

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Львова Геннадія Івановича

на дисертаційну роботу

**КОЛЯДЮКА АНДРІЯ СЕРГІЙОВИЧА**

### **«ТЕРМОМІЦНІСТЬ РЕГУЛЮВАЛЬНОГО КЛАПАНА ПАРОВОЇ ТУРБІНИ»**,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

#### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи**

Виробництво конкурентоспроможної продукції в наукомістких галузях промисловості таких, як турбобудування, вимагає застосування сучасних методів проектування та розрахунків міцності та надійності відповідальних елементів конструкцій. До таких елементів належать регулювальні клапани парових турбін. Досвід експлуатації стопорне-регулювальних клапанів парових турбін показує, що в їх корпусі відбувається накопичення помітних втомних пошкоджень. Від надійної роботи системи паророзподілу залежить стабільність експлуатації турбіни та її цілісність при нештатних ситуаціях. Моделювання роботи клапанів потребує дослідження течії пари, теплового стану та міцності елементів системи паророзподілу. Тому тема роботи А.С.Колядюка, яка присвячена розробці розрахункової методики, визначенню термонапруженості та повзучості за тривимірними моделями регулювального клапана турбіни К-325-23.5, оцінці термоміцності та ресурсу корпусу клапана є безумовно актуальною. Дисертаційна робота виконана відповідно до плану наукових досліджень, проведених в Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного за держбюджетними темами, які безпосереднє пов'язані з напрямком дисертації: «Разработка теоретических и экспериментальных методов диагностики вибрационного состояния, прочности и ресурса высокотемпературных элементов и узлов энергетических машин», «Аналіз та поліпшення динамічних міцнісних властивостей елементів перспективних енергетичних машин та ракетно-космічної техніки під дією навантажень різної фізичної природи».

#### **2. Наукова новизна досліджень і результатів роботи**

Наукова новизна дослідження Колядюка Андрія Сергійовича та отриманих їм результатів полягає в наступному:

1. Вперше розроблено математичну модель для розв'язання спільної задачі течії пари та теплопровідності регулювального клапана. Вперше в тривимірній скінченно-елементній постановці розв'язано зв'язану задачу течії пари та теплопровідності в регулювальному клапані парової турбіни на основі сумісного спільного використання рівнянь Нав'є-Стокса для паропотоку та теплопровідності для корпусу, сита та теплоізоляції клапана на стаціонарних режимах роботи.
2. Вперше встановлені стаціонарні режими роботи турбіни, при яких спостерігається максимальна термонапруженість клапана.
3. За результатами аналізу повзучості встановлено, що максимальна повзучість корпусу клапана на стаціонарних режимах роботи має місце в області патрубків перед регулювальними клапанами, де спостерігається пошкодження внутрішньої поверхні корпусу при експлуатації клапана.

### **3. Практичне значення роботи**

Практична корисність результатів роботи в полягає у застосуванні методики розв'язання задач числового тривимірного моделювання течії пари, термонапруженості, повзучості, циклічної міцності та ресурсу корпусу клапана системи паророзподілу парової турбіни К-325-23,5. За допомогою цієї методики визначено найбільш напружені зони корпусу клапана та несприятливі за термоміцністю стаціонарні режими роботи клапана. Встановлено зони можливого пошкодження корпусу за ресурсними показниками. Сформовано рекомендації до підвищення надійності роботи клапана. Результати наукових досліджень передані в АТ «Турбоатом» та використовуються при оцінці умов експлуатації системи паророзподілу для вирішення питання підвищення надійності її експлуатації на різних режимах роботи, що підтверджується довідками про практичне використання результатів роботи.

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукові положення дисертації базуються на відомих аналітичних та чисельних методах механіки газу та деформованого твердого тіла, зокрема, на фундаментальних рівняннях теорій термопружності, повзучості, циклічної пошкоджуваності та оцінки ресурсу. Достовірність чисельних результатів забезпечена обґрунтуванням вибору щільності тривимірної сітки скінчено-елементних розрахункових моделей.

Достовірність та обґрунтованість основних наукових положень дисертаційної роботи підтверджується також їх апробацією на науково-практичних конференціях, публікаціями у наукових фахових виданнях, практичним використанням в в АТ «Турбоатом».

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

## **5. Повнота викладення результатів дисертації в публікаціях**

За темою дисертації опубліковано 16 робіт, у тому числі 6 статей у фахових наукових журналах та 10 публікацій у збірниках матеріалів конференцій. Зміст цих публікацій в повній мірі висвітлює наукові положення та основні результати досліджень дисертації. Автореферат достатньо повно відображає основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

## **6. Аналіз змісту розділів роботи та зауваження по дисертаційній роботі**

У вступі наведено загальну характеристику роботи: актуальність теми, предмет, мета і задачі дослідження, об'єкт дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Наведено список публікацій за темою дисертаційної роботи. Надано відомості щодо практичного використання результатів досліджень.

В першому розділі приводиться огляд системи паророзподілу сучасних парових турбін великої потужності. Розглядаються основні види систем паророзподілу, які застосовуються в даний час. Відзначається велике різноманіття конструкцій регулювальних та стопорних клапанів, які використовуються при регулюванні потужності парових турбін. Особлива увага приділяється системі паророзподілу парової турбіни К-325-23.5. Це пов'язано з появою значних втомних пошкоджень під час експлуатації стопорно-регулювальних клапанів даної енергоустановки. При цьому показано складність конструкції цих стопорно-регулювальних клапанів. Виконаний аналіз стаціонарних та нестаціонарних режимів роботи теплофікаційних

парових турбін. Показано значне різноманіття режимів роботи, на яких може працювати турбіна та зазначається, що система паророзподілу, яка є безпосередньо виконавчим органом, працює в складних умовах. Внаслідок аналізу стаціонарних режимів роботи парової турбіни К-325-23.5 було вибрано сім представницьких режимів, під час яких відбувається якісна зміна параметрів, таких як потужність, витрата пари та відкриття регулювальних клапанів. Відзначаються, що значна кількість аварійних зупинок енергоустановки виникає внаслідок виходу з ладу елементів системи паророзподілу.

В **другому розділі** приводяться результати розрахунків сумісної задачі течії пари в проточному тракті стопорно-регулювального клапана та теплопровідності в його корпусі та інших елементах. Дослідження виконано для вибраних стаціонарних режимів роботи. В результаті було отримано параметри течії пари та встановлено області з відривами та завихреннями. Також отримано розподілення температурних полів корпусу клапана та тиску пари на його стінки. Відзначається підвищення температури фільтруючого сита на 12С по відношенню до температури пари на вході в систему паророзподілу. Встановлено зниження температури стінок корпусу за регулювальними клапанами при малому їх відкритті.

В **третьому розділі** виконано дослідження термонапруженого стану корпусу стопорно-регулювального клапана на стаціонарних режимах роботи. Для даних розрахунків використовувалися граничні умови у вигляді розподілення тиску на стінках та температури стінок корпусу клапана, які було отримано в другому розділі. В результаті визначено напруження в корпусі клапана при стаціонарних режимах роботи. Відзначається, що найбільші напруження виникають на проміжному режимі роботи, а не при максимальній потужності парової турбіни. При цьому максимальні напруження відповідають зонам з появою пошкоджень при експлуатації корпусу клапана.

В **четвертому розділі** розглядається повзучість корпусу клапана на стаціонарних режимах роботи. Отримані результати розрахунків показали, що деформації повзучості не являються єдиною причиною появи пошкоджень при експлуатації, так як значення деформацій повзучості не перевищують допустимі значення.

В **п'ятому розділі** виконано дослідження циклічної міцності та ресурсу корпусу клапана системи паророзподілу парової турбіни К-325-23.5. Для оцінки накопиченої пошкоджуваності корпусу клапана використовувалися дві різні методики. Результати показали значний внесок повзучості матеріалу в

пошкоджуваність корпусу клапана. Результати розрахунків показали, що спрацювання ресурсу спостерігається після 300 тис. год. експлуатації без врахування початкових дефектів. Відмінність результатів за різними методиками не перевищує 23%.

### **Зауваження по роботі**

- 1 У другому розділі, де приведена математична модель для досліджень газодинамічних процесів і визначення температурного стану корпусу клапана не вказано, які граничні умови задавалися на зовнішніх поверхнях клапану.
2. У третьому розділі формули (3.7) помилково названі рівняннями спільності. Постійно використовується термін пружні напруження замість того, щоб вказати, що на рисунках 3.11 – 3.16 наведені еквівалентні (фон Мізес) напруження.
3. У четвертому розділі відсутні пояснення щодо імплементації співвідношень (4.5) у програмному комплексі скінчено-елементного аналізу. Там же приведено багато графіків залежності деформацій повзучості, але не вказано, які компоненти тензора деформацій повзучості показані.

### **Загальний висновок по роботі**

Сформульовані зауваження не впливають на високу позитивну оцінку роботи та не зменшують її теоретичного і практичного значення. На основі вивчення змісту дисертаційної роботи, автореферату і публікацій вважаю, що дисертація Колядюка Андрія Сергійовича «ТЕРМОМІЦНІСТЬ РЕГУЛЮВАЛЬНОГО КЛАПАНА ПАРОВОЇ ТУРБІНИ» відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому поставлена і вирішена важлива науково-практична задача розробки методики розрахунку термонапруженості та повзучості регулювального клапана з урахуванням впливу паропотоку на стаціонарних режимах роботи турбіни К-325-23.5

Робота виконана на високому рівні, містить нові, цінні з наукової і практичної точок зору результати, написана технічно грамотною мовою. Результати роботи підтверджені актами про впровадження у виробництво.

Дисертація відповідає вимогам п.п. 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор, Колядюк Андрій Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент,  
професор кафедри динаміки і міцності машин  
Національного технічного університету «Харківський  
політехнічний інститут»,  
доктор технічних наук, професор



Геннадій ЛЬВОВ

5 квітня 2021 р.

Підпис д.т.н., проф. Львова Г.І. засвідчую,  
Вчений секретар НТУ «ХПІ»



Олександр ЗАКОВОРОТНИЙ