ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Нечаєва Андрія Вікторовича
**«Дослідження негативного впливу електризованої пари на робочі лопатки вологопарових турбін
та розробка методів їх захисту»,**
що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки»

Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими державними й галузевими програмами

Електризація потоку вологої пари в турбіні – це складна система різних за своєю природою явищ: механічних, електричних, електромагнітних, електрохімічних та теплових. У теперішній час не існує більш-менш повного математичного опису такої надзвичайно складної системи. Суттєву роль в комплексі цих явищ відіграє високошвидкісне зіткнення з поверхнями проточної частини турбіни крапель вологи та руйнування цих поверхонь. При цьому слід враховувати і різницю електричних зарядів крапель, а саме: на поверхню металу потрапляють великі позитивно заряджені і дрібні негативно заряджені краплі, що також сприяє посиленню електрохімічних процесів на поверхні металу. Додатковий вплив на поверхню лопаток чинять електричні і магнітні поля та електромагнітне випромінювання. Присутність електричного заряду крапель в потоці робочого тіла, об'ємного заряду потоку, супутніх електричних та магнітних полів істотно змінює властивості робочого тіла, яке впливає на металеві поверхні елементів проточної частини турбіни та може змінювати міцність поверхонь робочих лопаток. У дисертаційній роботі виконано дослідження саме впливу електрично активного середовища на характеристики міцності металів робочих лопаток.

Враховуючи наведене вище можна стверджувати, що тема дисертаційного дослідження направлена, по-перше, на підвищення надійності турбін і, по-друге, як на мою думку, – на визначення можливостей перспективного аеродинамічного удосконалення гранично напружених робочих лопаток. Тема відповідає сучасним вимогам і є безперечно актуальною.

Актуальність теми роботи підтверджується й тим, що вона є однією зі складових частин комплексу досліджень, проведених в Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України за бюджетними темами: «Розробка наукових основ нетрадиційних методів і засобів керування теплофізичними властивостями робочих середовищ теплових машин», ДР № 0297U001633; «Розробка теоретичних основ, методів і способів комплексного розв'язання задачі підвищення ефективності та надійності вихлопної частини енергетичних установок», ДР № 0197U012284; «Розробка наукових основ електрофізичних явищ в теплових енергетичних установках», ДР № 0100U004809; «Розробка методів підвищення ефективності тепломасообмінних процесів в енергетичних установках при впливі на робоче тіло електричних, магнітних і електромагнітних полів», ДР № 0104U005621;

«Розробка теоретичних основ і методів підвищення ефективності та надійності теплових установок за рахунок оптимізації режимних параметрів та активації робочих середовищ», ДР № 0109U001423; «Удосконалення методів оптимізації, контролю та управління термогазодинамічними та електрофізичними процесами, властивостями та якістю робочого тіла на різних стадіях технологічного циклу паротурбінних установок», ДР № 0114U001436, в яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна підтверджуються:

достатньо докладним аналізом літературних джерел щодо феномену електризації пари у теплових машинах, про зміни ерозійно-корозійних властивостей робочого тіла вологопарових турбін і вплив наелектризованих крапель вологи на поверхні робочих лопаток, а також про сучасні методи боротьби з ерозійно-корозійними пошкодженнями турбін;

коректною постановкою мети і завдань дослідження;

використанням новітніх та класичних експериментальних та теоретичних методів, а саме: експериментальне визначення мікротвердості, експериментальне дослідження електрофізичних явищ, методи фізичного моделювання, комп'ютерного моделювання електричного поля, а також застосуванням сучасного математичного апарату щодо оцінки похибок вимірів та обробки результатів фізичних експериментів;

використанням загальноприйнятих правомірних припущень та обмежень, які забезпечують повторювальність отриманих теоретичних та експериментальних результатів з достатньою точністю;

чіткими і виваженими формулюваннями висновків за результатами фізичних експериментів та теоретичних досліджень.

Завдання дисертації відповідають об'єкту, предмету, меті та методам дослідження.

Наукова новизна результатів дослідження

Вперше експериментально встановлено ефект істотного впливу зарядженого парового потоку на величину мікротвердості (понад 30 %) та на вміст водню в лопатковому матеріалі.

Вперше експериментально досліджена залежність мікротвердості поверхневого шару лопаткового матеріалу від впливу постійного та змінного електричного поля.

Запропоновано уточнену, таку, що раніше не розглядалась в теорії турбомашин, концепцію пошкоджуваності поверхневого шару лопаткової сталі краплями, яка враховує наявність електричного заряду ерозійно-небезпечних крапель і пов'язане з ним електричне поле.

Теоретично обґрунтовано виявлене експериментально збільшення вмісту водню при дії потоку, що електризується.

Практична значимість одержаних результатів дослідження.

Запропоновано спосіб запобігання утворенню ерозійно-небезпечної вологи у вологопарових турбінах, який враховує електризацію крапель вологи. Спосіб дозволяє суттєво зменшити витрати пари на видалення вологи за рахунок регулювання нагріву напрямних лопаток.

Розроблено методи зниження негативного впливу електризації потоку пари на робочі лопатки турбіни, що базуються на раціональному виборі водно-хімічного режиму, на нейтралізації електричного заряду робочого тіла за останнім ступенем турбіни завдяки застосуванню спеціальної електродної системи, на використання спеціальних покриттів для соплових лопаток. Комплексне використання цих методів дозволяє вдвічі підвищити ресурс робочих лопаток.

За результатами досліджень отримано 1 патент України на спосіб запобігання утворенню великодисперсної вологи у вологопаровому турбінному ступеню.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на АТ «Турбоатом» (довідка про впровадження № 02-216 від 01.06.2020, додаток А, стор. 138).

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях

В опублікованих працях достатньо повно викладено основні результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи. Структура і представлення матеріалу в дисертації та авторефераті відповідає нормативним вимогам до науково-технічних документів. Основні положення дисертації викладено в авторефераті у логічній послідовності, чітко і зрозуміло. Зміст автореферату є ідентичним до основних положень дисертації.

Основні результати дисертації представлено у 11 друкованих роботах, з яких 5 статей у спеціалізованих фахових виданнях України, що входять до переліку рекомендованих МОН, 1 стаття в міжнародному журналі, що входить до наукометричної бази Scopus, 1 патент України, 1 публікація у матеріалах міжнародної наукової конференції.

Основні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на: Міжнародній науково-технічної конференції «Фізико-технічні проблеми енергетики та шляхи їх вирішення 2019 (ФТПЕШВ-2019)» (2019 р., м. Харків,); XVI міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалювання енергоустановок методами математичного та фізичного моделювання» (2017 р., м. Харків); XII міжнародній науково-технічній конференції НТУ ХПІ «Енергетичні та теплотехнічні процеси і устаткування» (2016 р., м. Харків); XV міжнародній науковій конференції «Удосконалювання енергоустановок методами математичного та фізичного моделювання» (2015 р., с. Задонецьке, Зміївський р-н, Харківська обл.); IX міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозбереження та шляхи їх вирішення» (2013 р., м. Харків).

У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Нечаєва Андрія Вікторовича складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 153 сторінки, у тому числі 116 сторінок основного тексту, 92 рисунка, 21 таблиця, список використаних джерел із 107 найменувань на 11 сторінках та 3 додатка на 4 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено її зв'язок із науковими державними програмами, сформульовано мету й задачі дослідження, указано об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про публікації та апробацію роботи, а також про особистий внесок здобувача. Структура вступу відповідає рекомендаціям нормативних документів.

У першому розділі проведено огляд та аналіз науково-технічної інформації щодо феномену електризації пари у теплових машинах, про зміни ерозійно-корозійних властивостей робочого тіла вологопарових турбін і вплив наелектризованих крапель вологи на поверхні робочих лопаток, а також про сучасні методи боротьби з ерозійно-корозійними пошкодженнями турбін. Виконано аналіз, який дозволив здобувачу достатньо обґрунтовано зробити висновок про актуальність теми дисертаційних досліджень і сформулювати мету та задачі досліджень.

У другому розділі визначено методологію досліджень на основі аналізу особливостей впливу іонізованої пари і електричного поля на міцність поверхні сталі лопаток. Надано опис експериментальних стендів та результатів дослідження.

У третьому розділі наведено результати досліджень впливу постійних і змінних електричних полів на мікротвердість поверхневого шару зразків сталі 15Х11МФ.

У четвертому розділі розглянуто сучасні моделі механізму пошкоджуваності поверхні сталі за наявності крапельно-ударної ерозії та проведено аналіз фізики процесу пошкоджуваності поверхневого шару сталі робочих лопаток під впливом іонізованої пари та електричного поля.

У п'ятому розділі запропоновано комплекс засобів щодо зменшення впливу електрофізичних явищ у проточній частині турбіні на міцність сталі робочих лопаток.

Висновки до окремих розділів та висновки за результатами всієї роботи сформульовано чітко та відповідають задачам дисертаційної роботи.

Зауваження по дисертаційній роботі

1. У розділах «ВСТУП» та «ВИСНОВКИ» втрачено посилання на документ, що засвідчує впровадження результатів дисертаційної роботи Нечаєва Андрія Вікторовича під час розробки перспективних вдосконалених конструкцій ЦНТ вологопарових турбін АТ «Турбоатом», який підписано генеральним конструктором АТ «Турбоатом» В.Є. Левченком (стор. 138, додаток А).

2. На мій погляд слід змінити нумерацію підпунктів 1.6 та 1.7 на 1.7 і 1.6, відповідно. Саме така нумерація підпунктів забезпечує наступну логічну послідовність, а саме: висновки до розділу, вибір мети дослідження, визначення задач дослідження.
3. Основні результати дослідження одержано на вакуумованому стенді, проте в дисертації недостатньо пояснена роль попередніх дослідів, під час яких на сталь робочих лопаток діяли низькошвидкісним потоком наелектризованої пари та високошвидкісним струменем у повітряному середовищі.
4. Одержані вперше наукові результати безумовно заслуговують високу позитивну оцінку, та в тексті дисертації бажано було б більше уваги приділити поясненню фізичних процесів, які сприяють погіршенню механічних властивостей поверхні металу через контакт цієї поверхні з зарядженим двофазним потоком та дію електричних полів.
5. У дисертаційній роботі докладно не обговорюються методи захисту матеріалів лопаток шляхом використання покриттів лопаток та корекції водно-хімічного режиму.
6. Наведений у розділі 4 аналіз розбіжностей між результатами розрахункових досліджень ерозійного процесу та даними фізичного експерименту на реальній турбіні, які пов'язані з наявністю впливу електрофізичних факторів на ерозію, вимагає додаткових пояснень.
7. Виконуючи аналіз результатів експерименту щодо впливу наелектризованого потоку пари на поверхню матеріалу лопаток, здобувач головну увагу приділяє процесу насичення воднем металу та вважає цей процес основним фактором, що викликає погіршення характеристик міцності поверхневого шару сталі. У той же час говориться про відсутність у результатах експериментів прямого зв'язку між загальним насиченням воднем та зменшенням мікротвердості. Для пояснення цього факту здобувач використовує концепцію залежності дифузійної рухливості водню, що поглинений металом, від виду іонів водню. Ця концепція на теперішній час не є загально визнаною.Тому вважаю, що такі фізичні процеси потребують подальшого вивчення.
8. У дисертаційній роботі та авторефераті є невиправлені друкарські помилки:
   стор. 9, обидва пункти, в яких йдеться про практичне значення отриманих результатів, мають номери 1 та 1;
   стор. 13, п. 1.2, «у началі XX століття», тоді як всюди «на початку»;
   стор. 18, стор. 20, «область», тоді як в інших місцях і на рис. 1.6 – «зона»;
   стор. 22, рис. 1.10, «фукция плотности вероятности» та деякі інші.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Нечаєва Андрія Вікторовича «Дослідження негативного впливу електризованої пари на робочі лопатки вологопарових турбін та розробка методів їх захисту» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки. Вона є закінченою науково-дослідною роботою, в якій одержані нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, що є значущими для розвитку

турбінобудування. Дисертаційна робота і автореферат оформлені з дотриманням вимог, встановлених МОН України щодо кандидатських дисертацій.

Висловлені вище зауваження не знижують позитивного враження про дисертаційну роботу в цілому. Беручи до уваги актуальність теми дисертаційних досліджень, ступінь обґрунтованості результатів, наукову новизну та повноту викладу результатів в опублікованих працях здобувача, вважаю, що дисертація «Дослідження негативного впливу електризованої пари на робочі лопатки вологопарових турбін та розробка методів їх захисту» повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 (зі змінами) щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Нечаєв Андрій Вікторович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки.

Офіційний опонент
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
професор кафедри турбінобудування
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут» Валерій СУБОТОВИЧ

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
ЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ХІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
Заковоротний О.Ю.
08 2020 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ * Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" * код 02071180 *