

ВІДГУК

**офіційного опонента, д.т.н., проф. Гевка Івана Богдановича
на дисертаційну роботу Будза Степана Федоровича
«Наукові засади забезпечення міцності та збільшення експлуатаційного
ресурсу котлоагрегатів теплоелектростанцій з пошкодженнями»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за
спеціальністю 05.02.02 – машинознавство**

1. Актуальність теми дослідження

На сьогоднішній день проблема продовження термінів експлуатації машин і машинних агрегатів та конструкційних елементів енергетичного обладнання належить до однієї з найважливіших у вітчизняній енергетиці, оскільки значна частина з них використала свій ресурс. Відмови в роботі обладнання теплоелектростанцій призводять до його серйозних поломок, руйнування будівельних конструкцій, спричиняють травмування обслуговуючого персоналу, наносять шкоду навколишньому середовищу та споживачам енергії, а також потребують значних затрат на його відновлення.

У зв'язку з цим актуальною є проблема збільшення експлуатаційного ресурсу котлоагрегатів енергоблоків теплоелектростанцій шляхом адекватного оцінювання міцності їх деталей, вузлів та механізмів за різних режимів промислової експлуатації, отримання кількісної оцінки залишкового ресурсу, а також розроблення теоретичних основ технології їх ремонту та відновлення з метою подовження термінів їх експлуатації.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх вірогідність та повнота викладу в опублікованих працях

Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформовані на основі результатів теоретичних та аналізу експериментальних даних, є достатніми та належним чином обґрунтованими. Для їх уточнення автором проведено необхідні теоретичні дослідження та обчислювальний експеримент, розроблено відповідні методики, опубліковано отримані результати, та одержано патенти на винаходи. Виявлена проблема і знайдено шляхи її вирішення.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено фізичною обґрунтованістю вихідних положень математичної моделі, строгістю постановки сформульованих задач та методів їх розв'язування, використанням експериментально визначених фізико-механічних характеристик матеріалів, доброю узгодженістю числових розв'язків окремих задач з відомими в літературі аналітичними розв'язками й результатами дослідно-промислової перевірки, а також виконаними дослідженнями достовірності розв'язків кожної із розглянутих в роботі задач на основі критерію «практичної збіжності».

Висновки до дисертаційної роботи є достовірними і підтверджуються результатами досліджень. Зокрема дані наведені в пунктах 2, 3 і 8 підтверджені результатами теоретичних досліджень, дані наведені в пунктах 4 - 7 і 9 - 12 підтверджені результатами теоретичних та експериментальних досліджень, пункти 13 - 15 отримано на основі експериментальних даних і підтверджено деклараційними патентами України на винахід.

Дисертаційна робота пройшла апробацію, а її основні положення доповідались на міжнародних науково-технічних конференціях. Основні результати дисертації представлені в 70 наукових працях, зокрема, в 1 монографії, в 7 розділах монографії виданої за кордоном, 24 статтях в наукових фахових виданнях України, з них 11 – у виданнях, що включені до наукометричної бази даних Scopus, 9 статей в інших наукових виданнях України, 3 патентах України на корисну модель та 26 публікаціях матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях. В опублікованих працях повністю викладено основні положення дисертаційної роботи.

3. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні важливої науково-технічної проблеми – розроблення наукових засад забезпечення міцності та збільшення експлуатаційного ресурсу діючих котлоагрегатів енергоблоків ТЕС з пошкодженнями за різних режимів експлуатації, а також теоретичних обґрунтувань і пропозицій щодо технології їх ремонту. При цьому вперше запропоновано на основі тривимірної теорії неізотермічної термопружно-пластичності математичну модель кількісного опису процесів деформування елементів котлоагрегатів за умов експлуатації з урахуванням їх реальної форми та геометричних параметрів експлуатаційних пошкоджень чи змін форми після ремонтних впливів, а також змін властивостей матеріалу в часі. З використанням запропонованої моделі досліджено міцність конкретних конструкційних елементів циркуляційного корпусу котлоагрегату з технологічними вибірками за умов, що відповідають режимам їх експлуатації. Уперше запропоновано раціональні геометричні параметри вибірок в околі отворів і на отворах барабана котлоагрегату, які дають можливість істотно понизити концентрацію напружень в околі зон з ремонтними втручаннями. В межах запропонованої моделі побудовано функціональні залежності між конструктивними параметрами технологічних вибірок для визначення таких геометричних параметрів вибірок, за яких експлуатаційні напруження в штуцерах не перевищують допустимих. Уперше отримано залежності між максимальними напруженнями та геометричними параметрами потоншеної ділянки екранної труби, які дозволяють визначити мінімально допустиму товщину стінки труби, за якої експлуатаційні напруження не перевищують заданого допустимого рівня.

4. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони безпосередньо використані при розробленні та вдосконаленні технології ремонту елементів діючих котлоагрегатів, паспортний ресурс яких вичерпано, а також для кількісної оцінки їх залишкового експлуатаційного ресурсу з урахуванням часової деградації матеріалу, експлуатаційних пошкоджень та ремонтних втручань.

Запропонована методика визначення напружено-деформованого стану елементів котлоагрегатів дає можливість виявити ділянки найімовірнішої появи дефектів та з'ясувати причини їх виникнення.

На підставі виконаних досліджень розроблено науково-обґрунтовані рекомендації, які використано при вдосконаленні існуючих і створенні нових технологій ремонту елементів котлоагрегатів Бурштинської та Добротвірської ТЕС, які вичерпали свій паспортний ресурс. Розроблені рекомендації покладені в основу прийняття рішень про подальшу експлуатацію даних котлоагрегатів.

5. Оцінка змісту роботи в цілому

Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків, серед яких є акти про використання науково-дослідних робіт у виробництві. Загальний обсяг дисертації становить 327 сторінок машинописного тексту. Текст дисертації супроводжується 177 рисунками.

У вступі подано загальну характеристику роботи; обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами; сформульовано мету і задачі дослідження; окреслено новизну отриманих результатів та їх практичне значення; наведено дані про апробацію результатів роботи та публікації її основного змісту, а також особистий внесок здобувача в публікаціях у співавторстві; зроблено короткий опис структури дисертації.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан проблеми забезпечення міцності котлоагрегатів енергоблоків ТЕС і оцінювання їх залишкового ресурсу. Описано контур циркуляції котлоагрегату та визначено його основні елементи. Обґрунтовано необхідність використання уточнених математичних моделей при дослідженні напружено-деформованого стану елементів котлоагрегату. Показано необхідність розроблення наукових основ кількісного опису процесів деформування елементів котлоагрегатів з пошкодженнями за врахування деградації металу, часової зміни міцнісних і пластичних характеристик металу, реальної геометричної форми, конструкційних особливостей і умов експлуатації елементів котлоагрегату, а також методології їх ремонту з метою продовження термінів експлуатації.

У другому розділі запропоновано варіант теорії термопружно-пластичності для кількісного опису механічних процесів у конструктивних елементах котлоагрегатів за дії термосилового навантаження, що відповідає умовам експлуатації. Наведено вихідні співвідношення, що пов'язують параметри, які характеризують процеси теплопровідності та деформування.

Котлоагрегат розглядається як просторово тривимірне пружно-пластичне тіло. Задачу про визначення і дослідження напружено-деформованого стану цього тіла за термосилового навантаження сформульовано за два етапи. На першому – записано рівняння теплопровідності і відповідні умови теплообміну між тілом і робочим середовищем (водно-паровою сумішшю) та довір'ям. На другому етапі сформульовано вихідні співвідношення, що описують напружено-деформований стан тіла, для яких вхідними є визначені на першому етапі розподіли температури в тілі. В основу математичної моделі для кількісного опису термомеханічних процесів у просторово тривимірному тілі покладено співвідношення неізотермічної термопружно-пластичності. Усі теплофізичні й механічні характеристики матеріалу залежні від температури.

На основі методу скінченних елементів (для апроксимації шуканих розв'язків за просторовими змінними) і сім'ї різницевих алгоритмів (для їх апроксимації за часом) запропоновано методику числового моделювання термомеханічних процесів в тілі котлоагрегату в рамках розробленої математичної моделі за умов, що моделюють експлуатаційні. Запропонована методика дає можливість розраховувати теплові й механічні поля в областях складної геометричної форми за врахування температурної залежності властивостей матеріалів і пружно-пластичного деформування

Приведено опис методології визначення експлуатаційного ресурсу котлоагрегату шляхом визначення його стану за рівнем накопиченої пошкодженості металу на основі виконаних досліджень міцності і визначених максимальних експлуатаційних напружень в котлоагрегаті за різних режимів його промислової експлуатації.

У третьому розділі подано результати досліджень напружено-деформованого стану діючих барабанів котлоагрегатів ТЕС з урахуванням експлуатаційних пошкоджень і ремонтних втручань під час стаціонарної експлуатації з урахуванням плавного коливання температури робочого середовища, планового пуску-зупинки, гідравлічних випробувань та аварійної зупинки. Визначено найнапруженіші місця барабанів під час експлуатації – невеличкі зони з яскраво вираженою концентрацією напружень локального характеру, з яких найімовірніше почнеться руйнування, і отримано оцінки максимальних напружень в них. Показано, що за умов циклічного навантаження метал буде пристосовуватись в цих зонах, і умов руйнування від малоциклової втоми не виникатиме. Виявлено, що пошкодження в цих зонах найімовірніше можуть виникати в процесі охолодження барабана. В решті частині барабана рівень напружень такий, що руйнування і виникнення пошкоджень там малоімовірне.

Обґрунтовано технологію ремонту пошкоджених зон шляхом усунення частини металу в них разом з дефектами (шляхом технологічних вибірок). Досліджено вплив різних (за геометричними параметрами та локалізацією) технологічних вибірок металу (на отворах, на тілі барабана в околі отворів) на напружений стан барабана. Виявлено, що найнебезпечнішими з позицій міцності є вибірки на тілі барабана в околі отворів. Показано, що максимальні напруження в зоні вибірки істотно залежать від форми та розмірів вибірки. Визначено раціональні за напруженнями геометричні параметри вибірок, за

яких максимальні напруження в околі ремонтних втручань є найменшими з можливих.

У четвертому розділі наведено результати досліджень на міцність колекторів з дефектами на внутрішній поверхні, визначено параметри пошкоджень, за яких можливе подальше їх використання, та можливі причини виникнення пошкоджень (з метою подальшого впливу на них та їх мінімізації). Встановлено, що поперечні тріщини між отворами в колекторі виникають при значних температурних градієнтах за товщиною колектора в нестационарних режимах різкого охолодження (за аварійної зупинки котлоагрегату чи при відхиленні в режимах охолодження). Виконано дослідження напружено-деформованого стану колектора за різних параметрів тріщин. Встановлено коефіцієнти інтенсивності напружень в околі вершини тріщини. Шляхом порівняння отриманих теоретичних оцінок з експериментальними характеристиками матеріалу встановлено можливість подальшої експлуатації колекторів з пошкодженнями.

У п'ятому розділі подано результати розрахунку на міцність екранних труб з експлуатаційними потоншеннями за дії внутрішнього робочого тиску та різних перепадів температури по товщині труби. Побудовано функціональні залежності між максимальними напруженнями і геометричними параметрами потоншеної ділянки труби. Показано, що на основі встановлених залежностей можна визначити мінімальну товщину стінки труб, при якій експлуатаційні напруження не перевищують заданого допустимого рівня. Проаналізовано вплив геометричних параметрів зони потоншення на напружений стан труби. Виявлено, що максимальні напруження виникають в місці максимального потоншення (мінімальної товщини труби). Максимальні напруження у зоні потоншення труби при довжинах пошкодженої ділянки понад 10 см однозначно визначаються глибиною пошкодження. Зі зменшенням довжини (менше 10 см) максимальні напруження починають поступово спадати. Встановлено мінімальну допустиму товщину стінки труби в серединній зоні пошкодженої ділянки з різними коефіцієнтами запасу. Показано, що градієнт температури за товщиною стінки труби при її зовнішньому обігріві, спричиняє стискальні напруження у зовнішньому приповерхневому шарі, які понижують рівень сумарних розтягувальних напружень від внутрішнього тиску. В міру зменшення градієнта температури при виході на стаціонарний режим експлуатації зменшується його вплив на пониження рівня максимальних розтягувальних напружень.

У шостому розділі досліджено на міцність штуцери після усунення певного об'єму деградованого чи механічно пошкодженого металу з допомогою технологічної вибірки. Побудовано функціональні залежності між геометричними параметрами вибірок і максимальними напруженнями в штуцерах, з використанням яких можна визначити такі геометричні параметри вибірки, за яких напруження в штуцері не перевищують допустимих. Отримано раціональні форми вибірок. Дослідження напруженого стану штуцера з двома протилежно розташованими вибірками показали, що нема взаємовпливу вибірок на напружений стан, що виникає в їх околі.

У сьомому розділі досліджено можливість продовження термінів

експлуатації котлоагрегатів на Бурштинській та Добротвірській ТЕС. Розглянуто роботу котлоагрегатів за стаціонарного режиму експлуатації з урахуванням термоцикування, режиму планових «пусків-зупинок», гідравлічних випробувань та аварійних зупинок. Засобами комп'ютерного моделювання виявлено, що найістотніший вклад в накопичену пошкоджуваність металу вносить режим планового "пуску-зупинки". Показано, що для зменшення внеску цього режиму в накопичувану пошкоджуваність металу можна дещо зменшити швидкість зростання (спадання) температури робочого середовища – до 3 °С/хв (і, по-можливості, ще менше в перші хвилини зупинки) і збільшити швидкість зростання (спадання) тиску робочого середовища (водно-парової суміші) хоча б до 0,15 МПа/хв (а краще до 0,25 МПа/хв). Визначено також максимальне значення амплітуди коливання температури водно-парової суміші (5 °С) під час стаціонарного режиму експлуатації, за якої вплив цього режиму на накопичувану пошкоджуваність металу сходить нанівець.

6. Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату у достатній мірі відображає основні положення та результати дисертаційної роботи, висновки в дисертації та авторефераті повністю ідентичні.

7. Основні зауваження по роботі

1. В основних співвідношеннях термопружно-пластичності наявні масові сили, однак при розв'язуванні конкретних задач ці сили не враховувались.
2. Не виписано, як визначати залишковий ресурс колекторів, екранних труб чи штуцерів.
3. У роботі всі результати подано у вигляді графічного матеріалу, а доцільно було б подати основні залежності чи результати, отримані в роботі, у вигляді простих співвідношень чи табличних даних.
4. Не достатньо обґрунтовано, чому найбільший внесок в накопичувану пошкоджуваність дає режим «пуску-зупинки», а не, скажімо, аварійної зупинки чи гідравлічних випробувань.
5. Результати дисертаційної роботи не містять економічної оцінки ефективності впровадження результатів.
6. В тексті дисертації та автореферату зустрічаються деякі описки, невдалі звороти та стилістичні неточності.
7. Значна кількість літературних джерел як дисертації, так і в авторефераті оформлена некоректно.

8. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Будза Степана Федоровича на тему: «Наукові засади забезпечення міцності та збільшення експлуатаційного ресурсу котлоагрегатів теплоелектростанцій з пошкодженнями» є завершеним науковим дослідженням. Тема та зміст роботи відповідають паспорту спеціальності 05.02.02 – машинознавство. Автореферат дисертації відображає її основний зміст, положення, висновки та рекомендації.

За актуальністю і науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень, практичними результатами, ступенем апробації результатів дослідження на конференціях і в фаховій літературі представлена дисертаційна робота Будза Степана Федоровича повністю відповідає існуючим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук і п. 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 (зі змінами), та всім вимогам МОН України до докторських дисертацій, а її автор, Будз Степан Федорович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.02 - машинознавство.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор
професор кафедри автомобілів
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя



Гевко І.Б.

Підпис д.т.н., проф. Гевка І.Б. засвідчую:

Проректор з наукової роботи
ТНТУ ім. І.Пулюя, д.т.н., проф.



Рогатинський Р.М.