

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Алфьорова Олексія Ігоровича  
на дисертаційну роботу Потопальської Ксенії Євгенівни  
«Прогнозування надійності елементів конструкцій з локальними корозійними  
пошкодженнями на основі статистичної оцінки статичної та циклічної  
міцності», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних  
наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

### **Актуальність теми.**

У сучасному машинобудуванні питанням визначення працездатності конструкцій та прогнозуванню їх надійності приділяється багато уваги. Згадані питання особливо актуальні для сучасного енергетичного машинобудування, яке характеризується наявністю істотної частки елементів конструкцій, що експлуатуються у даний час та вже відпрацювали свій проектний ресурс. Тим не менше дані конструкції продовжують ефективно та безвідмовно працювати завдяки закладеним досить консервативним проектним коефіцієнтам запасів міцності, більш того, ще можуть використовуватись і надалі за умови проведення процедур оцінки їх поточного технічного стану та/або проведенні ремонтних чи відновлювальних робіт. Разом із тим слід відмітити, що за час своєї досить тривалої експлуатації згадані машинобудівні конструкції та їхні елементи були здатні набути дефектів, накопичити різноманітних пошкоджень, зазнати впливу деградаційних процесів. Прогнозування надійності таких конструкцій та визначення їхнього залишкового ресурсу при врахуванні поточного стану суттєво спрощує планування їхнього технічного обслуговування, що передбачає ремонти або заміну окремих елементів цих конструкцій. Тому задачі, які спрямовані на визначення параметрів надійності з використанням сучасних комп'ютерних комплексів з можливістю проводити розрахунки для пошкоджених елементів конструкцій з прогнозованими дефектами на поверхні є актуальними.

Дисертацію виконано на кафедрі Динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Робота є частиною виконання держбюджетної теми МОН України (ДР № 0117U004969) та Міжнародного науково-дослідного проекту (INNOPIPES, contr. № PIRSES-GA-2012-318874), а її результати впроваджені в проектно-конструкторську діяльність українського інженерного центру «КОРО», що підтверджує актуальність роботи.

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Представлені в роботі наукові положення та сформульовані висновки і рекомендації впливають із її змісту і постановки задач досліджень. Обґрунтованість наукових положень забезпечується коректним застосуванням сучасних методів теорії пружності та пластичності, теорії надійності, використанням сучасних розрахункових програмних комплексів на базі методу скінченних елементів (МСЕ). Висновки та рекомендації, що сформульовані в роботі виходять з критичного аналізу отриманих в дисертації результатів, є достатньо аргументованими. Достовірність результатів досліджень забезпечується коректністю постановок математичних задач й, відповідністю змісту теоретичних положень фізичній суті описуваних процесів та явищ.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи.**

Проведено оцінку впливу параметрів об'ємних дефектів корозійної природи на поверхні криволінійних ділянок елементів конструкцій для транспортування енергоносіїв та енергетичного машинобудування на концентрацію параметрів напружено-деформованого стану (НДС) в зоні вказаних дефектів за їх різних параметрів та з урахуванням стадії їх розвитку.

Виконано прогнозування можливого стохастичного розвитку корозії у часі, що дозволило вперше отримати статистичні оцінки щодо можливої

варіації концентрації напружень в елементах конструкцій для транспортування енергоносіїв та енергетичного машинобудування на їх криволінійних ділянках.

Вперше визначено параметр пошкоджуваності з урахуванням випадкової зміни параметрів НДС в часі, яка викликана формуванням концентрації напружень навколо об'ємних поверхневих дефектів, зокрема для випадків статистичного прогнозу їх можливого розвитку.

Отримані нові оцінки параметрів надійності конструкцій на основі удосконалених статистичних моделей оцінки процесу накопичення втомних пошкоджень при багато- та малоцикловій втомі на прогноз залишкового ресурсу, які на відміну від існуючих, враховують вплив наявності корозійних дефектів різного ступеня розвитку.

**Практичне значення отриманих результатів** для машинобудування складають:

- можливість діагностування технічного стану конструкцій для транспортування енергоносіїв та своєчасне планування ремонтних робіт за допомогою розрахункових моделей та визначених основних закономірностей формування НДС в умовах експлуатації;
- рекомендації щодо раціонального вибору параметрів ремонтних накладок пошкоджених криволінійних ділянок елементів конструкцій для транспортування енергоносіїв;
- можливість за допомогою розроблених скриптових програм автоматично отримувати оцінки параметрів надійності на основі запропонованих теоретичних положень для здійснення оцінки залишкового ресурсу пошкоджених конструкцій.

Результати, отримані в дисертації, впроваджені відповідно до результатів виконання дослідницького гранту «INNOPIPES», реалізація якого відбувалась в рамках 7-ої рамкової програми ЄС, Дії Марії Кюрі. Окрім цього розроблені методики впроваджені у практику проектно-дослідних робіт

інженерно-технічного центру «КОРО», (м. Харків), а також у навчальний процес НТУ «ХП».

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 15 наукових працях, 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.

З аналізу публікацій можна зробити висновок, що основні результати дисертації були повністю висвітлені в наукових виданнях та у цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації повністю відповідають вимогам МОН України.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел інформації та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет досліджень, основні наукові результати, їхні наукова новизна та практичне значення, зазначено особистий внесок здобувача у роботи, що виконані у співавторстві, наведено відомості про публікації та інформацію про апробацію результатів досліджень.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих методів і методик прогнозування надійності елементів конструкцій, а також підходи до визначення ресурсу елементів конструкцій, що використовуються при транспортуванні енергоносіїв та в енергетичному машинобудуванні. Проаналізовані та описані сучасні підходи, які спрямовані на чисельне моделювання корозійних пошкоджень. Переглянуті сучасні літературні джерела, що спрямовані на оцінку накопичення втомних пошкоджень у

матеріалі елементів конструкцій під час довготривалої експлуатації під дією циклічного навантаження. Засновуючись на аналізі літератури зроблено висновок про недостатню вивченість предмету дослідження та визначені найбільш перспективні шляхи до розв'язання поставленої в роботі мети.

У другому розділі сформовано теоретичні основи розв'язання задачі статистичної оцінки елементів конструкцій, що використовуються при транспортуванні енергоносіїв та мають набуті дефекти корозійної природи, а також здатні накопичувати втомні пошкодження. Представлено розв'язання даної задачі за допомогою генерації ансамбля моделей із прогнозування можливих розмірів дефекту для його фіксованого рівня розвитку на основі статистичного моделювання з відомими із літератури даними щодо швидкості росту корозії в різних напрямках. Вирішується задача пружно-пластичного деформування, яка зводиться до ітераційної процедури, що реалізується методом Ньютона-Рафсона у рамках методу скінчених елементів (МСЕ). Розглянуті питання математичного моделювання пошкоджуваності елементів конструкцій з корозійним дефектом при накопиченні багато- або мало-циклової втоми.

У третьому розділі розроблений розрахунковий підхід впроваджено для оцінки надійності та прогнозу залишкового ресурсу криволінійної частини магістрального трубопроводу. На базі МСЕ у пружно-пластичній постановці визначено особливості формування концентрації напружень в пошкоджених ділянках елементів конструкцій із урахуванням експлуатаційної варіації навантаження та стохастичного характеру розвитку корозійного дефекту. Для криволінійної частини трубопроводу отримано параметри надійності та визначено кількість циклів до відмови коліна трубопроводу з тривимірним поверхневим дефектом відремонтованих елементів конструкцій.

У четвертому розділі проведено розрахунки щодо визначення ефективності впливу композиційного бандажу на ресурс трубопроводу з дефектом. Отриманні значення про раціональну товщину композиційного бандажу для криволінійної частини трубопроводу з дефектом різних

розмірів. Відповідно до розробленої математичної моделі накопичення втомних пошкоджень визначено кількість циклів до відмови при використанні композиційного бандажу на криволінійній частині трубопроводу з дефектом середніх розмірів та наведено рекомендації щодо подальшої експлуатації.

У п'ятому розділі розглянуто питання оцінки залишкового ресурсу відцентрового насосу, що працює в понадпроектний термін експлуатації на електростанції з урахуванням ерозійно-корозійного зносу. На основі розробленого підходу до прогнозування надійності визначено кількість циклів до відмови насосу при отриманих розрахунках НДС конструкції та при накопиченні втомних пошкоджень у матеріалі з урахуванням прогнозованого стоншення стінки конструкції при подальшій експлуатації.

У висновках коротко висвітлюється ступінь розв'язання поставлених в роботі задач, що свідчить про повноту їхнього вирішення та досягнення поставленої мети.

### **Зауваження по дисертаційній роботі**

1. У роботі проводяться статичні розрахунки криволінійної частини трубопроводу під дією внутрішнього тиску, який змінюється лінійно. Авторкою не враховано, що при експлуатації зовнішнє навантаження може мати більш складний змінний у часі характер, зокрема і нерегулярний, перехідний або навіть випадковий.

2. У роботі при прогнозуванні надійності враховується тільки фактор поступових відмов, але як відомо в експлуатації мають місце також раптові відмови. Робота значно б виграла як би була проведена статистична оцінка раптових та поступових відмов відповідних елементів конструкцій.

3. У роботі розглядаються одиночні дефекти корозійної природи та ерозійно-корозійний знос, що враховано явним чином. При цьому, не зрозуміло, як враховується зміна властивостей матеріалу за рахунок фізико-хімічних змін внаслідок корозії.

4. Прогнозування надійності та визначення залишкового ресурсу проводиться на основі розрахунків щодо аналізу міцності, тобто проводиться порівняння експлуатаційних пошкоджень з граничними значеннями. Було б доречно оцінити залишковий ресурс з урахуванням дії граничного навантаження. Тобто проводити порівняння статистики зміни навантажень із статистикою граничних значень навантаження не для матеріалу, а для конструкції.

5. У роботі проведено статистичні розрахунки НДС конструкції, та здійснено аналіз статистичних даних виникаючих напружень. Апроксимацію сформованих гістограм еквівалентних напружень пропонується проводити поліномом Лагера. Разом із тим у тексті дисертації дуже стисло наведено обґрунтування щодо вибору даного закону.

6. У третьому розділі проводиться оцінка надійності криволінійної частини трубопроводу з дефектом. З тексту роботи не зрозуміло, як ця частина пов'язана з системою магістральних трубопроводів та як саме враховується вплив пошкодженої ділянки на усю систему.

7. У розділі 5 вирішується задача щодо визначення залишкового ресурсу відцентрового насосу при стоншенні його корпусу. З тексту роботи не зрозуміло, як визначалось значення стоншення стінки для розрахунків НДС.

8. У розділі 4 розглядається ефективність впливу ремонтного композиційного бандажу на залишковий ресурс трубопроводу. З тексту дисертації не зрозуміло з якого матеріалу вироблено дану ремонтну накладку, яким чином її встановлюють на трубопровід та як це враховано при розрахунках.

9. У тексті дисертації є деякі стилістичні помилки. У розділі 2 однаковим символом ( $F$ ) позначено функцію тензору напружень у підрозділі 2.2 та потенціал дисипації у підрозділі 2.3. Для формули (2.28) не наведено пояснень щодо її компонентів. Також у розділі 2 та 3 напруження

позначаються символом ( $\sigma$ ), а у формулі 3.4 теж саме позначення для середнього квадратичного значення сплесків навантаження.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

### **Висновок**

Дисертаційна робота Потопальської Ксенії Євгенівни «Прогнозування надійності елементів конструкцій з локальними корозійними пошкодженнями на основі статистичної оцінки статичної та циклічної міцності» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову задачу, суть якої полягає в розробці підходу до прогнозування надійності елементів конструкції, які мають набуті корозійні пошкодження з урахуванням накопичення втомних пошкоджень у матеріалі.

Дисертація відповідає вимогам п.п. 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор, Потопальська Ксенія Євгенівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент,

кандидат технічних наук, доцент

Харківський національний технічний університет

сільського господарства ім. Петра Василенка,

проректор з науково-педагогічної роботи.

Алфьоров О.І.

