

## **В І Д Г У К**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Потопальської Ксенії Євгенівни

**«Прогнозування надійності елементів конструкцій**

**з локальними корозійними пошкодженнями**

**на основі статистичної оцінки статичної та циклічної міцності»,**

яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

*Актуальність теми дисертаційної роботи.* Експлуатація більшості сучасних машин, в першу чергу в енергетичному машинобудуванні, завжди відбувається в умовах дії широкого спектру інтенсивних навантажень, особливо динамічного характеру. В разі дії такого навантаження відбувається циклічне деформування матеріалу машини, що призводить до виникнення тріщин втоми і, як наслідок, можливої втрати несучої здатності як окремого конструктивного елемента, так і машини в цілому. Попередження таких ситуацій можливе, по-перше, за рахунок використання на етапі проектування елементів конструкцій високоефективних та надійних методів їх розрахунку на міцність і, по-друге, закладання таких коефіцієнтів запасу міцності, які б гарантували необхідні терміни безвідмовної експлуатації. Але проблема полягає в іншому. На даний час значна частина відповідального енергетичного обладнання в Україні вичерпала проектний ресурс. Тому виникає нагальна економічна потреба в подовженні строку його експлуатації, що обумовлює необхідність обґрунтування подальшого надійного функціонування. Це дозволяють здійснити сучасні розрахункові методи та можливості обчислювальної техніки. Але при вирішенні такої науково-технічної проблеми виникає необхідність врахування ряду чинників, які незалежно від навантаження можуть суттєво впливати на роботоздатність машин та їх вузлів. Так, якщо це стосується елементів енергетичного машинобудування, то внаслідок їх тривалої експлуатації під дією агресивного зовнішнього середовища на приповерхні виникають різного роду дефекти. Їх наявність обумовлює формування концентраторів напружень та їх локалізацію, наслідком чого може бути ініціювання процесу накопичення втомних пошкоджень з подальшим можливим виходом з ладу обладнання. При цьому слід відзначити, що ці процеси носять випадковий характер. Тому розробка розрахункових підходів до прогнозування надійності та оцінки залишкового ресурсу елементів конструкцій, в першу чергу енергетичного машинобудування, з урахуванням експлуатаційних пошкоджень корозійної природи, на основі статистичної оцінки їх статичної та циклічної міцності, що є основною задачею представленої дисертаційної роботи, є актуальною науково-практичною задачею.

***Зв'язок роботи з пріоритетними науковими програмами, планами, темами.*** Тема представленої дисертаційної роботи у цілому відповідає затверджених на законодавчому рівні пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України. Дисертаційна робота підготовлена в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» на кафедрі динаміки та міцності машин, де сформувалася відома як в Україні, так і за її межами наукова школа з розробки методів та засобів надійності і довговічності енергетичних машин. Про це свідчить те, що дисертаційна робота підготовлена в рамках виконання держбюджетної теми Міністерства освіти і науки України та Європейської науково-дослідної програми.

***Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій роботи*** полягає в тому, що основні результати досліджень отримані з використанням широко апробованих відповідного математичного апарату та засобів комп'ютерного моделювання за допомогою сучасних програмних комплексів; доброю узгодженістю даних прогнозування ресурсу з відомими із практики експлуатації машинобудівних конструкцій, а також задовільним порівнянням з отриманими результатами іншими дослідниками. Це стало можливим завдяки коректності постановки задачі та чіткості формулювання задач для розв'язання.

***Наукова новизна результатів роботи*** полягає в тому, що з використанням удосконалених статистичних моделей оцінки процесу накопичення втомних пошкоджень набули подальшого розвитку розрахункові методи прогнозування надійності та визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій з урахуванням дії корозійного середовища, які дали можливість встановити нові статистичні закономірності випадкової зміни параметрів НДС у часі, викликаних формуванням концентрації напружень навколо об'ємних поверхневих дефектів та удосконалити відомі методи оцінки процесу розвитку пошкоджуваності при багато- та малоцикловій втомі, а також вперше отримані закономірності формування ресурсу елементів конструкцій в залежності від прогнозованих розмірів корозійного дефекту та впливу накопичених втомних пошкоджень у матеріалі під час експлуатації таких об'єктів.

***Практичне значення*** отриманих у роботі результатів досліджень полягає в їх спрямованості на розв'язання реальних задач прогнозування надійності елементів конструкцій з корозійними дефектами. Так, здійснено оцінку залишкового ресурсу пошкоджених ділянок криволінійних частин магістральних трубопроводів та насосів, що використовуються у енергетичному машинобудуванні, і розроблено рекомендації щодо раціонального вибору параметрів ремонтних накладок.

Отримані результати досліджень можуть в подальшому бути використані для прогнозування надійності елементів конструкцій з пошкодженнями широкого класу машин та обладнання, діагностування технічного стану

таких конструкцій та своєчасного планування ремонтних робіт з використанням розроблених скриптових програм, які дають можливість автоматично отримувати оцінки параметрів НДС та надійності.

Робота виконувалась в рамках дослідницького гранту «INNOPIPES», реалізація якого відбувалась в рамках міжнародних програм ЄС, а її результати також впроваджені у практику проектно-дослідних робіт інженерно-технічного центру «КОРО» (м. Харків) та у навчальний процес НТУ«ХПІ».

**Оцінка структури, обсягу та змісту роботи.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Дисертація викладена на 156 сторінках, з них 124 сторінки основного тексту, включає 77 рисунків та 19 таблиць, Список використаних літературних джерел складає 167 найменувань.

**У вступі** приведено обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи та розкрито сучасний стан досліджень в науковому напрямку у відповідності з постановкою задачі. Сформульовано мету роботи, задачі, які необхідно вирішити для її реалізації, та можливості практичного використання результатів досліджень. Обґрунтована наукова новизна результатів роботи, наведені відомості про їх апробацію та подано список публікацій авторки роботи і висвітлено її особистий внесок в публікаціях, які підготовлені в спів-авторстві.

**Перший розділ** присвячено опису сучасних підходів до прогнозування надійності конструкцій, а також чисельного моделювання корозійних пошкоджень. Представлено результати огляду відомих з науково-технічної літератури досліджень, які спрямовані на визначення ресурсу елементів конструкцій, що використовуються при транспортуванні енергоносіїв та в енергетичному машинобудуванні. Визначено існуючі підходи до врахування накопичення втомних пошкоджень у матеріалі елементів конструкцій при їх довготривалій експлуатації та під дією циклічного навантаження. Показано, що деякі питання в сформульованому науковому напрямку недостатньо вивчені та потребують подальшого розвитку, що і визначило мету роботи та задачі, які необхідно розв'язати для її досягнення.

**У другому розділі** представлено теоретичні основи розв'язання задачі статистичної оцінки стану елементів конструкцій з пошкодженнями, зокрема визначення прогнозованих габаритних розмірів дефектів при статистичному моделюванні, та визначено методологію дослідження. Наведено розв'язок задачі пружно-пластичного деформування з кінематичним зміцненням при кусково-лінійній діаграмі деформування. Визначено залежності кінетики росту розмірів корозійного дефекту в часі у різних напрямках. В рамках континуальної механіки пошкоджуваності удосконалені методи щодо врахування накопичення втомних пошкоджень внаслідок циклічного навантаження при довготривалій експлуатації елементів конструкцій та представлено розрахунковий підхід до оцінки надійності та прогнозування їх залишкового ресурсу.

**У третьому розділі** представлені розроблені параметричні математичні моделі визначення напружено-деформованого стану криволінійної частини

трубопроводу за наявності тривимірного поверхневого дефекту корозійного характеру. Наведено результати досліджень особливостей формування концентрації напружень в її пошкоджених ділянках з урахуванням можливих варіації експлуатаційного навантаження та стохастичного характеру розвитку корозійного дефекту. З використанням розробленого підходу до прогнозування надійності елементів конструкцій визначено параметри пошкоджуваності та кількість циклів до відмови коліна трубопроводу з вибраним поверхневим дефектом, який розвивається внаслідок дії зазначених умов навантаження.

Результатам досліджень з визначення впливу композиційного бандажу на ресурс трубопроводу з дефектом розглядаються в *четвертому розділі* роботи. Визначено його раціональну товщину для криволінійної частини трубопроводу з дефектом, розміри якого були отримані під час діагностики трубопроводу, що знаходиться в експлуатації. З використанням розробленої математичної моделі накопичення втомних пошкоджень визначено залишковий ресурс криволінійній частині трубопроводу з дефектом середніх розмірів при використанні композиційного бандажу.

*В п'ятому розділі* викладені дані оцінки залишкової міцності насосу, який використовується в енергетичному машинобудуванні та відпрацював свій проектний термін експлуатації, з урахуванням зменшення товщини стінок корпусних деталей від ерозійно-корозійного зносу. На основі розробленої математичної моделі накопичення втомних пошкоджень та з використання отриманих результатів про НДС конструкції визначено параметр пошкоджуваності для усіх прогнозованих рівнів зменшення товщини стінки конструкції. Проведено дослідження щодо оцінки надійності даної конструкції з урахуванням ерозійно-корозійного зносу.

*Публікації та оприлюднення результатів.* За матеріалами дисертації здобувачкою опубліковано 15 наукових праць, серед яких 4 статті у фахових виданнях України, 2 статті у закордонних журналах та 1 у вітчизняному виданні, які індексуються міжнародною науково-метричною базою Scopus, 2 публікації у закордонних виданнях та 6 тез доповідей і матеріалів конференцій.

Матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 6-ти міжнародних наукових конференціях. Окремі розділи роботи були представлені на науковому семінарі в Інституті механіки Магдебурзького університету (м. Магдебург, ФРН). В повному обсязі робота доповідалась на засіданні кафедри динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

В опублікованих працях в достатній мірі висвітлені основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи.

### ***Основні зауваження по роботі.***

1. Слід відзначити деяку обмеженість огляду досліджень щодо сучасного стану вирішення проблем прогнозування надійності машин та їх елементів конструкцій, оскільки він стосується здебільшого надійності магістральних трубопроводів. Хоча це і важливий об'єкт, однак бажано було б більше уваги приділити об'єктам енергетичного машинобудування, тому саме на це звертається увага при обґрунтуванні актуальності роботи.

2. У розділі 2 представлено теоретичні основи визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій. Це комплексна задача. Однак вирішення задач пружно-пластичного деформування у рамках МСЕ та визначення параметру пошкоджуваності пропонується визначати окремо. Бажано було б навести обґрунтування введених спрощень при вирішенні задачі в такій постановці.

3. Основний метод досягнення мети робот - це розрахункове прогнозування ресурсу елементів конструкцій. В зв'язку з цим авторка використовує один з найбільш апробованих засобів – метод скінченних елементів. Однак в роботі при вирішенні прикладних задач не наведено обґрунтування щодо вибору типу скінченного елемента та недостатньо уваги приділено оцінці якості розрахункових сіток, що дуже важливо з точки зору достовірності результатів розрахунків.

4. Корозійний дефект моделюється у вигляді об'ємного паралелепіпеда, хоча в дійсності вони можуть бути різної геометричної форми. Так бувають розгалужені нерегулярні пошкодження, дефекти еліпсоїдної форми, тріщиноподібні та інші. Тому необхідно було надати пояснення щодо вибору дефекту саме такої форми.

5. Авторка чомусь зупинилася на вирішенні задачі у квазі-статичній постановці. Але ж в експлуатації на елементи конструкцій діє широкий спектр динамічних навантажень, які можуть суттєво вплинути на їх залишковий ресурс.

6. На жаль, в тексті роботи не вдалося уникнути граматичних помилок та деяких редакційних неузгодженостей. Так, наприклад, на більшості рисунків представляю ті чи інші залежності, однак підписуночі надписи починаються зі слів «вплив», «значення», «пошкоджуваність» і тому інше.

### **Загальний висновок**

Результати проведеного аналізу дисертаційної роботи Потопальської Ксенії Євгенівни «Прогнозування надійності елементів конструкцій з локальними корозійними пошкодженнями на основі статистичної оцінки статичної та циклічної міцності» дозволяють зробити однозначний висновок, що вона є завершеним науковим дослідженням з розв'язання актуальної науково-технічної задачі прогнозування надійності елементів конструкцій машин та іншого обладнання, яке виконано на високому рівні з використанням сучасних методів та методик. Робота за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Сформульовані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки роботи, їх слід розглядати як побажання здобувачці наукового ступеню для подальшої плідної науково-дослідної роботи.

Автореферат достатньо відповідає змісту дисертаційної роботи, оформлення дисертації і автореферату в цілому відповідає нормативним вимогам.

Робота задовольняє вимогам п. 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів», щодо кандидатських дисертацій, а її авторка, К.Є. Потопальська, безумовно заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент

Заст. директора Інституту проблем

міцності імені Г.С.Писаренка

НАН України з наукової роботи,

завідувач відділу коливань та вібра-

ційної надійності

доктор технічних наук, професор



А.П. Зінковський