. Харків, Україна).

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях. За темою дисертації опубліковано 15 наукових робіт, у тому числі 7 статей у фахових наукових журналах та збірниках наукових праць (з яких 1 – в журналі, індексованому в наукометричній базі Scopus), 6 – тези та матеріали доповідей на наукових конференціях (включаючи міжнародні), 1 патент України на корисну модель, 1 монографія.

Аналіз публікацій автора дозволяє зробити висновок, що основні результати дисертації знайшли повне відображення в авторефераті та наукових фахових виданнях. Автореферат дисертації повною мірою відображає зміст роботи та отримані автором результати досліджень. Робота пройшла апробацію на спеціалізованих наукових конференціях та семінарах.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності у цілому. Дисертація являє собою рукопис, загальним обсягом 188 сторінок, у тому числі 136 сторінок основного тексту, включаючи 84 рисунки та 24 таблиці. Дисертація складається зі вступу, основної частини з 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 122 найменувань та додатків. Дисертаційна робота та автореферат написані згідно вимог до сучасних науково-технічних текстів, висновки по роботі відображають усі отримані автором результати. В тексті дисертації наведено значну кількість графічного матеріалу, що наглядно представляє отримані автором результати досліджень. Текст автореферату повністю відповідає змісту представленої до захисту дисертаційної роботи. Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, визначено мету й задачі дослідження, вказано об'єкт та предмет дослідження, наведено методи дослідження, визначено наукову новизну здобутих результатів, їх теоретичне та практичне значення, наведено відомості про

апробацію, а також список публікацій за темою дисертаційної роботи у спеціалізованих тематичних наукових виданнях.

В першому розділі наведено огляд літератури за темою дисертаційної роботи та обґрунтовано вибір напряму досліджень. Здобувачкою проаналізовано ресурс обладнання ТЕС і ТЕЦ, наведено особливості його роботи виходячи з нерівномірності споживання електроенергії та зазначена актуальність розробки систем ефективного регулювання та оптимізація параметрів турбоустановок з урахуванням роботи на часткових режимах. Розглянуто існуючі підходи підвищення газодинамічної ефективності регулюючих відсіків парових турбін на часткових режимах роботи. Зазначено, що найбільш характерним є використання системи соплового паророзподілу з коловою парціальністю та вирівнюючою камерою, через що здається неможливим досягти істотного поліпшення роботи турбіни на номінальному режимі й забезпечити відсутність колової нерівномірності на часткових режимах. Зазначено про принципово новий підхід організації парціального підживлення з нерівномірністю у радіальному напрямку, що заздалегідь не має проблем притаманних коловій парціальності. Сформульовано актуальні напрями підвищення газодинамічної ефективності регулюючих відсіків парових турбін з існуючими системами паророзподілу.

Здобувачкою виконано аналіз методів дослідження газодинамічних процесів в регулюючих відсіках парових турбін та обрано чисельний експеримент як основний. Сформульовано напрям розвитку чисельної моделі з метою скорочення витрат обчислювальних ресурсів з одночасним забезпеченням достатньої точності розв'язання нестаціонарної задачі.

Також описано методику проектування проточних частин парових турбін, до складу якої входять як методи газодинамічного розрахунку різних рівнів складності (від одновимірних, на основі емпіричних моделей, до просторових), так і методи побудови просторової форми проточної частини на основі обмеженої кількості параметризованих величин.

В другому розділі наведено метод проектування проточних частин парових турбін осьового типу. Детально розглянуто метод розрахунку

тривимірної нестационарної в'язкої турбулентної течії стисливої перегрітої пари та аналітичні методи побудови просторової форми проточної частини на основі обмеженої кількості параметризованих величин.

В третьому розділі наведено результати чисельного дослідження просторової турбулентної течії в регулюючому відсіку ЦВТ парової турбіни потужністю 325 МВт та виконано оцінку ефективності використання лопаток направляючого апарату, малочутливих до нерозрахункових кутів натікання. Виконано аналіз особливостей розповсюдження та затухання нерівномірності параметрів потоку в регулюючому відсіку, спричинених коловою парціальністю, для режимів роботи з різним ступенем парціальності.

В четвертому розділі виконано дослідження регулюючих відсіків з відсутнією камерою вирівнювання тиску. Сформульовано основні положення щодо напрямків покращення регулюючого відсіку, а саме: повна або часткова відмова від використання вирівнюючої камери та застосування профілів, малочутливих до нерозрахункових кутів натікання; переміщення регулюючого ступеня на середній діаметр, що розміщений максимально близько до діаметра першого ступеня тиску; встановлення в осьовому напрямку додаткового ступеня на місце камери вирівнювання тиску для забезпечення ефективного використання теплового перепаду.

Виходячи з зазначених положень запропоновано новий підхід до організації парціального паророзподілу – радіальний паророзподіл. Представлено теоретична схема регулюючого ступеня з радіальним підводом пари, що аналогічна за режимами роботи до вихідної конструкції з коловою парціальністю. Показано, що основні процеси вирівнювання потоку відбуваються в робочому колесі регулюючого ступеня, що суттєво відрізняється від вихідної конструкції. Використання регулюючого відсіку з радіальним паророзподілом забезпечує збільшення потужності ЦВТ на 1 – 2 МВт та зниження втрат кінетичної енергії на 6 – 11 % для основних режимів порівняно з вихідною конструкцією.

Також запропоновано геометричну форму проточної частини регулюючого відсіку парової турбіни потужністю 325 МВт для реалізації

основних напрямків покращення ЦВТ при існуючій системі соплового паророзподілу з коловою нерівномірністю. Об'єкт дослідження складається з регулюючого ступеня та двох ступенів тиску діагонального типу з направляючими апаратами, малочутливими до нерозрахункових кутів натікання. Радіальна камера вирівнювання тиску відсутня. ККД розробленого регулюючого відсіку становить 91,0 % на номінальному режимі без урахування втрат на клапанах та 85,8 % із урахуванням втрат на клапанах. Коловий ККД збільшився на 6–10 %, а потужність відсіку на 1–2 МВт залежно від режиму роботи.

Зauważення. За змістом дисертації та автореферату є такі зауваження:

1. В дисертаційній роботі не надано чіткого визначення квазінестаціонарній постановці розрахунку, а також відсутні фактичні витрати часу на розв'язання розглянутих задач.
2. З автореферату та тексту дисертаційної роботи жодним чином не випливає, чи перевірялись розроблені конструктивні елементи на відповідність вимогам міцності.
3. В підрозділі 2.5 наведено метод аналітичного профілювання лопаткових вінців осьового типу, що далі застосовано в розділах 3 та 4. З тексту дисертаційної роботи не випливає, чому використовується саме такий підхід, його переваги та недоліки порівняно з іншими підходами профілювання.

Наведені вище зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, у якій вирішено важливе наукове завдання, що полягає в розробці та дослідженні способів підвищення газодинамічної ефективності та зниження колової нерівномірності потоку в регулюючих відсіках ЦВТ парових турбін з сопловим паророзподілом.

Вважаю, що дисертаційна робота «Підвищення ефективності регулюючого відсіку парової турбіни великої потужності», згідно з п. 9, 11

«Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою № 567 Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор, Косьянова Анна Ігорівна, заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки.

Офіційний опонент

начальник сектору АТ «Турбоатом»,
кандидат технічних наук



М. М. Гришин

Власноручний підпис М.М. Гришина за свідчую

Головний конструктор парових турбін
АТ «Турбоатом»



В.Л. Швецов

