

О.О. Налобіна¹, М.В. Голотюк¹, А.В. Шимко¹, О.З. Бундза¹, В.Л. Мартинюк², В.С. Пуць²

¹Національний університет водного господарства та природокористування

²Луцький національний технічний університет

ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Здатність будь-якої сільськогосподарської машини зберігати свої початкові технічні показники у процесі експлуатації визначається її надійністю. Усі показники, що впливають на надійність, як правило, розраховуються на підставі тих чи інших моделей функціонування. Відомими є різні підходи до моделювання процесів формування показників надійності. У даній роботі проаналізовано чинні моделі надійності технічних систем та запропоновано новий підхід до оцінювання надійності з урахуванням впливу на даний показник комплексу взаємопов'язаних внутрішніх і зовнішніх факторів. Такої системності можна досягти використавши можливості штучного інтелекту.

Ключові слова: надійність, модель, технічна система, сільськогосподарська машина, аналіз.

O. Nalobina, M. Holotiuk, A. Shymko, O. Bundza, V. Martyniuk, V. Puts

ON THE ISSUE OF MODELING THE RELIABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY

The ability of any agricultural machine to maintain its original technical performance during operation is determined by its reliability. All indicators that affect reliability are usually calculated on the basis of certain models of functioning. There are various approaches to modeling the processes of forming reliability indicators. This paper analyzes the existing reliability models of technical systems and proposes a new approach to assessing reliability, taking into account the impact of a set of interrelated internal and external factors on this indicator. Such a systematic approach can be achieved using the capabilities of artificial intelligence.

Keywords: reliability, model, technical system, agricultural machine, analysis.

Постановка проблеми. Ефективність експлуатації сільськогосподарських машин визначається рівнем їхньої надійності, яка формується ще під час виконання процесу проектування, забезпечується в ході виготовлення, проявляється та підтримується в процесі експлуатації машин.

Відомо, що надійність – це властивість виробу зберігати в часі у встановлених межах значення параметрів, які характеризують здатність виконувати закладені функції за умови роботи на рекомендованих режимах, із проведенням технічного обслуговування, ремонту, зберігання та транспортування.

Низький показник надійності є вирішальним фактором зростання витрат на технічне обслуговування й ремонт машин. Аналіз питання надійності машин є вирішальним для організації управління інженерними активами АПК, який дозволить зрозуміти динаміку їхніх змін, оптимізувати їхню роботу та мінімізувати експлуатаційні витрати. Тому вихідною точкою для вирішення питання надійності є вивчення та дослідження причин виникнення несправностей, видів їхніх проявів і наслідків, можливостей їхньому запобіганню залежно від сукупності випадкових впливів, що діють на об'єкт на всіх етапах його життєвого циклу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання надійності сільськогосподарської техніки висвітлено в роботах В.Д. Войтюка, Д. П. Журавель, М.І. Черновола, В.Ф. Анісімова, Durczak Karol, Wang, Huang та інших вчених [1-6].

Методичні підходи до визначення надійності технічних засобів і, зокрема, сільськогосподарських машин, викладено в роботах А.В. Новицького [7], Wang, Huang [8], О.С. Гринченко [8].

Зокрема у роботі [7] викладено етапи забезпечення надійності технічних засобів для приготування і роздавання кормів на стадії експлуатації та обслуговування. Автором окреслено рекомендації для підвищення надійності. Розкрито сутність організації системи збирання інформації про надійність; забезпечення системи технічного обслуговування і ремонту. Новицький А.В. наголошує на необхідності розроблення науково-обґрунтованих принципів і єдиних підходів для формування напрямків забезпечення надійності.

Wang, Huang [6] зазначає, що використання компонентоцентричного підходу на основі даних про відмови, який застосовують під час оцінювання надійності є недостатньо точним. Автор пропонує більш точний метод, що інтегрує моніторинг продуктивності та аналіз надійності в одну

структуру. При цьому необхідно використовувати результати моніторингу, який проводиться за різних умов, що дає більш точні результати.

Гринченко О.С. [8] провів аналіз чинних методів оцінювання і моделей прогнозування механічної надійності, що утворюють загальну методологію оцінювання та забезпечення надійності. Наголошено на необхідності розробки загальної методології забезпечення механічної надійності сільськогосподарських машин, яка може бути покладена в основу відродження вітчизняного машинобудування. В основу такої методології слід покласти результати випробувань, які дозволяють прогнозувати ресурсні показники механічної надійності. Крім експериментальних методів автор рекомендує використовувати теоретичний аналіз конструкцій і комп'ютеризовані числові методи визначення напружено-деформованого стану об'єктів.

Методи підвищення надійності розглянуто у роботах [9-13]. У роботі [9] авторами проаналізовано чинні методи підвищення надійності систем і агрегатів для сільського господарства. Дані методи поділяються на три групи: конструкційні, технологічні та експлуатаційні. Авторами також запропоновано методологію вирішення проблеми надійності систем і агрегатів мобільної сільськогосподарської і автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення.

Авторами [10] виділено чотири «фактори підвищення надійності тракторів і сільськогосподарських машин: 1) удосконалення методів конструювання з використанням комп'ютерних систем, відпрацювання конструкцій різних вузлів і деталей на стадії проектування, перевірка їх надійності до початку виробництва; 2) застосування в конструкціях машин достатньо відпрацьованої високо-надійної елементної бази; 3) застосування нових високоякісних конструкційних матеріалів для виготовлення деталей, вузлів і базових елементів машин; 4) удосконалення технологій виробництва і контроль якості матеріалів, комплектуючих і виготовлення машин на всіх етапах виробництва».

Виконаний аналіз чинних досліджень виявив значний науковий інтерес до питання надійності технічних систем й сільськогосподарських машин, зокрема.

Постановка завдань. З урахуванням викладеного, метою даної роботи є аналіз моделей надійності технічних систем і розробка нового підходу до оцінювання надійності сільськогосподарських машин.

Викладення основного матеріалу. Надійність визначається як ймовірність того, що система буде виконувати свої функції протягом певного часу за встановлених умов. Як встановлено вище, відома значна кількість робіт, присвячених питанню надійності. Для оцінювання показника надійності використовують різні методологічні підходи: баєсовські мережі, дерево несправностей, дерево відмов, ланцюг Маркова, тощо.

Розглянемо деякі відомі моделі.

Моделі дерева відмов і дерева несправностей, які часто використовуються для оцінювання надійності, потребують значної бази експериментальних даних про відмови та фіксації фактичного часу, витраченого на ремонтні роботи. Отримати такі дані у достатньому об'ємі для складних технічних систем доволі важко. Це також є причиною для багатofакторного аналізу. Даний метод не дозволяє встановити залежності між факторами впливу на надійність, особливо в умовах невизначеності, врахувати вплив терміну експлуатації окремих складових технічної системи на її надійність. Перевагою методу є доступність візуального сприйняття та простота у використанні.

Моделювання надійності технічних систем на основі ланцюгів Маркова. Застосування ланцюгів Маркова дає можливість виконати аналіз надійності складної технічної системи якою є сільськогосподарська техніка. Особливість даного методологічного підходу – це можливість оцінити компоненти системи, які різняться за технічним станом, проявом відмов у часовому просторі.

Метод ґрунтується на використанні випадкових марківських процесів. Моделювання випадкових станів враховує та розглядає фактори, що викликають найбільш небезпечний стан у процесі експлуатації машин. Можливість враховувати зовнішні фактори протягом деякого проміжку часу є безперечною перевагою методу, що дозволяє робити прогнози надійності загального стану машини з урахуванням ймовірнісних критеріїв, які враховують небезпечні ситуації, несприятливі впливи зовнішніх факторів, техногенні причини.

Недолік даного методу обґрунтовано в роботі [14]. Автор відмічає складність побудови моделі на основі ланцюга Маркова, що є причиною помилок. Крім того, побудовану модель надійності, яка враховує багато станів, важко розв'язати із застосуванням комп'ютерних програм.

Баєсовські мережі відносять до ймовірнісно-статистичних методів, які дозволяють приймати обґрунтовані тактичні та стратегічні рішення з забезпечення надійності.

Згідно з [15] процес моделювання та прогнозування на основі баєсовської мережі складається з таких етапів: збір даних; побудова моделей-кандидатів; вибір кращої моделі за статистичними критеріями адекватності; обчислення оцінок прогнозів.

Моделі, які базуються на використанні баєсовської мережі, порівняно з іншими, точно показують структуру формування надійності в контексті ймовірнісних подій та дають можливість формалізувати даний процес [15].

Слід зауважити, що баєсовські мережі використовуються для оцінювання надійності багатокомпонентних систем, які характеризуються різними станами навіть за умови неповного набору статистичних даних.

Серед недоліків даного методу можна вважати те, що доволі важко на основі даних моніторингу подій, отриманих із різних джерел, побудувати модель втрати надійності з врахуванням зовнішніх факторів впливу. Також деякі вчені у якості недоліку методу відзначають суб'єктивне сприйняття спостерігачів таких понять як «граничний» і «дефектний» стани [16].

Аналіз підходів до оцінювання надійності дозволив нам зробити висновок, що в літературі практично відсутні роботи, у яких надійність розглядається системно, тобто з врахуванням впливу на даний показник комплексу взаємопов'язаних внутрішніх і зовнішніх факторів. Такої системності можна досягти використавши можливості штучного інтелекту.

Застосуємо як основу логіко-семантичну модель, що базується на побудові семантичних сіток. Перевагою такої моделі обробки інформації є спрощення інтеграції даних, що дає можливість спростити введення нової інформації з зовнішніх джерел в режимі реального часу.

Використання семантичної сітки дозволить нам отримати гнучку модель надійності будь якої сільськогосподарської машини.

На рисунку зображено принципову схему складання такої моделі. Модель формується з певної кількості блоків, які можуть накладатись один на другий. Блоки з даними за потреби можна додавати або вилучати з бази без втрати роботоздатності моделі надійності. Сукупність блоків створює певну систему знань, яка містить інформацію, потрібну для аналізу надійності конкретної машини.

Практично на етапі I (рисунок) формується формалізована модель у вигляді сіток. Верхівки сіток – це стан окремих структурних елементів; лінії між верхівками розкривають взаємний вплив елементів.

Використання семантичної моделі дозволяє системно оцінити процес за рахунок введення блоків даних, які містять як зовнішні так і внутрішні фактори впливу на показники надійності. Крім того в межах кожного ми можемо відстежити закономірності взаємного впливу факторів (рисунок).

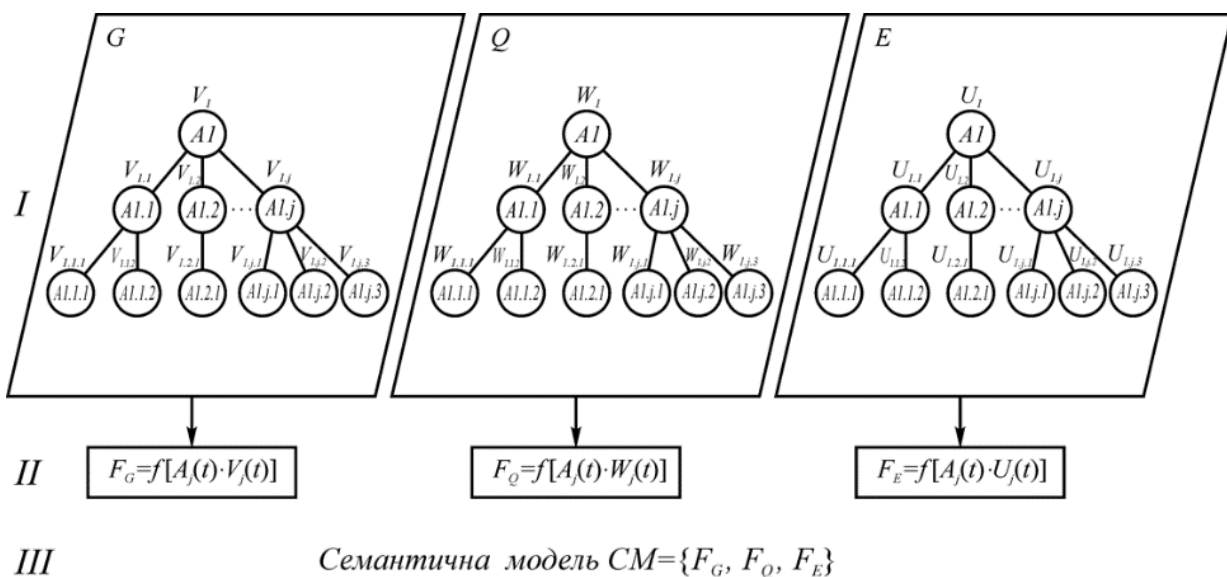


Рисунок. Схематичне представлення семантичної моделі надійності сільськогосподарської машини

Наведена семантична модель формування надійності складається з блоку G – містить інформацію про відмови деталей через зношування у вигляді сітки, яка містить зв'язки між окремими агрегатами ($1.1, 1.2, \dots, 1.n$), вузлами ($1.1.1., 1.1.2, 1.3, \dots 1.n.j$) та деталями ($1.n.j.m$), що входять до їхнього складу.

Блок Q – містить інформацію про відмови, причиною яких є втомне руйнування причиною яких є дія циклічних навантажень.

Блок E – містить інформацію про відмови через порушення монтажу та експлуатації.

Так як сільськогосподарська машина являє собою складну систему, то кожен її окремий елемент може мати декілька станів, які характеризують певний показник надійності системи. Окремі елементи змінюючи свій стан, одночасно впливають на інші елементи, з якими вони пов'язані структурними, кінематичними або силовими зв'язками. Все це приводить до того, що машина набуває нові властивості. Це, в свою чергу, впливає на якість виконання певних функцій й на показники надійності.

З урахуванням цього представимо окремі елементи структури машини як вершини семантичної сітки, а ребра сітки відображають взаємозв'язки між ними (рис.1). Враховуючи зазначене, подані на рисунку елементи, можна описати такою множиною

$$A = \{A_j(t)\}, \text{ де } j = 1 \dots n. \quad (1)$$

Відповідно показники надійності змінюються і у певний момент часу характеризуються відповідним станом (V_i). Всі можливі стани машини

$$\begin{cases} V = \{V_i(t)\}, \\ W = \{W_i(t)\}, \text{ де } i = 1 \dots m. \\ U = \{U_i(t)\}, \end{cases} \quad (2)$$

Внаслідок аналізу семантичних ланцюгів, отримаємо функції F_G, F_Q, F_E (на рівні II), які інтерпретують показники надійності.

Розглянемо можливі варіанти отриманих функцій.

Наприклад, на рівні II отримано функцію: $F_G = \min(A 1.1) \vee (A 1.2) \Leftrightarrow j < 3$. Такий результат інтерпретується наступним чином: відмова головного конструктивного елементу $A 1$ відбудеться за умови відмови одного з найменш надійних елементів ($A 1.1$), ($A 1.2$).

За умови, що $F_G = \min(A 1.1) \vee (A 1.2) \Leftrightarrow j > 2$ – роботоздатний стан головного конструктивного елементу $A 1$ буде зберігатись при відмові одного з найменш надійних елементів ($A 1.1$), ($A 1.2$).

Звичайно, може бути багато різних сценаріїв загроз втрати надійності, кожен з яких являє собою набір кроків, які в певній сукупності можуть вплинути на показники надійності.

На підставі отриманих функцій F_G, F_Q, F_E формується семантична модель надійності машини (СМ) на рівні III. Об'єднання окремих семантичних ланцюгів на рівні III привело до створення інтегрованої мережі, яка містить об'єднання елементів рівня I.

Застосування такої моделі оцінювання надійності дає можливість спростити процес аналізу значного обсягу даних і отримати потрібну інформацію за незначний проміжок часу. Семантичну модель також легко адаптувати до нових джерел даних і мінливих умов експлуатації машини.

Висновки. Поширення технологій штучного інтелекту призводить до необхідності створення сучасних інтелектуальних систем нового типу, які здатні обробляти складноструктуровану інформацію. До таких систем можна віднести обробку інформації з використанням семантичних моделей, які базуються на оброблянні великого об'єму інформації з застосуванням графічних сіток.

Використання таких моделей для оцінювання надійності сільськогосподарських машин дозволить:

- автоматично або напівавтоматично реагувати на зміну структури загальної інформації (типу машини);
- досліджувати структуру, функціональні та інші зв'язки не у вигляді чисельних (математичних) абстракцій, а у вигляді логічних зав'язків;
- аналізувати показники надійності системно, тобто з урахуванням впливу комплексу взаємопов'язаних внутрішніх і зовнішніх факторів.

Список використаних джерел

1. Войтюк В. Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки: дис. ... докт. техн. наук : 05.05.11. Мелітополь, 2012. 448 с.
2. Журавель Д. П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, 19(3), 2019 р. С.57-67. <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/241>.
3. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене / М.І. Черновола, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін, Є.К. Солових, С.Г. Гранкін, О.В. Гранкіна. За ред. М.І. Черновола. – Кіровоград, 2009. 289 с.
4. Анісімов В.Ф. Аналіз і вибір методів дослідження надійності автотракторних двигунів / В.Ф. Анісімов, В.І. Музичук. Сільське господарство та лісівництво. Зб. наук. пр. ВНАУ. – 2019. № 15. С. 56-63.
5. Durczak Karol. Reliability of agricultural tractors according to Polish farmers. Tehnički vjesnik, 2020, 27.6: 1761-1766.
6. Wang H., Jiang Y. (2013). Performance reliability prediction of complex system based on the condition monitoring information. Mathematical Problems in Engineering, 2013. doi:10.1155/2013/836517.
7. Новицький А.В. Методичні підходи до формування програми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки / А.В. Новицький. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2022. Col.6(37), Part I. С. 134-143.
8. Гринченко О.С. Концептуальні питання забезпечення механічної надійності сільськогосподарської техніки / О.С. Гринченко. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2015. Вип. 45, ч. 1. С. 298-302.
9. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної технологіями триботехнічного відновлення: монографія / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик та ін.; за ред. В. В. Ауліна. Кропивницький. СПД ФО Лисенко В.Ф., 2016. 303 с.
10. Шокарев О. М., Шокарев О. М., Кабанов О. І. Підвищення рівня надійності сільськогосподарської техніки. Матеріали II Міжнародній науково-практичній конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». 22-27 листопада 2020 р. С.445-449.
11. Коваль Дмитро Віталійович. Підвищення працездатності ущільнювальних пристроїв підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки. кваліфікаційна робота магістра: спец. 133 - Галузеве машинобудування; Харків, 2022. 92 с.
12. Кухтов В., Гринченко О., Твердохліб С. Шляхи підвищення механічної надійності вітчизняної сільськогосподарської техніки. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України, 2013, 17 (1): 79-84.
13. Болтянська Н. І. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів», 2020, 21: 139-147.
14. Нікулін В.В. Моделювання динаміки експлуатаційних показників пожежної автомобільної техніки на основі імовірісно-статистичних методів. Все буде Україна! 97.
15. Salem A., Muller A., Weber P. (2006). Dynamic Bayesian Networks in system reliability analysis. In 6th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of technical processes (pp. 481-486): IFAC.
16. Yu J., Rashid, M. M. A novel dynamic bayesian network-based networked process monitoring approach for fault detection, propagation identification, and root cause diagnosis. AIChE Journal, 2013, 59(7), 2348-2365. <http://dx.doi.org/10.1002/aic.14013>.