

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



к.т.н., доц.

Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

“22” 05 2025 р.

з протоколу № 16 від 25 квітня 2025 р. розширеного засідання
кафедри теплової та альтернативної енергетики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри теплової та альтернативної енергетики: зав. кафедри, д.т.н., проф. Черноусенко О.Ю., проф., д.т.н., проф. Безродний М.К., проф. д.т.н., проф. Недбайло О.М., проф., д.т.н., проф. Абдулін М.З., проф., д.т.н., проф. Дешко В.І., проф. д.т.н., проф. Бовсуновський А.П., доц., к.т.н., доц. Бутовський Л.С., доц., к.т.н., доц. Боженко М.Ф., доц., к.т.н., доц. Баранюк О.В., доц., к.т.н., доц. Білоус І.Ю., доц., к.т.н., доц. Романова К.О., доц., к.т.н., доц. Сірий О.А., доц., к.т.н., доц. Студенець В.П., доц., к.т.н., доц. Риндюк Д.В., доц., к.т.н., доц. Середа В.В., доц., к.т.н., доц. Соломаха А.С., доц., к.т.н., доц. Пешко В.А., доц., к.т.н., доц. Притула Н.О., доц., к.т.н., доц. Шкляр В.І., доц., к.т.н., доц. Дубровська В.В., ст. викл., к.т.н. Шелешей Т.В., к.т.н. Власенко О.В, ас. Яценко О. І., ст.викл. Меренгер П.П., аспірантка Беднарська І.С., магістрант Тихонюк С.О.

- з інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського: ас. кафедри атомних електричних станцій Федоров Д.О., ас. кафедри цифрових технологій в енергетиці Беспала О.М.

Запрошені з інших організацій:

- Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»: зав. кафедри турбінобудування Усатий О.П., д.т.н., проф.

- Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут": зав. каф. аерогідродинаміки Третяк О.В., д.т.н., доц.

- Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка: завідувач відділу коливань і вібраційної надійності Деркач О.Л., к.т.н, старший дослідник.

- Інститут енергетичних машин і систем ім. А.М. Підгорного НАН України: зав. відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень Сметанкіна Н.В., д.т.н., проф.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри теплової та альтернативної енергетики Носаля Олександра Юрійовича за матеріалами дисертаційної роботи «Вібродіагностика пошкоджень конструктивних елементів парової турбіни при її експлуатації і ремонті», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика. Освітньо-наукова програма «Теплоенергетика».

Тему дисертаційної роботи «Вібродіагностика пошкоджень конструктивних елементів парової турбіни при її експлуатації і ремонті» затверджено на засіданні Вченої ради теплоенергетичного факультету (протокол № 4 від «22» листопада 2021 року).

Науковим керівником затверджений д.т.н., проф. Бовсуновський А.П.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

д.т.н., проф. Черноусенко О.Ю., д.т.н., проф. Сметанкіна Н.В., к.т.н., доц. Риндюк Д.В., к.т.н., доц. Пешко В.А., к.т.н., доц. Баранюк О.В.

Відповіді на поставлені запитання було надано в повному об'ємі по мірі їх надходження.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

к.т.н., доц. Риндюк О.В., к.т.н., доц. Пешко В.А., д.т.н., проф. Бовсуновський А.П., д.т.н., проф. Черноусенко О.Ю., д.т.н., проф. Дешко В.І., к.т.н., доц. Бутовський Л.С.

Виступаючі дали позитивну оцінку проведеного здобувачкою дослідження, відзначили актуальність теми дисертаційної роботи, підкреслили новизну та практичну цінність отриманих результатів, відзначили загальний високий науково-технічний рівень роботи.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Виявлення пошкоджень у конструктивних елементах парової турбіни – складне завдання, розв'язання якого супроводжується значними теоретичними й практичними труднощами. Використання локальних неруйнівних методів діагностики пошкоджень можливе під час проведення ремонтних робіт і потребує значних витрат часу.

Вібраційні методи діагностики для виявлення пошкоджень в обертових валах та лопатках парових турбін є практично єдиним способом запобігання технічній катастрофі.

Динамічні характеристики непошкодженого тіла та тіла з порушеною суцільністю зазвичай суттєво відрізняються. Ця різниця динамічних характеристик, яка зумовлена зміною жорсткості, може використовуватися для діагностування пошкодження (наприклад, тріщини втоми) та визначення його параметрів (розмірів і місцеположення).

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі Теплової та альтернативної енергетики, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Основні наукові результати дисертаційного дослідження отримано здобувачем на базі Навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики (НН ІАТЕ) та проведенням випусковою кафедрою науково-дослідної роботи в межах договору № 5162-ЗЕ-БуТЕС.

Запропонована тематика дисертації відповідає Законам України «Про пріоритетні напрями розвитку науки та техніки», «Про енергозбереження», «Про енергетичну ефективність» та напряму наукової школи: «Управління ефективністю процесів горіння та ресурсом обладнання теплової та альтернативної енергетики» під науковим керівництвом докторки технічних наук, професорки, завідувачки кафедри теплової та альтернативної енергетики Ольги Черноусенко.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Основний науковий результат полягає у розробленні ефективних методів вібраційної діагностики втомних тріщин у лопатках і роторах турбін на етапі ремонту та валопроводу турбіни під час експлуатації.

– **Вперше** обґрунтовано залежності між параметрами крайової поверхневої тріщини втоми (розмір і місцеположення), розмірами лопатки турбіни та початковою характеристикою демпфування (у непошкодженному стані), які отримано з використанням розробленої чисельно-аналітичної розрахункової моделі лопатки. Це дало змогу визначити вплив наявності тріщини на відносну зміну власних частот коливань, характеристику демпфування та спектр коливань;

– **Вперше** обґрунтовано залежності між параметрами крайової поперечної тріщини втоми (розмір і місцеположення), розмірами ротора та кутом повороту тріщини відносно осі обертання ротора, які отримано з використанням розробленої чисельно-аналітичної розрахункової моделі ротора. Це дало змогу визначити вплив наявності тріщини на відносну зміну власних частот поперечних коливань;

– **Вперше** обґрунтовано залежності між параметрами крайової поперечної тріщини втоми у валопроводі турбіни, які отримано з використанням розробленої чисельно-аналітичної розрахункової моделі валопроводу. Це дало змогу визначити вплив наявності тріщини на відносну зміну критичних швидкостей обертання;

– **Удосконалено** методичний підхід до дослідження поперечних коливань лопатки турбіни за допомогою розроблення чисельно-аналітичної розрахункової моделі, яка, на відміну від існуючих, враховує наявність крайової поверхневої тріщини втоми;

– **Удосконалено** методичний підхід до дослідження поперечних коливань роторів і валопроводу турбіни за допомогою розроблення чисельно-аналітичних розрахункових моделей, які, на відміну від існуючих, враховують наявність крайової поперечної тріщини втоми;

– **Набули подальшого розвитку** методи вібраційної діагностики пошкодження за результатами проведення порівняльного аналізу ефективності досліджених вібраційних характеристик пошкодження. Це дозволило визначити їхні

особливості та межі застосування для надійного виявлення пошкодження типу тріщини докритичного розміру.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи:

Головний практичний результат роботи полягає в розробленні методики вібраційної діагностики пошкоджень типу тріщини у лопатках і роторах турбін, які застосовуються на етапі ремонту турбіни, а також у валопроводі турбіни під час її експлуатації.

- розроблено чисельно-аналітичні розрахункові моделі для дослідження поперечних коливань лопаток, роторів і валопроводу турбіни, які дають змогу розв'язати зворотну задачу вібраційної діагностики, тобто за відомими змінами вібраційних характеристик пошкодження оцінити його параметри;

- проаналізовано вплив параметрів тріщини і геометричних характеристик об'єктів діагностики на вібраційні характеристики пошкодження для правильної інтерпретації результатів практичного застосування запропонованих методик;

- розроблено методики оцінки ефективності вібраційної діагностики пошкодження, які враховують як основний параметр похибку експериментальної методики діагностики та дають змогу провести порівняльний аналіз ефективності того чи іншого методу для достатньо надійного, з практичної точки зору, й своєчасного виявлення пошкодження докритичного розміру.

5. Використання результатів дисертації

Наукові результати дисертаційного дослідження впроваджено під час виконання науково-дослідної роботи в межах договору № 5162-ЗЕ-БуТЕС від 20.09.2024 р. між АТ «ДТЕК Західенерго» Відокремлений підрозділ «Бурштинська теплова електрична станція» та Корпорацією «Науковий парк «Київська політехніка» на тему «Розрахунок ресурсу ротора середнього тиску турбіни блоку № 11 для ДТЕК Бурштинська ТЕС».

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Носалю О.Ю. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 11 наукових публікацій, у тому числі:

- 5 статей у наукових фахових виданнях України;
- 1 теза за матеріалами наукової конференції проіндексованому в базах Scopus;
- 5 тези виступів на наукових конференціях.

Статті у наукових фахових виданнях України – 5 робіт

1. A. Bovsunovsky, O. Nosal (2022). «Contemporary approaches to the vibration diagnostics of rotating shafts». «Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України», *Journal of Mechanical Engineering* («Проблеми машинобудування»), том. 25, вип. 1, 2022 (березень), С. 15–23. DOI:10.15407/pmach2022.01.015. (Журнал включено до Переліку науково-технічних видань України, (категорія «Б»), відповідно до наказу МОН України від 02.07.2020 р.);

– у науковій праці здобувачем проведено порівняльний аналіз найбільш ефективних підходів до вібраційної діагностики пошкоджень обертових валів парових турбін;

2. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2022). «Моделювання розвитку тріщини втоми при поперечних коливаннях валу турбіни». Вінницький національний аграрний університет. *Вібрації в техніці та технології* 2022. – 1 (104), С. 63–70. DOI:10.37128/2306-8744-2022-1-8. (Журнал включено до Переліку науково-технічних видань України, (категорія «Б»), відповідно до наказу МОН України від 02.07.2020 р.);

– у науковій праці здобувачем оцінено максимальні напруження, що виникають у роторі високого тиску парової турбіни К-200-130 під час його проходження через критичну швидкість обертання, та кількість циклів навантаження, що призводять до росту тріщини;

3. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2024). «Особливості вібраційної діагностики пошкодження лопаток турбін». *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. Енергетика. Том 35 (74), № 4, 2024, С. 230-237. DOI:10.32782/2663-5941/2024.4/34. (Журнал включено до Переліку науково-технічних видань України, (категорія «Б»), відповідно до наказу МОН України від 17.03.2020 р. № 409 (додаток 1));

– у науковій праці здобувачем розроблено аналітичний підхід, що дає змогу моделювати коливання лопатки турбіни К-1000-60/3000 з тріщиною втоми, а також досліджувати вплив параметрів тріщини та геометричних характеристик лопатки на власні частоти коливань та оцінювати ефективність вібраційної діагностики пошкоджень;

4. Бовсуновський О.А., Носаль О.Ю. (2024). «Діагностика пошкодження роторів турбін на стадії ремонту». *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. Енергетика. Том 35 (74), № 4, 2024, С. 238–245. DOI:10.32782/2663-5941/2024.4/35. (Журнал включено до Переліку науково-технічних видань України, (категорія «Б»), відповідно до наказу МОН України від 17.03.2020 р. № 409 (додаток 1));

– у науковій праці здобувачем створено розрахункову модель для визначення зміни власної частоти коливань ротора турбіни К-200-130 у разі виникнення в ньому крайової поперечної тріщини втоми за різної її орієнтації відносно осі обертання, а також розроблено методiku діагностування тріщини в роторі турбіни на основі вібраційних досліджень ротора на стадії ремонту турбіни;

5. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2024). «Ефективність використання характеристик демпфування коливань лопаток турбін для діагностики тріщин». *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. №4., С. 71–79. DOI:10.20535/1813-5420.4.2024.315578. (Журнал включено до Переліку науково-технічних видань України, (категорія «Б»), відповідно до наказу МОН України від 24.09.2020 р. №1188).

– у науковій праці здобувачем розроблено аналітичний підхід, що дає змогу моделювати зміну характеристики демпфування коливань лопатки турбіни K-1000-60/3000 з тріщиною втомі, а також досліджувати вплив параметрів тріщини та геометричних характеристик лопатки на характеристику демпфування коливань для оцінки ефективності вібраційної діагностики пошкоджень.

Матеріали конференцій - 6 виступів

1. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2021). «Вплив тріщин на власні частоти коливань ступінчастих валів парових турбін». *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів*, (с. 203–204), м. Київ, 20–23 квітня 2021 р. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво «Політехніка», 2021. – ISBN: 978-966-990-026-5 (Т. 1) – 334 с.;

Особистий внесок здобувача – проведення порівняльної оцінки ефективності вібраційної діагностики тріщин різного типу при різних видах коливань ступінчастих валів турбін.

2. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2021). «Зміна характеристики демпфірування і власних частот як міра пошкодження валів». Тези доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції: «*Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*», (с. 40–41), 27–28 квітня 2021 р. – м. Харків: НТУ «ХПІ» ; Видавництво «Лідер», 2021. – ISBN: 978-617-7476-56-5 – 92 с.;

Особистий внесок здобувача – визначено умови, за яких характеристики демпфірування коливань і власні частоти є достатньо чутливими для надійного виявлення пошкоджень конструкції.

3. A. Bovsunovsky, O. Nosal (2021). «Highly sensitive methods for vibration diagnostics of fatigue damage in structural elements of aircraft gas turbine engines». 2nd International Workshop on Plasticity, Damage and Fracture of Engineering Materials (IWPDF 2021), August, 18–20, 2021, Ankara, Turkey. Published by Elsevier, *Procedia Structural Integrity*, 2021, 35 (C), pp. 74–81. DOI: 10.1016/j.prostr.2021.12.050; (матеріали конференції проіндексовано у базі *Scopus*);

Особистий внесок здобувача – проведено аналітичні та експериментальні дослідження цих методів вібраційної діагностики щодо лопаток авіаційних газотурбінних двигунів. В результаті досліджень було визначено інтенсивність зміни параметра супергармонічного резонансу та характеристик демпфування при різних параметрах тріщини, розроблено експериментальні методики вібраційних випробувань лопаток турбін.

4. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2023). «Оцінка чутливості демпфуючої здатності конструкцій». *Проблеми та перспективи розвитку науки, освіти, технологій і суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції*, (с. 28–30), (м. Кропивницький, 29 листопада 2023 р.): у 3 ч., Кропивницький: ЦФЕНД, 2023. Ч. 3. 73 с.;

Особистий внесок здобувача – створено САД – модель балки з урахуванням наявності в ній крайової поперечної тріщини для дослідження характеристики демпфування. На основі аналізу результатів досліджень розроблено умову достатньої чутливості демпфування для діагностики тріщини.

5. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2024). «Сучасні методи та підходи для проведення вібродіагностики обертових валів парових турбін». *Стан, проблеми та перспективи розвитку науки, освіти та технологій: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції*, (с. 61–62), (м. Ізмаїл, 20 лютого 2024 р.). Ізмаїл: ЦФЕНД, 2024. – ISBN: 978-617-8231-48-4 – 96 с.;

Особистий внесок здобувача – виконано аналіз літературних джерел і здійснено огляд сучасних методів та підходів для проведення вібродіагностики обертових валів парових турбін

6. Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. (2024). «Вібраційна діагностика втомних пошкоджень лопаток турбін». *Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т.: Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів*, (с. 146–148), м. Київ, 23–26 квітня 2024 р. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво «Політехніка», 2024. – ISBN: 978-966-990-112-5 (Т. 1) – 223 с.

Особистий внесок здобувача – продемонстровано ефективність методу вищих гармонік і характеристик демпфування для виявлення пошкоджень на ранніх стадіях лопаток газотурбінних двигунів, визначено умов, за яких ці методи є достатньо чутливими для надійної діагностики.

Якість та кількість публікацій відповідають «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Носаля О.Ю. «Вібродіагностика пошкоджень конструктивних елементів парової турбіни при її експлуатації і ремонті», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського Теплоенергетика зі спеціальності 144 Теплоенергетика.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Вібродіагностика пошкоджень конструктивних елементів парової турбіни при її експлуатації і ремонті», подану Носалем Олександром Юрійовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д.т.н., проф., завідувачка кафедри теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського **Черноусенко Ольга Юріївна**;

Члени:

Рецензенти:

к.т.н., доц., доц., кафедри теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського **Пешко Віталій Анатолійович**;

к.т.н., доц., доц., кафедри теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського **Риндюк Дмитро Вікторович**.

Офіційні опоненти:

д.т.н., проф., завідувачка відділу вібраційних і термоміцнісних напружень Інституту енергетичних машин і систем імені А.М. Підгорного Національної академії наук України **Сметанкіна Наталя Володимирівна**;

к.т.н., ст.досл., завідувач відділу коливань і вібраційної надійності Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка Національної академії наук України **Деркач Олег Леонідович**.

Зав. каф. теплової та
альтернативної енергетики
КПІ ім. Ігоря Сікорського
д.т.н., проф.

Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

Вчений секретар каф. теплової та
альтернативної енергетики
КПІ ім. Ігоря Сікорського
к.т.н., доц.

Олександр СІРИЙ