

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**О. Войналович, канд. техн. наук; Ю. Гнучій, докт. техн. наук;
М. Мотрич**

Національний аграрний університет

ЙМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ НЕБЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАКТОРІВ ЗА ДАНИМИ ДЕФЕКТОСКОПІЧНОГО КОНТРОЛЮ

У статті розвинено теорію ймовірнісного моделювання аварійних ситуацій складних технічних об'єктів за даними діагностичних досліджень. На основі сформованої бази даних щодо наявності тріщин небезпечного розміру в деталях вузлів тракторів різної тривалості експлуатації запропоновано методологію оцінення ймовірності настання аварійної ситуації після виявлення окремих тріщин у деталях систем трактора.

Статистика аварійних ситуацій, що сталися за участю сільськогосподарської техніки, показує, що основними їх причинами є як грубі порушення працівниками правил технічної експлуатації машин та устаткування, так і високий ступінь зношеності використовуваних мобільних машин. Тому до зниження виробничого травматизму серед механізаторів може призвести запровадження оперативного, технічно оснащеного контролю техніки тривалого використання з практично вичерпаним ресурсом. Такий контроль під час технічного обслуговування та ремонтування сільськогосподарської техніки можна запровадити після дослідження надійності приладів неруйнівного контролю, їх пристосованості до окремих видів сільськогосподарських машин та розроблення спеціалізованої методології контролю.

Для мобільної сільськогосподарської техніки виконання дефектоскопічного контролю є обмеженим як через відсутність необхідної кількості пристроїв неруйнівного контролю заданого класу точності та надійності виявлення дефектів, так і через відсутність методики кількісного оцінення у ймовірнісному аспекті наслідків раптового зруйнування окремих деталей та вузлів сільськогосподарських машин.

Технічний стан мобільних сільськогосподарських машин, що перебувають в експлуатації у господарствах України, характеризується 80–90 % вичерпанням ресурсу. Значна частина аварійних ситуацій при використанні такої техніки зумовлена раптовим зруйнуванням відповідальних деталей та елементів конструкцій, тобто за відносно справного стану вузлів сільськогосподарських машин тривалої експлуатації багато їх деталей можна вважати пошкодженими – розвинулися тріщини небезпечного розміру чи, навпаки, вони розвинулися з тріщин, які можна вважати малими (безпечними) на момент проведення експертизи.

За умов сільськогосподарського виробництва наявні засоби діагностування не можуть дати вірогідної інформації щодо ступеня небезпеки подальшого використання техніки і допомогти спрогнозувати час зруйнування відповідальних деталей. Навіть дефектоскопічні методи, як прямі способи технічного діагностування, залишають інформаційну невизначеність настання аварійних ситуацій, адже дані

дефектоскопічного контролю не є повними. До того ж наявність малих тріщин у деталях та елементах конструкції не завжди призводить до руйнування, а отже, вузол машини можна експлуатувати ще тривалий час.

Тому ймовірнісне прогнозування показників ризику експлуатації повинно ґрунтуватися на інформації про наявність тріщин різного розміру в сукупності деталей окремих вузлів.

Метою даної роботи є розроблення підходів щодо оцінення ймовірності настання аварійних ситуацій за даними дефектоскопічного контролю вузлів трактора. Використання під час проведення ремонтних робіт запропонованих методик дозволить оцінити ступінь небезпеки наступної експлуатації сільськогосподарської техніки після виявлення тріщин у відповідальних деталях систем агрегату.

У роботі для виявлення тріщин у деталях вузлів сільськогосподарських машин було використано портативний вихорострумовий дефектоскоп [1]. Використаний прилад неруйнівного контролю дозволив виявляти поверхневі тріщини без необхідності попередньо готувати (зішкрібати шар фарби, знежирювати тощо) поверхню досліджуваної деталі. Серед інших переваг цього дефектоскопа є відсутність крайового ефекту, зручність у використанні, надійність в роботі щодо виявлення непомітних для ока дефектів [2]. Застосування спеціально розроблених для типових профілів деталей датчиків дозволило спостерегти велику кількість деталей техніки сільськогосподарського призначення та застосувати до результатів контролю статистичні методи дослідження [3].

У даній роботі проаналізовано причини раптового падіння начіпного знаряддя трактора МТЗ-80. Вказана аварійна ситуація може скластися через зруйнування окремих деталей вузлів гідравлічної навісної системи - силового регулятора і циліндра, запірнього пристрою, розривної муфти, безпосередньо самого навісного пристрою, його механізму фіксування та ін. Щоб оцінити ймовірність раптового падіння начіпного знаряддя, було проведено дефектоскопічний контроль відповідальних деталей гідравлічної навісної системи трактора МТЗ-80 [4]. Загалом було проконтрольовано гідравлічні навісні системи 48 тракторів, які протягом трьох останніх років ремонтували у ремонтних підрозділах сільськогосподарських підприємств Фастівського району Київської області. Причиною проведення ремонтів частини тракторів були раніше виявлені негаразди саме у гідравлічній навісній системі, інші були направлені на ремонт з інших причин (дефекти у двигуні, силовій передачі та ін., виконання запланованих ремонтних робіт тощо). Тож стан гідравлічної навісної системи першої частини тракторів можна умовно класифікувати як несправний, а стан цього вузла в іншій групі тракторів – як умовно справний. Згідно з таким згрупуванням, до справного стану було віднесено гідравлічні навісні системи 15 проконтрольованих тракторів, а для інших 33 тракторів стан цього вузла було охарактеризовано як несправний.

Зокрема, дефектоскопічному контролю підлягало 9 відповідальних деталей, що входять до складу навісного пристрою трактора МТЗ-80 – верхня та нижні тяги, підймальний важіль циліндра, кронштейни, розкіс та ін. Для навісних пристроїв, що умовно (без інструментального дефектоскопічного контролю) перебували у справному стані, після обстеження датчиками вихорострумового дефектоскопа було знайдено 9 тріщин. У деталях несправних гідравлічних навісних систем у результаті виконаного дефектоскопічного контролю було виявлено 64 тріщини. Тобто у деталях деяких вузлів дефектоскопічний контроль не показав наявності тріщин, а у деяких вузлах було виявлено водночас декілька пошкоджених деталей.

Конструкційне виконання використаного у роботі портативного вихорострумового дефектоскопа дозволяє ступенево змінювати чутливість приладу щодо параметрів шуканих тріщин. Тому, послідовно перемикаючи чутливість під час

проведення дефектоскопічного контролю зазначених деталей гідравлічної навісної системи трактора МТЗ-80, було виокремлено групи тріщин за розмірами – малі, середні та великі. Перед цим для деталей з видимими неозброєним оком тріщинами було виконано тарування дефектоскопа на різних ступенях чутливості щодо виявлення вказаних груп тріщин.

Звичайно, виконаний у даній роботі дефектоскопічний контроль не можна вважати завершеним, адже не було враховано пошкоджуваність дрібних та неметалевих деталей, де виявити тріщини за допомогою вказаного дефектоскопа важко. Але навіть для такого неповного контролю підходи щодо оцінення ймовірності настання аварійних ситуацій є достатньо обґрунтованими.

Щоб оцінити інформативність отриманих даних дефектоскопічного контролю у роботі, було застосовано методи теорії інформації щодо зв'язків статистичних систем. Для випадку дефектоскопічного дослідження наявності тріщин у навісному пристрої трактора такими статистичними системами є система станів A вузла та пов'язана з нею система ознак B щодо розмірів виявлених тріщин. Згідно з [5], інформацію $J_A(B)$, яку дає система ознак B щодо стану системи A , визначають за формулою:

$$J_A(B) = \sum \sum P(A_i B_j) \cdot \log_2 \{P(A_i B_j) / [P(A_i) \cdot P(B_j)]\}, \quad (1)$$

де $P(A_i B_j)$, $P(A_i)$ і $P(B_j)$ – відповідно ймовірності станів $A_i B_j$, A_i та B_j . Стан $A_i B_j$ означає, що певний стан вузла A_i характеризується наявністю тріщини визначеного розміру (стан системи вимірювання B_j).

У формулі (1) логарифм може бути взятий за будь-якої основи – зміна основи логарифма призводить лише до змінення одиниці вимірювання через наявність додаткового множника. Доцільність уведення двійкових логарифмів можна зрозуміти, розглянувши два рівноймовірні стани, для яких ентропія системи дорівнює одиниці.

Розрахунки було виконано для двох станів (A_1 та A_2) гідравлічних навісних систем трактора за відсутності (стан B_1) чи наявності тріщин - малих, середніх або великих (відповідно стани B_1 , B_2 та B_3). Кількість гідравлічних навісних систем, які було охарактеризовано станами A_i та B_j ($i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4$), подано у табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл гідравлічних навісних систем тракторів МТЗ-80
відповідно до груп виявлених дефектоскопом тріщин

Наявність тріщин	Стан системи вимірювання	Стан A_1 (справний)	Стан A_2 (несправний)
Малі	B_1	3	2
Середні	B_2	2	3
Великі	B_3	1	28
Не виявлено	B_4	9	0

У табл. 2 подано ймовірності $P(A_i B_j)$ окремих станів гідравлічної навісної системи трактора на основі результатів дефектоскопічного контролю вузлів 48 тракторів МТЗ-80 (табл. 1). Так, наприклад, якщо з 48 навісних гідравлічних систем 28 характеризувалися належністю до станів A_2 і B_3 (несправні гідравлічні системи з виявленими великими тріщинами), то $P(A_2, B_3) = 28 / 48 = 0,583$.

Таблиця 2

Ймовірності $P(A_i B_j)$ окремих станів гідравлічної навісної системи трактора

A_i	B_j				$P(A_i)$
	B_1	B_2	B_3	B_4	
A_1	0,063	0,042	0,021	0,188	0,313
A_2	0,042	0,063	0,583	0	0,688
$P(B_j)$	0,104	0,104	0,604	0,188	

Тоді з формули (1) знаходимо

$$J_A(B) = \{0,063 \cdot \lg[0,063/(0,313 \cdot 0,104)] + 0,042 \cdot \lg[0,042/(0,313 \cdot 0,104)] + \\ + 0,021 \cdot \lg[0,021/(0,313 \cdot 0,604)] + 0,188 \cdot \lg[0,188/(0,313 \cdot 0,188)] + \\ + 0,042 \cdot \lg[0,042/(0,688 \cdot 0,104)] + 0,063 \cdot \lg[0,063/(0,688 \cdot 0,104)] + \\ + 0,583 \cdot \lg[0,583/(0,688 \cdot 0,604)] + 0 \cdot \lg[0/(0,688 \cdot 0,188)]\} / \lg 2 = 0,563.$$

Розрахована величина $J_A(B)$ дає підставу стверджувати, що отримані у результаті дефектоскопічного контролю дані щодо наявності тріщин певного розміру у відповідальних деталях вузла достатньо інформативні для висновку про його справність чи несправність.

Інформацію, яку дає стан B_j щодо стану A_i , визначають за формулою:

$$J_{Ai}(B_j) = \lg\{P(A_i B_j) / [P(A_i) \cdot P(B_j)]\} / \lg 2. \quad (2)$$

Знайдені за цією формулою значення інформації стану B_j щодо стану A_i подано у табл. 3. З таблиці видно, що найбільші значення мають $J_{A1}(B_3)$ та $J_{A1}(B_4)$, тобто наявність у деталях вузла лише малих тріщин дозволяє майже напевне вважати, що вузол перебуває у справному стані. Наявність від'ємних чисел у табл. 3 означає, що за наявними даними контролю висновок про ймовірний стан вузла зробити однозначно не можна.

Таблиця 3

Значення інформації $J_{Ai}(B_j)$ для ймовірностей окремих станів гідравлічної навісної системи трактора

A_i	B_j			
	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	0,941	0,356	-3,180	1,678
A_2	-0,781	-0,196	0,490	-

На основі обробки даних дефектоскопічного контролю щодо справності чи несправності гідравлічної навісної системи трактора:

$$J_{A1}(B) = \sum P(B_j/A_1) \cdot \log_2 \{P(A_1 B_j) / [P(A_1) \cdot P(B_j)]\} = 1,031, \quad (3)$$

$$J_{A2}(B) = \sum P(B_j/A_2) \cdot \log_2 \{P(A_2 B_j) / [P(A_2) \cdot P(B_j)]\} = 0,350. \quad (4)$$

У формулах (3) і (4) для визначення умовної ймовірності станів $P(B_j/A_i)$ було виконано заміну $P(B_j/A_i) = P(A_i B_j)/P(A_i)$ для $i = 1, 2$ та $j = 1, 2, 3, 4$.

Порівняння отриманих значень інформації для двох станів системи трактора показує, що подані у табл. 1 дані дефектоскопічного контролю гідравлічної навісної системи трактора МТЗ-80 дають більше інформації щодо справного стану дослідженого вузла.

Обчислимо інформацію $J_A(B_1)$ щодо стану гідравлічної навісної системи трактора після виявлення малих тріщин у відповідальних деталях вузла:

$$J_A(B_1) = \sum P(A_i/B_1) \cdot \log_2 \{P(A_i B_1) / [P(A_i) \cdot P(B_1)]\} = 0,252, \quad (i=1, 2). \quad (5)$$

Аналогічно знаходимо $J_A(B_2) = 0,025$ та $J_A(B_1) = 0,363$. Таким чином, виявлення у деталях вузла тріщин проміжного розміру (середніх) дає мало інформації щодо стану системи (вузла) трактора, а наявність великих тріщин є інформативнішим щодо стану вузла, ніж виявлення лише малих тріщин.

Разом із тим у роботі [6] було показано, що ймовірність раптової втрати керування трактора, у вузлах якого розвинулися тріщини малого і середнього розміру, є значною. Даний висновок було зроблено після розрахунку ймовірностей виходу з ладу окремих вузлів системи рульового керування трактора, для яких було обчислено значення умовних ймовірностей станів залежно від реалізацій комплексу ознак (наявності у відповідальних деталях вузлах різних поєднань малих, середніх та великих тріщин).

У роботі [4] на основі статистичного аналізу даних дефектоскопічного контролю гідравлічної навісної системи було розраховано умовні ймовірності зруйнування навісного пристрою через наявність у його деталях тріщин різного розміру. Розрахунок було виконано з використанням статистичних методів розпізнавання при технічному діагностуванні. Діагностування вузлів проводили за комплексом ознак κ^* , а саме: κ_1 – наявність малих тріщин; κ_2 – наявність тріщин середнього розміру; κ_3 – наявність великих тріщин. При цьому розглядали два стани вузлів трактора: A_1 – справний та A_2 – несправний.

Умовні ймовірності ознак та ймовірності стану навісного пристрою (табл. 4) було розраховано згідно з даними дефектоскопічного контролю навісного пристрою. У даному підході на відміну від описаної вище у статті методики оцінення інформації (табл. 1 і табл. 2) умовні ймовірності ознак було розраховано щодо всієї кількості виявлених пошкоджених місць у деталях проконтрольованих навісних пристроїв тракторів (загалом було виявлено 73 тріщини).

Таблиця 4

Умовні ймовірності ознак $P(\kappa_z/A_i)$ та ймовірності станів $P(A_i)$
навісного пристрою трактора

Стан вузла, A_i	$P(\kappa_1/A_i)$	$P(\kappa_2/A_i)$	$P(\kappa_3/A_i)$	$P(A_i)$
Перебував у працездатному стані на момент контролю, A_1	0,41	0,13	0,066	0,313
Знятий з експлуатації, A_2	0,54	0,48	0,91	0,688

Умовну ймовірність стану A_i після того, як було виявлено у вузлі комплекс діагностично незалежних ознак κ^* , визначали за формулою:

$$P(A_i/\kappa^*) = P(A_i) \cdot P(\kappa_1^*/A_i) \cdot P(\kappa_2^*/A_i) \cdot P(\kappa_3^*/A_i) / [\sum P(A_s) \cdot P(\kappa_1^*/A_s) \cdot P(\kappa_2^*/A_s) \cdot P(\kappa_3^*/A_s)], \quad (6)$$

де $s = 1, 2$.

Отримані згідно з (6) значення умовних ймовірностей станів залежно від реалізацій комплексу ознак подано у вигляді табл. 5 (відсутність певної ознаки у реалізації комплексу ознак позначено підкресленням).

Таблиця 5

Умовні ймовірності станів A_1 та A_2 навісного пристрою трактора
залежно від ступеня розвитку у деталях виявлених тріщин

Умовні ймовірності станів	Реалізації комплексу ознак							
	$K_1K_2K_3$	$\underline{K}_1K_2K_3$	$K_1\underline{K}_2K_3$	$K_1K_2\underline{K}_3$	$\underline{K}_1\underline{K}_2K_3$	$K_1\underline{K}_2\underline{K}_3$	$\underline{K}_1K_2\underline{K}_3$	$\underline{K}_1\underline{K}_2\underline{K}_3$
$P(A_1/k^*)$	0,007	0,012	0,040	0,486	0,068	0,855	0,625	0,900
$P(A_2/k^*)$	0,993	0,988	0,960	0,514	0,932	0,145	0,375	0,088

З табл. 5 видно, що умовна ймовірність зруйнування навісного пристрою за наявності лише малих і середніх тріщин становить $P_1(A_2/k^*) = 0,514$. Виконані аналогічні розрахунки для інших вузлів трактора показали, що за наявності у деталях лише малих і середніх тріщин умовні ймовірності зруйнування інших вузлів становлять: для запірної пристрою $P_2(A_2/k^*) = 0,34$; для розривної муфти $P_3(A_2/k^*) = 0,48$; для гідрофікованого гака $P_4(A_2/k^*) = 0,67$ та ін. Тобто ймовірність виходу з ладу окремих вузлів трактора визначається комплексом наявних тріщин у деталях, що накладає особливі вимоги до періодичності та ретельності проведення дефектоскопічного контролю.

Висновки

У роботі було розвинено теорію ймовірнісного моделювання аварійних ситуацій складних технічних об'єктів за даними діагностичних досліджень.

На основі сформованої бази даних щодо наявності тріщин небезпечного розміру в деталях вузлів тракторів різної тривалості експлуатації запропоновано методологію оцінювання ймовірності настання аварійної ситуації після виявлення окремих тріщин у деталях вузлів та елементів конструкцій.

It is shown, that probable prediction of parameters of risk of operation should be based on the information on presence of cracks of the different size in details of units of mobile agricultural machinery. The approach concerning an estimation of probability of emergencies on the data of the non-destructive control of units of a tractor is developed.

Література

1. Васинюк І.М., Писаренко Г.Г., Маковей В.О., Войналович О.В. Вихорострумовий дефектоскоп. Патент України на промисловий зразок. Бюлетень № 1, 15.02.2001.
2. Васинюк І.М., Писаренко Г.Г., Войналович А.В. Идентификация микронных трещин в конструктивных элементах // Конструкционная прочность материалов и ресурс оборудования АЭС: Тез. докл. международной конференции. – К.: Институт проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины, 2003. – С. 38.
3. Войналович О.В., Васинюк І.М., Мотрич М.М. Підходи до оцінювання рівня безпеки експлуатації сільськогосподарських машин // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2003. - № 60. - С. 115 – 118.
4. Войналович О.В., Гнучій Ю.Б., Мотрич М.М. Моделювання аварійних ситуацій, зумовлених наявністю тріщин у відповідальних деталях вузлів трактора МТЗ-80 // Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць. – К.: ННДІОП, 2003. – Вип. 7. – С. 115 – 123.
5. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
6. Войналович О.В., Гнучій Ю.Б., Мотрич М.М. Застосування даних дефектоскопії для оцінювання ймовірності настання аварійних ситуацій при експлуатації тракторів // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2003. - № 64. - С. 207–213.

Одержано 30.04.2004 р.