

Підходи щодо оцінювання ресурсу технічних об'єктів та систем

Проблема забезпечення надійної роботи технічних об'єктів стає дедалі все більш актуальною, оскільки старіння обладнання та конструкцій викликає накопичення пошкоджень, розвиток дефектів, незворотні зміни властивостей конструкційних матеріалів і параметрів елементів технічних об'єктів. Тому в статті здійснено аналіз існуючих підходів щодо оцінки надійності технічних об'єктів, зокрема оцінювання залишкового ресурсу, виявлено основні недоліки сучасних методів контролю металевих конструкцій впродовж експлуатації, запропоновано підхід щодо оцінки залишкового ресурсу технічних об'єктів. Доведено, що при відсутності макродефектів граничний стан визначається критичними величинами місцевих напружень або деформацій з урахуванням зон концентрації напружень и результатів вимірювань місцевих напруг та деформацій. Введення в розрахунок вимірних значень напруг та деформацій, критеріїв статичної, тривалої і циклічної міцності дозволяє встановити допустиме значення навантаження і оцінити ресурс безпечної експлуатації, в тому числі і при аварійних режимах.

Ключові слова: надійність; вимірювання механічних напруг; вимірювання деформацій; напружено-деформований та граничний стан; залишковий ресурс.

Постановка проблеми. Проблема забезпечення надійної роботи технічних об'єктів стає дедалі все більш актуальною, оскільки старіння обладнання та конструкцій викликає накопичення пошкоджень, розвиток дефектів, незворотні зміни властивостей конструкційних матеріалів і параметрів елементів технічних об'єктів і, як наслідок, поступове зниження їх функціональності, що згодом призводить до відмов і до настання граничного стану, після чого подальша експлуатація неможлива [1–7].

Зазначена проблема ускладнюється відсутністю науково обгрунтованої концепції технічної діагностики та визначення ресурсу, а також недостатньою ефективністю традиційних методів і засобів неруйнівного контролю матеріалів [4, 6–9].

При цьому повинні вирішуватися ряд питань:

- кількісний аналіз вихідного, використаного і залишкового ресурсів об'єктів;
- оцінка стану конструкційних матеріалів;
- визначення характеру, параметрів, дислокації та розмірів макро- і мікродефектів;
- розрахунковий і експериментальний аналіз напружено-деформованих станів несучих елементів;
- дослідження механізмів природного і прискореного старіння матеріалів і обладнання;
- оцінка живучості матеріалів і елементів конструкцій на різних стадіях пошкоджень;
- побудова математичної моделі функціонування об'єкта і його підсистем для визначення фактичного стану і залишкового ресурсу;
- комплексна діагностика об'єкта для визначення залишкового ресурсу;
- попереднє та уточнене розрахунково-експериментальне визначення залишкового ресурсу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі аналізу існуючих підходів до оцінки залишкового ресурсу технічних об'єктів, що склалися в різних галузях промисловості, можна виділити наступні загальні тенденції:

1. Багато фахівців при визначенні надійності обладнання переходять від імовірнісних методів оцінки ресурсу, заснованих на статистиці відмов, до оцінки індивідуального ресурсу старіючих технічних об'єктів на основі комплексного підходу, що поєднує результати руйнівного і неруйнівного контролю з перевірочними розрахунками на міцність.

2. При оцінці ресурсу намітилася тенденція до переходу від дефектоскопії до методів технічної діагностики, що засновані на поєднанні механіки руйнувань, матеріалознавства і неруйнівного контролю, тобто до методів неруйнівного контролю напружено-деформованого стану обладнання і конструкцій.

3. Усвідомлено необхідність в обов'язковому обстеженні старіючого обладнання та конструкцій для визначення потенційно небезпечних зон.

Разом з тим варто зазначити недоліки і недоробки, що мають місце при реалізації таких підходів. Так, при комплексному застосуванні різних методів і засобів неруйнівного і руйнівного контролю строго встановленого порядку їх застосування для конкретного об'єкта контролю не існує. Послідовність, порядок, обсяг і періодичність контролю обладнання, як відомо, визначаються, з одного боку, розрахунковим ресурсом, міжремонтним періодом, а з іншого – наявністю засобів і методів контролю з врахуванням експлуатаційних можливостей [8, 10, 11].

У найбільш відповідальних галузях промисловості (наприклад, в атомній і тепловій енергетиці) є спеціальні інструкції про порядок і періодичність контролю і про продовження терміну служби обладнання. Однак навіть в цих галузях (передових з точки зору організації контролю за станом об'єктів) існує проблема визначення граничного стану матеріалу і оцінки індивідуального ресурсу обладнання.

Так, наприклад, для металу існуючі методики перевірконого розрахунку на міцність можна умовно розділити на чотири групи:

- розрахунки за швидкістю корозії;
- тріщиностійкості;
- втоми металу;
- обладнання, що працює в умовах повзучості.

При цьому головний недолік відомих методик полягає в тому, що вони припускають низькі значення допустимих напружень σ .

В той же час практика експлуатації показує, що надійність і ресурс обладнання визначаються, в основному, зонами концентрації напруг, в яких фактичні напруги можуть досягати межі текучості та навіть перевищувати його. Крім того, застосовуються методи перевірконого розрахунку на міцність не враховують роботу металу обладнання та конструкцій в умовах ковзання і зсувної деформації, а саме ці умови є основними при експлуатації [1, 9].

Існуючі в даний час методики розрахунку на міцність зазвичай припускають незалежність процесів корозії, втоми і повзучості, хоча на практиці вони протікають одночасно в різному поєднанні.

Аналіз технічних можливостей відомих методів контролю і вимірювань напружень і деформацій в металовиробах і зварних з'єднаннях конструкцій виявив їх істотні недоліки:

- неможливість використання більшості методів в області пластичної деформації;
- локальність контролю (непридатність для контролю протяжних конструкцій);
- відсутність обліку зміни структури металу;
- виконання контролю тільки на поверхні виробів, оцінка глибинних шарів металу і металу зварних з'єднань неможлива;
- необхідність побудови градувальних графіків на попередньо виготовлених зразках;
- потреба в спеціальній підготовці контрольованої поверхні і об'єктів контролю (зачистка, активне намагнічування, клейка датчиків і ін.);
- складність знаходження місць розташування датчиків контролю по відношенню до напрямку дії головних напружень і деформацій, що визначають надійність конструкції.

Формулювання мети статті. Ефективність експлуатації технічного об'єкта, в першу чергу, пов'язана з його надійним використанням за призначенням, тому основне завдання управління процесом технічного використання об'єкта полягає в підвищенні частки часу використання при прийнятних витратах на технічне обслуговування і ремонт.

Викладення основного матеріалу досліджень. Для того, щоб технічні об'єкти відповідали сучасному рівню науково-технічного прогресу, вони мають бути наділені високою надійністю. Основою для цього служить комплекс заходів, що застосовуються на стадіях проектування, виготовлення, монтажу та експлуатації. На рисунку 1 запропоновано блок-схему оцінки залишкового ресурсу.

За результатами прогнозування на стадії експлуатації можливе збільшення ресурсу і термінів експлуатації елементів технічних систем. Вирішення цього завдання передбачає встановлення якісних і кількісних закономірностей, що визначають ресурс, розробку методів оцінки впливу різних факторів на середній ресурс і витрати ресурсу об'єкта, що експлуатується, у часі [1–4].

Контрольованими параметрами можуть бути як безпосередньо вимірювані величини пошкоджень (глибина корозії або зношення деталі), так і вихідні параметри обладнання (продуктивність, коефіцієнт корисної дії, ступінь очищення тощо) та інші кількісні показники якості. Контроль зміни цих параметрів у міру наближення їх значень до гранично допустимих дозволяє прогнозувати момент настання відмови [5; 6]. Оцінка надійності в даному випадку здійснюється шляхом проведення періодичних обстежень об'єкта, вимірювання значень визначаючого параметра, статистичної обробки результатів вимірювань і подальшого розрахунку показників надійності.

Удосконалення методів розрахунків вимагає, зокрема, обліку стохастичної мінливості властивостей і структури системи, а також мінливості інших випадкових факторів. Необхідним етапом розвитку статистичного підходу повинна стати розробка в рамках існуючих детермінованих схем розрахунку методики оцінки надійності з урахуванням мінливості властивостей матеріалу і невизначеності вихідних даних.

Таким чином передбачається, що даний матеріал має однакові значення фізико-механічних характеристик у всіх точках «активної зони». Однак розрахунок повинен вестися з використанням математичних очікувань цих показників. Зважаючи на обмеженість доступного обсягу інформації про властивості і складності їх обліку, практично неможливо достовірно визначити набір характеристик математичних очікувань. Доводиться користуватися їхніми оцінками, які асимптотично сходяться до відповідних істинних значень, але фактично є випадковими величинами.

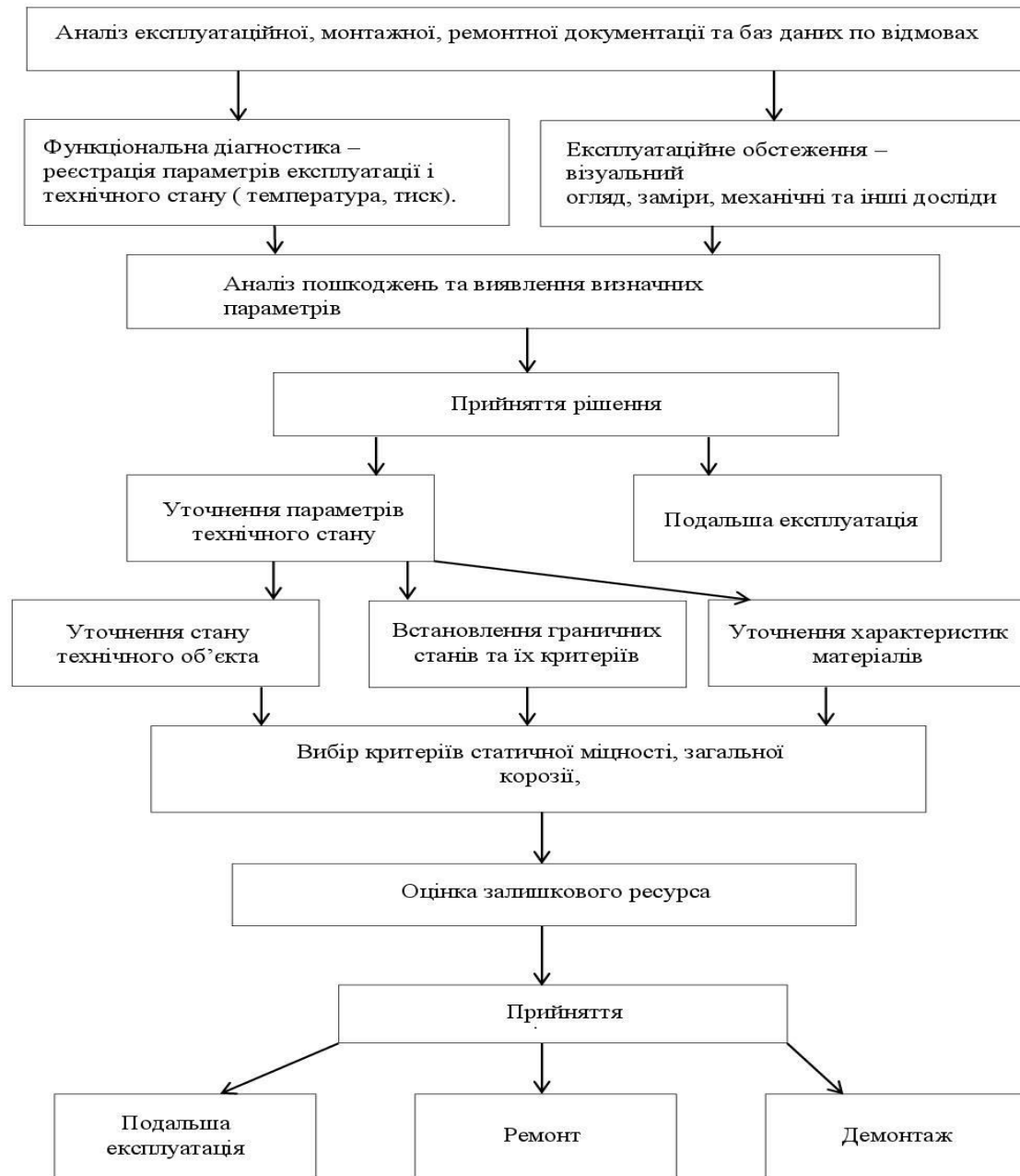


Рис. 1. Блок-схема оцінки залишкового ресурсу технічного об'єкта

Надійність системи в такому випадку визначається як ймовірність ненастання жодного з можливих граничних станів впродовж заданого терміну експлуатації. Як було відзначено, основними джерелами розвитку пошкоджень є зони концентрації напружень. Саме в них структурно-механічні властивості матеріалу необхідно досліджувати в першу чергу.

На стадії експлуатації машин, обладнання та конструкцій з урахуванням зміни стану конструктивних елементів і накопичення експлуатаційних пошкоджень проводять випробування як окремих вузлів, так і всього об'єкта, визначають залишкову міцність, ресурс і тріщиностійкість. Подовжувати ресурс безпечної експлуатації можна, застосовуючи усі види запасів – по номінальному напруженню, місцевим напруженням і деформаціям, тріщиностійкості, часу і числу циклів тощо.

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. Оскільки під ресурсом технічної системи розуміють її напрацювання від початку експлуатації до настання граничного стану, то поняття граничного стану допускає різне тлумачення в залежності від обраного критерію граничного стану. При відсутності макродефектів граничний стан визначається критичними величинами місцевих напружень або деформацій з урахуванням зон концентрації напружень і виділення характерних точок і величин напруг. Введення в розрахунок за критеріями статичної, тривалої і циклічної міцності коефіцієнтів запасу за місцевими напруженнями і деформаціями дозволяє встановити допустиме з точки

зору безпеки сумарне навантаження по часу, числу циклів і температурі і оцінити ресурс безпечної експлуатації, в тому числі і при аварійних режимах. Слід зазначити, що значний вплив на накопичення пошкоджень, а відповідно, і на ресурс мають як конструктивні фактори, включаючи концентратори напружень, так і технологічні, що визначаються механічними властивостями матеріалу.

Список використаної літератури:

1. Reliability in the whole life cycle of building systems / S.Wu, D.Clements-Croome, V.Fairey and others // Eng. Constr. Architectural Manage. – 2006. – No. 13 (2). – Pp. 136–153.
2. Chybowski L. Basic Reliability Structures of Complex Technical Systems / L.Chybowski, S.Ólkiewski / Springer International Publishing. – Switzerland, 2015.
3. Кузьмич Л.В. Аналіз наявних методів та засобів вимірювання механічних напружень складних технічних систем на прикладі гідротехнічних споруд / Л.В. Кузьмич // Метрологія та прилади. – 2017. – № 5. – С. 89–93.
4. Фролов К.В. Проблемы безопасности сложных технических систем / К.В. Фролов, Н.А. Махутов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1992. – № 5. – С. 3–11.
5. Махутов Н.А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования / Н.А. Махутов. – Новосибирск : Наука. – 2008. – 528 с.
6. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В двух частях / Н.А. Махутов. – Новосибирск: Наука. – 2008. – Ч. 1: Критерии прочности и ресурса. – 494 с. ; Ч. 2: Обоснование ресурса и безопасности. – 610 с.
7. Морозов Е.М. Прочностный анализ. Фидесис в руках Инженера / Е.М. Морозов, В.А. Левин, А.В. Вершинин. – М. : ЛЕНАНД. – 2015. – 408 с.
8. Makhutov N.A. A comparative assessment of specification- based and risk- management- based approaches to the security assessment of complex technical systems / N.A. Makhutov, D.O. Reznikov // Journal of Machinery, Manufacture and Reliability. – 2011. – Iss. 40. – No. 6. – P. 579–584.
9. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки / Н.А. Махутов. – Новосибирск : Наука. – 2017. – 724 с.
10. Ching J. Equivalence between reliability and factor of safety / J.Ching // Probabilistic Engineering Mechanocs. – 2009. – No. 24 (2). – Pp. 159–171.
11. Шатов М.М. Методика назначения предельной вероятности отказа / М.М. Шатов, А.О. Чернявский // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2013. – № 1. – С. 51–55.

References:

1. Wu, S., Clements-Croome, D., Fairey, V. and others (2006), «Reliability in the whole life cycle of building systems», *Eng. Constr. Architectural Manage*, No. 13 (2), Pp. 136–153.
2. Chybowski, L. and Ólkiewski, S. (2015), *Basic Reliability Structures of Complex Technical Systems*, Springer International Publishing, Switzerland.
3. Kuz'mych, L.V. (2017), «Analiz najavnyh metodiv ta zasobiv vymirjuvannja mehanichnyh napruzhen' skladnyh tehnicnyh system na prykladi gidrotehnicnyh sporud», *Metrologija ta pryklady*, No. 5, Pp. 89–93.
4. Frolov, K.V. and Mahutov, N.A. (1992), «Problemy bezopasnosti slozhnyh tehniceskikh system», *Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin*, No. 5, Pp. 3–11.
5. Mahutov, N.A. (2008), *Prochnost' i bezopasnost': fundamental'nye i prikladnye issledovanija*, Nauka, Novosibirsk, 528 p.
6. Mahutov, N.A. (2008), *Konstrukcionnaja prochnost', resurs i tehnogennaja bezopasnost'*, V dvuh chastjah, Nauka, Novosibirsk, P. 1, *Kriterii prochnosti i resursa*, 494 p., P. 2, *Obosnovanie resursa i bezopasnosti*, 610 p.
7. Morozov, E.M., Levin, V.A. and Vershinin, A.V. (2015), *Prochnostnyj analiz. Fidesis v rukah Inzhenera*, LENAND, M., 408 p.
8. Makhutov, N.A. and Reznikov, D.O. (2011), «A comparative assessment of specification- based and risk- management- based approaches to the security assessment of complex technical systems», *Journal of Machinery, Manufacture and Reliability*, Iss. 40, No. 6, Pp. 579–584.
9. Mahutov, N.A. (2017), *Bezopasnost' i riski: sistemnye issledovanija i razrabotki*, Nauka, Novosibirsk, 724 p.
10. Ching, J. (2009), «Equivalence between reliability and factor of safety», *Probabilistic Engineering Mechanocs*, No. 24 (2), Pp. 159–171.
11. Shatov, M.M. and Chernjavskij, A.O. (2013), «Metodika naznachenija predel'noj verojatnosti otkaza», *Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashinju*, No. 1, Pp. 51–55.

Кузьмич Людмила Володимирівна – кандидат технічних наук, докторант кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- методи діагностування технічних систем;
- методи вимірювання механічних величин;
- електротехнічні системи та комплекси.

E-mail: klv@nau.edu.ua.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2018.