

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Палькова Ігоря Андрійовича

«Термоміцність замкового з'єднання робочих лопаток парової турбіни»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.02.09- динаміка та міцність машин

1. Загальна структура роботи.

Дисертаційну роботу виконано Пальковим Ігорем Андрійовичем в Інституті проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного НАН України та АТ «ТУРБОАТОМ». Дисертацію присвячено створенню методики оцінювання напружено-деформованого стану замкового з'єднання робочих лопаток та диска першого ступеню парової турбіни К-500-240. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 105 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 131 с., з них 111 сторінок основного тексту, 39 рисунків, 5 таблиць.

2. Актуальність теми та її відповідність планам наукових досліджень.

Тема дисертації відноситься до важливого напрямку спеціальності «Динаміка та міцність машин», пов'язаного з забезпеченням необхідної високотемпературної міцності елементів сучасного енергетичного машинобудування, у яких мають місце незворотні деформації. Повзучість матеріалу істотно обмежує терміни експлуатації конструктивних елементів завдяки можливості виникнення неприпустимих деформацій та внаслідок руйнування.

Одним з важливих вузлів парових турбін є замкові з'єднання лопаток з диском. Дані, отримані у промисловості, свідчать щодо фактів їхнього руйнування при експлуатації. У зв'язку з цим, роботу, що рецензується, слід визнати актуальною: зростаючі вимоги до експлуатаційних параметрів обумовлюють необхідність створення ефективних проблемно орієнтованих методів розрахунку, в яких враховано усі особливості роботи замкових з'єднань.

Дисертаційну роботу виконано здобувачем відповідно до планів ІПМаш ім. А.М. Підгорного НАН України (договір 2-86/II-14-20 від 02.01.2020 р., додаткова

угода від 07.09.2020 р. №1 «Розробка методів підвищення ефективності енергоблоків ТЕЦ за рахунок впровадження парогазових технологій» за I етапом «Вибір раціональних варіантів впровадження газотурбінних надбудов на ТЕЦ», 2020 р., № держреєстрації 0120U100883; договір № Н.Е.4.2–2020/II-9-19 від 02.03.2020 р. наукового завдання «Розроблення теплових схем енергоблоків на суперкритичних параметрах пари для використання на діючих ТЕС України з метою підвищення їх маневреності, надійності, економічності та екологічності» за II етапом «Комплексні розрахункові дослідження обраних варіантів теплових схем», 2020 р. № держреєстрації 0119U101781) та НДР АТ «Турбоатом» «Розрахункові і конструкторські розробки окремих деталей і вузлів ЦВТ і ЦСТ турбіни на супернадкритичні параметри пари $P_0 = 260 \div 300$ ата і $T_0 = 600$ С потужністю 600 ÷ 700 МВт».

3. Оцінка новизни досліджень та результатів роботи.

У дисертаційній роботі І.А.Пальковим запропоновано засоби для оцінювання напружено-деформованого стану у високотемпературній області замкового з'єднання лопатки парової турбіни з диском.

Здобувачем отримано нові результати, серед яких можливо відмітити удосконалення засобів визначення напружено-деформованого стану замкового з'єднання грибоквого типу лопаток першого ступеню парової турбіни з урахуванням контактної взаємодії його елементів, впливу нерівномірного нагріву, деформацій пластичності і повзучості в тривимірній постановці; вперше встановлену залежність розподілу еквівалентних напружень в елементах з'єднання від взаємного розташування лопаток та штифтів; експериментальні дані щодо розподілу напружень у складному модельному експерименті.

4. Оцінка достовірності й обґрунтованості положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю математичної постановки задачі, застосуванням теоретично й експериментально перевірених рівнянь стану та кінетичних рівнянь, математичних методів. Проведене порівняння результатів, одержаних в роботі, з

експериментальними даними свідчить про задовільний ступінь їхньої відповідності. Виконано деякі оцінки внутрішньої збіжності скінченноелементних моделей.

Робота базується на використанні сучасних методів механіки, отримані за їхньою допомогою висновки та рекомендації представляються обґрунтованими цілком достатньо.

5. Цінність наукових результатів для науки та практики.

Практичну цінність роботи обумовлено насамперед створенням працездатних елементів розрахункового методу для визначення найбільш напружених елементів замкового з'єднання лопаток, що можуть бути використані при проектуванні нових конструктивних елементів. Результати дисертаційної роботи впроваджено в практику проектування турбомашин згідно з НДР "Розрахункові і конструкторські розробки окремих деталей і вузлів ЦВТ і ЦСТ турбіни на супернадкритичні параметри пари $P_0 = 260 \div 300$ ата і $T_0 = 600^\circ\text{C}$ потужністю $600 \div 700$ МВт ", про що свідчить відповідний акт.

Дисертаційну роботу І.А.Палькова виконано на високому науковому рівні з використанням комплексу сучасних методів динаміки та міцності машин, обчислювальної та експериментальної техніки. Застосування розробок здобувача надає можливість розуміння характеру розподілу напружень, деформацій та переміщень у тривимірних конструктивних елементах складної форми, що недостатньо представлено у сучасній науковій літературі.

6. Загальна характеристика роботи.

У Вступі до дисертаційної роботи наведено основні її кваліфікаційні характеристики. Охарактеризовано актуальність, практичну цінність, мету й основні задачі досліджень, наукову новизну, значення одержаних результатів для теорії та практики, надано дані щодо наукових тем, за якими працював здобувач під час виконання роботи. Наведено перелік доповідей та кількість публікацій за темою, визначено особистий внесок в них здобувача.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих підходів та методів, що призначені для визначення напружено-деформованого стану в елементах турбомашин, в тому числі при незворотному деформуванні, в умовах пластичності

та повзучості матеріалу. Увагу приділено методам розв'язання задачі при врахуванні контактної взаємодії елементів при пружному та непружному деформуванні, особливостям використання МСЕ. Розглянуто основні особливості напружено-деформованого стану грибоквого замкового з'єднання робочих лопаток з диском. Поставлено задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі надано опис натурного експерименту на моделі з'єднання, виготовленого з оргстекла, наведено результати вимірювань на поверхні моделі за допомогою тензометрії. Обговорюються дані їхнього порівняння з розрахунковими, отриманими за допомогою МСЕ.

Третій розділ дисертаційної роботи містить результати пружного скінченноелементного аналізу з'єднання, що розглядається. Описано методику розв'язання контактної задачі. Наводиться опис отриманих даних.

У четвертому розділі наведено опис розв'язання термопружної задачі. Надано постановку задачі нестационарної теплопровідності, для задачі стаціонарної наведено крайові умови. Обговорюються умови для контактної задачі у випадку неоднорідного розподілу температур. Описано отримані дані скінченноелементного моделювання.

Більш загальний випадок, наближений до реального деформування в умовах виникнення пластичних деформацій, розглянуто у п'ятому розділі. Описано алгоритм розрахунку. Наведено фізико-механічні дані матеріалів, необхідні для розв'язання пружно-пластичної задачі. Описано дані виконаних розрахунків, в тому числі й з урахуванням контактної взаємодії.

Шостий розділ присвячено оцінці повзучості замкового з'єднання. Наведено опис кривих повзучості, обговорено методику обробки експериментальних даних для їхньої побудови. Надано результати розрахунку повзучості з'єднання, обговорюються зміни напружень у зонах контакту.

Робота закінчується висновками, які цілком відповідають результатам проведених досліджень.

7. Повнота викладення основних результатів дослідження.

Основні положення та результати дисертаційної роботи досить повно

опубліковані у 20 наукових працях, серед яких 8 статей у наукових, фахових журналах та збірниках наукових праць, одна з яких входить до міжнародної наукометричної бази SCOPUS. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і повністю відображає основні її наукові результати.

8. Недоліки і зауваження до роботи.

1. В огляді літератури за темою досліджень слід було б більшу увагу приділити публікаціям у міжнародних наукових виданнях, присвячених повзучості та руйнуванню при високих температурах.

2. В тексті розділу 2 недостатньо описано результати порівняння експериментальних та чисельних даних, відсутні значення отриманих похибок. Слід було б навести результати й для інших компонентів НДС, визначити характер їхнього змінювання за висотою замка. Також в інших розділах для підтвердження збіжності розв'язків слід було б навести порівняльні дані розрахунків з використанням різних SE моделей.

3. В шостому розділі відсутній опис методу розв'язання задачі повзучості замкового з'єднання, який є необхідним для аналізу отриманих результатів. В деяких місцях (наприклад стор. 102-103, 109) необхідно було більш детально описати наведені компоненти тензорів деформацій повзучості та напружень.

4. У тексті роботи мають місце незначні граматичні та стилістичні помилки.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

9. Висновок по дисертації Палькова Ігоря Андрійовича.

Дисертаційна робота Палькова Ігоря Андрійовича «Термоміцність замкового з'єднання робочих лопаток парової турбіни» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову задачу оцінювання

напружено-деформованого стану замкового з'єднання турбіни у високотемпературній області. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015; № 1159 від 30.12.2015; № 567 від 27.07.2016) щодо кандидатських дисертацій. Здобувач Пальков Ігор Андрійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 - динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент

Завідувач кафедри комп'ютерного
моделювання процесів та систем,
доктор техн. наук, професор

14.04.2021р.

