

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Нечаєва Андрія Вікторовича**
"Визначення негативного впливу електризованої пари на робочі
лопатки волого-парових турбін та розробка методів їх захисту",

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.16 - "Турбомашини та турбоустановки".

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та її відповідність планам наукових досліджень

Однією з актуальних проблем, що впливають на ефективність і надійність волого-парових турбоустановок, є ерозія робочих лопаток турбін. Незважаючи на багаторічну історію вивчення фізичних процесів, що відбуваються при розвитку ерозійного руйнування поверхні лопаток, ці процеси залишаються не до кінця вивченими. Зокрема такими процесами є електрофізичні процеси, що виникають в двофазному потоці при його електризації і взаємодії з робочими лопатками. Електризація волого-парового потоку здатна інтенсифікувати корозійні електрохімічні процеси на поверхні робочих лопаток, негативно впливаючи на надійність і ефективність турбіни.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми вивчення негативної дії пари, що електризується, на міцнісні властивості робочих лопаток парових турбін і розробку методів їх захисту від електрофізичних пошкоджувальних чинників. Виходячи з цього вважаю, що тема представленої дисертаційної роботи Нечаєва А.В. є актуальною.

Дисертаційна робота пов'язана з напрямками наукових досліджень Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України в 2010 – 2019 рр. у рамках бюджетних тем, де автор був виконавцем окремих їх розділів.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, що є сформульованими у дисертації

Представлена до захисту дисертаційна робота є науковою працею, яка складається з вступу, п'яти розділів, висновків по роботі, списку використаних джерел, що містить 107 найменувань та трьох додатків.

У вступі докладно обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено її зв'язок із науково-дослідними роботами Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України. Також було визначено мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження. Наведено перспективні шляхи

вирішення поставлених завдань, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Представлено інформацію про публікації автора та апробацію матеріалів дисертації з відзначенням особистого внеску здобувача в кожній роботі.

У першому розділі наведено огляд науково-технічної інформації про феномен спонтанної електризації потоку водяної вологої пари в каналах і соплах парових машин. Розглянуто інформацію про феномен електризації металевого тіла в потоці аерозолі. Показано зв'язок цих явищ з процесами електризації пари і ротора у волого-парових турбінах. Розглянуто дослідження спонтанної електризації вологої пари і супутніх електрофізичних явищ в парових турбінах та їх вплив на ефективність і надійність. Розглянута проблема ерозійного пошкодження деталей волого-парових турбін, обумовлена наявністю в робочому тілі крапельної вологи і основні методи захисту від ерозії. На основі проведеного аналізу публікацій зроблено висновок, що електризована волога пара і супутні електрофізичні явища здатні негативно впливати на конструкційні матеріали проточної частини волого-парової турбіни і в першу чергу на поверхні робочих лопаток, але в сучасних методах захисту лопаток від дії вологості парового потоку пошкодjuвальні фактори, обумовлені електризацією пари не враховуються. Тому виникає необхідність в дослідженнях дії електризованого волого-парового потоку на міцнісні властивості лопаткових матеріалів. На основі аналізу стану проблеми сформульовані основні задачі дослідження та шляхи їх розв'язання.

Другий розділ присвячено експериментальному дослідженню впливу іонізованої пари і електричного поля на міцнісні властивості поверхні лопаткової сталі. Отримані автором експериментальні дані дали змогу виявити, що заряджене дисперсне середовище має суттєву пошкодjuвальну здатність по відношенню до поверхні лопаткової сталі. Характер впливу зарядженого парового потоку залежить від швидкості зіткнення потоку з поверхнею сталі, знака електричного заряду крапельної вологи, газової атмосфери, в якій відбувається взаємодія вологи та металу, вихідного стану металеві поверхні та її електричного потенціалу.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу постійних і змінних електричних полів на мікротвердість поверхневого шару зразків лопаткової сталі 15X11МФ. Отримані результати дозволили виявити що електричне поле, як постійне так і змінне, що впливає на поверхню зразка лопаткової сталі, змінює мікротвердість за пластичної деформації. Вплив позитивного електричного потенціалу, також як і дія позитивно заряджених крапель, чинить неміцніючий вплив на поверхню

лопаткової сталі. Негативний потенціал впливає менше і в даному випадку призводить до збільшення мікротвердості. Найбільш негативним є вплив змінного електричного поля, проте він проявляється переважно в тонкому (порядку мікрометра) поверхневому шарі. Максимальне зменшення мікротвердості в тонкому поверхневому шарі сталі може досягати величини порядку 30 %. Внаслідок цього при спільній дії ударів ерозійно-небезпечних крапель і електричного поля пошкоджуваність поверхні може виявитися істотно вищою, ніж в разі ударів лише нейтральних крапель.

У четвертому розділі наведено аналіз проблеми фізичної інтерпретації пошкоджуваності поверхневого шару лопаткової сталі під впливом іонізованої пари та електричного поля. У розділі розглянуті сучасні моделі механізму пошкоджуваності поверхні сталі в процесах крапельно-ударної ерозії. Показано, що ні в одній із загальноприйнятих моделей пошкоджуваності в явній формі не враховуються електричний заряд краплі і електрофізичні явища, які виникають при електризації волого-парового потоку. В розділі наведено оцінювальний розрахунок наводнення лопаткової сталі робочих лопаток виникаючого в наслідок дії електризованої пари і електрофізичних явищ. Показано що за наявності електричного заряду крапель, поверхня робочих лопаток опиняється під дією іонного струму і відбувається насичення воднем поверхневого шару лопаткового матеріалу, що призводить до деградації міцнісних властивостей лопаткового матеріалу. В розділі зроблено висновок, що зміна властивостей робочого тіла в результаті електризації як функціонального і ерозійного середовища, викликає істотне посилення ерозійних процесів на поверхні лопаткового матеріалу.

П'ятий розділ містить практичні рекомендації щодо зменшення негативного впливу електризації робочого тіла та електрофізичних явищ на поверхневий шар робочих лопаток. Запропоновано випарний спосіб видалення вологи з каналів направляючого апарата волого-парового турбінного ступеня з урахуванням електризації крапель. Крім того для зменшення електризації пари пропонується вибір раціонального водно-хімічного режиму, використання нейтралізації потоку пари, використання покриття направляючих лопаток з матеріалів, що дозволяють мінімізувати електризацію потоку або створюють негативну електризацію, що незначно знижує міцнісні властивості поверхні лопаток.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, що сформульовані в дисертації базується на:

– докладному аналізі літературних джерел щодо сучасних даних відносно ролі електрофізичних явищ у ерозійно-корозійних процесах пошкодження елементів проточної частини волого-парових турбін;

– використанні сучасних теоретичних і експериментальних методів дослідження та відповідного математичного апарату;

– співставленні отриманих автором результатів з відомими результатами інших дослідників у цій галузі.

3. Достовірність отриманих результатів і розроблених на їх основі рекомендацій підтверджуються:

– використанням класичних експериментальних методів дослідження, програмного продукту Elcut для моделювання електричного поля, застосуванням сучасного математичного апарату щодо оцінки похибок вимірів та обробки результатів стендових 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 теоретичних досліджень та фізичних експериментів.

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

4. Основні наукові результати досліджень та наукова новизна дисертації

Нові, науково обґрунтовані результати, які отримано здобувачем, полягають у тому, що в дисертаційній роботі поставлена і розв'язана науково-практична задача дослідження негативного впливу електризованої пари на робочі лопатки волого-парових турбін і запропоновані методи їх захисту.

Здобувачем 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 дії постійного та змінного електричного поля.

Запропоновано 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.

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

Таким чином, в роботі отримано нові результати, які уточнюють та доповнюють фізичні уявлення відносно процесів ерозійно-корозійного руйнування поверхні робочих лопаток волого-парових турбін, та дають інформацію важливу для розробки нових методів захисту поверхні робочих лопаток.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Результати дослідження можуть бути використані для розробки нових методів ерозійних випробувань лопаткових матеріалів, при проектуванні волого-парових турбінних ступенів, при прогнозуванні ресурсу роботи робочих лопаток парових турбін, при організації заходів щодо захисту лопаток від несприятливого впливу зарядженого парового потоку та електрофізичних явищ.

На основі результатів дослідження запропоновано випарний спосіб запобігання утворенню ерозійно-небезпечної вологи у волого-парових турбінах. Спосіб дозволяє суттєво зменшити витрати пари на видалення вологи за рахунок регулювання нагріву напрямних лопаток по сигналу електричного зонду, що визначає наявність крапель в потоці робочого тіла, і сигналу термопари який обмежує перегрів. Крім того, запропоновано методи зниження негативного впливу електризації потоку на робочі лопатки турбіни шляхом раціонального вибору водно-хімічного режиму і використання покриттів на соплових лопатках які знижують ефект електризації робочого тіла, що дозволяє істотно (в 2 рази) підвищити ресурс робочих лопаток.

Запропоновані в дисертації методи захисту робочих лопаток будуть використані під час розробки перспективних вдосконалених конструкцій циліндрів низького тиску волого-парових турбін в акціонерному товаристві «Турбоатом».

6. Апробація результатів дисертації

Матеріали дисертації опубліковано в 11 наукових роботах, дві з яких - без співавторів. У період з 2013 по 2019 рр. результати виконаних досліджень пройшли апробацію на 5 Міжнародних науково-практичних конференціях. Кількість публікацій, в яких відображено результати досліджень, відповідає вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій.

Автореферат є ідентичний за змістом з викладеними положеннями дисертаційної роботи та достатньо повно відображає всі наукові результати, які були отримані здобувачем.

7. Оформлення дисертації

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. Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки.

8. Основні зауваження по дисертаційній роботі

За змістом дисертації і автореферату є наступні зауваження:

1. У роботі деградацію механічних властивостей металу оцінювали лише за зміною мікротвердості, що утруднює прогнозування його роботоздатності, зокрема, залишкового ресурсу.

2. Автор розглядає проблему експлуатаційної деградації лопаткових сталей акцентуючи увагу на наводненні металу. Однак дискусійним залишається питання відносно взаємозв'язку між наводненням та деградацією міцнісних властивостей поверхні металу. В наведених експериментальних даних збільшення поглиненого зразком водню не завжди викликає зменшення мікротвердості. Так у розділі 2.5 на нашу думку треба звернути увагу на неоднозначну залежність мікротвердості від кількості поглиненого водню.

3. В розділі 2.6 не зрозуміло чому в експерименті на стенді з вакуумованою проточною частиною електризація позитивним та негативним зарядом проводилася за різними значеннями напруги іонізації. Бажано було б використовувати однакові значення напруги.

4. З тексту дисертації не зрозуміло як впливає електризація вологої пари на економічність турбіни.

5. Автор не пояснює, яким чином корекція ВХР для заглушення електризації пари може вплинути на корозійні процеси в турбіні.

По тексту дисертації інколи зустрічаються незначні описки (вступ, розділ 1).

9. Загальні висновки по дисертаційній роботі

На основі розгляду дисертації, автореферату і наукових публікацій здобувача вважаю, що представлена до захисту дисертаційна робота Нечаєва Андрія Вікторовича "Визначення негативного впливу електризованої пари на робочі лопатки волого-парових турбін та розробка методів їх захисту", виконана на актуальну тему та є закінченим науковим дослідженням. Зроблені зауваження дещо знижують наукову цінність дисертаційної роботи Нечаєва А. В., але дозволяють у цілому оцінити її позитивно. Робота містить нові, науково обґрунтовані результати, що спрямовані на вдосконалення конструкцій волого-парових турбін, підвищення їх ефективності та надійності.

На підставі цього вважаю, що представлена до захисту дисертація 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 за спеціальністю 05.05.16 - турбомашини та турбоустановки.

Офіційний опонент
кандидат технічних наук,
Швецов Віктор Леонідович,
головний конструктор парових турбін
АТ «Турбоатом»

В. Л. Швецов

Підпис В.Л. Швецова
засвідчую



Начальник ВРП
Кириченко Г.І.