УДК 631.1.004

АНАЛІТИЧНІСТЬ МЕХАНІЗМУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН НА ОСНОВІ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцентовано – червень 2019.

Бібл. 12, рис. 0, табл. 0.

Анотація. В статті представлені результати обґрунтування аналітичної моделі механізму відновлення працездатності сільськогосподарських машин на основі залишкового ресурсу. В статті розглянуті особливості аналітичних підходів до обґрунтування моделі оцінки технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць сільськогосподарських машин.

Ключові слова: методологія, коефіцієнт готовності, ефективність, сільськогосподарська машина.

Постановка проблеми

Стан елементів механізмів сільськогосподарських машин (далі – машин) змінюється в процесі його експлуатації в тісному взаємозв'язку один з одним.

Незважаючи на те, що цей процес схильний до впливу ряду випадкових факторів, взаємозв'язок між зміною стану окремих елементів або ланок може бути описана причинно-наслідковими зв'язками, що утворюють причинно-наслідковий модель механізму і піддається кількісній оцінці.

На характер зміни технічної готовності (діла – ТГ) системи та її елементів впливають різні фактори, і в першу чергу, такі як надійність технічних засобів, експлуатації, інтенсивність використання тощо.

Однак, характер змін ТГ буде визначатися головним чином операціями технічного обслуговування і ремонту (далі – ТОР), так як їх реалізація забезпечує досягнення технічного стану (далі – ТС) по призначеному ресурсу працездатності.

Аналіз останніх досліджень

Для того, щоб надалі не відбувалося термінологічної плутанини, коротко зупинимося на деяких термінах, використовуваних нами при проведенні діагностичного аналізу механізму [1, 2].

Під станом механізму ми розуміємо якісну оцінку здатності об'єкта виконувати задані при конструюванні функції. Властивість об'єкта, що визначає його здатність виконувати задані функції, отримало назву параметра стану. Якщо в якості

загальної оцінки стану механізму прийняти його основний вихідний сигнал, то на його величину прямо або побічно будуть впливати так активні параметри стану [3].

Однак у кожному механізмі є група параметрів стану [4]. Що не роблять впливу на величину основного вихідного сигналу, і в той же час визначають працездатність окремих вузлів механізму. Такі параметри отримали найменування пасивних [5]. Як активні.

Так і пасивні параметри стану, можуть бути регульованими, ніж в значній мірі визначається характер їх впливу на стан механізму. Для цього використовуються діагностичні сигнали, що виникають в процесі роботи механізму і сприймаються спеціальною вимірювальною апаратурою [6, 7].

Приступаючи до діагностичного аналізу об'єкта, необхідно насамперед визначити його основний вихідний сигнал [8, 9]. Для тракторного двигуна, наприклад, таким сигналом є ефективна потужність, для будь-якого насоса основним вихідним сигналом є його продуктивність (за певних умов) і т.д. [10].

Наступним кроком є визначення причин. Безпосередньо впливають на величину основного вихідного сигналу. Вимога безпосередності впливу є обов'язковим. Якщо ми хочемо отримати правильне уявлення про суму причин, що впливають на величину основного вихідного сигналу механізму. Правильному визначенню причин часто сприяє наявна аналітична залежність основного вихідного сигналу від величини параметрів-причин. Якщо такої залежності немає, то параметри-причини встановлюються емпіричним шляхом [10].

Необхідно підкреслити, що характеристика поняття ТГ буде повною в тому випадку, якщо вона буде враховувати не тільки оцінку фактичного стану ресурсу [11], але й витрати [12], які пов'язані з відновленням ресурсу працездатності, тобто враховувати показники працездатності [3].

В загальному випадку ТГ об'єкта можна характеризувати залишковим призначеним ресурсом [4], величиною витрат [5] на повне поновлені витрачених раніш ресурсів елементів об'єкту $Q_p(t_n)$

– функції часу експлуатації (напрацювання) – t_n або

величиною витрат [6] на прогнозований період експлуатації $Q_P(t_n)$ у функції періоду, що прогнозується t_n [7].

При такому підході до аналізу змісту поняття ТГ буде оцінюватись величиною залишкового ресурсу $t_{зал}$ для запропонованого періоду перебування у стані, що аналізується – t [8, 9].

В цьому випадку в якості кількісного показника ТГ можна розглянути ймовірність виробітки залишкового ресурсу $t_{зал}$ за час $t: P(t \leq t_{зал})$ або величину витрат на поновлення витрачених за час t ресурсів елементів та вузла сільськогосподарських машин ТСО: $Q_P(t)$ [10].

Мета досліджень

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до обґрунтування моделі оцінки технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць сільськогосподарських машин.

Результати досліджень

Оцінка ТГ системи в цілому, з обліком запропонованого підходу в оцінці ТГ елементів системи, пов'язана з визначенням сумарної трудомісткості ТО та ремонту $H(\tau)$ за час:

$$H_{mo}(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{ij}^{TO}, \quad (1)$$

де: $j=1, \dots, N$ – кількість елементів, які підлягають ТО та ремонту за визначений період (τ – рік, протяжність, весь період експлуатації);

$i=1, \dots, n$ – кількість видів ТО j -го елемента машини, які виконуються за визначений період;

H_{ij}^{TO} – трудомісткості i -го виду ТО j -го

елемента машини за визначений період τ люд год).

Аналогічно сумарна трудомісткість ремонтів дорівнює:

$$H_P(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^m H_{kj}^P, \quad (2)$$

де: $k=1, \dots, m$ – кількість видів ремонтів системи, які виконуються за означений період τ .

H_{kj}^P – трудомісткості k -го ремонту j -го

елемента системи за означений період (люд год).

Звідси випливає:

$$H(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{ij}^{TO} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^m H_{kj}^P. \quad (3)$$

Сумарна трудомісткості технічного обслуговування та ремонтів за означений період експлуатації враховує сумісний вплив властивостей довгостроковості, безвідмовності та ремонтоздатності і достатньо щільно відображає ефективність управління ТГ систем та їх елементів.

Час та трудомісткість ТОР системи об'єктивно визначає характер змін ТГ її основних елементів. Одним з показників оцінки ТГ можуть служити коефіцієнти, які характеризують зміни ТС системи в залежності від ресурсів основних елементів системи $t_{зал}$ та $t_{назн}$ та часу експлуатації:

$$K_{TG} = \frac{t_{зал}}{t_{назн}}, \quad (4)$$

де: $t_{зал}$ та $t_{назн}$ – відповідно залишковий та назначений ресурс.

Залишковий ресурс $t_{зал} = t_{назна} - t_v$, де t_v – витрачений ресурс. Витрачений ресурс можна представити добутком швидкості витрачання ресурсу на фактично відпрацьований час (термін служби) або напрацювання T :

$$K_{TG} = \frac{t_{назн} - t_p}{t_{назн}} = 1 - \frac{V_s T}{t_{назн}}. \quad (5)$$

Якщо прийняти K_{TG} рівним 0, то момент повного вичерпання об'єктом ресурсу (досягнення ГС) буде дорівнювати:

$$t_{pi} = \frac{t_i}{V_{si}}, \quad (6)$$

де: t_{pi} – час до початку j відновлення системи, визначене як прогнозуємий залишковий термін служби i -го елемента системи до ремонту;

t_i – запас ресурсу i -го елемента;

V_{si} – термін вичерпання ресурсу i -го елемента.

Час початку j -го ремонту слід встановлювати за базовими та основними елементами сільськогосподарських машин, які мають на момент часу оцінки найменший ресурс і для яких K_{TG} буде наближено або дорівнювати мінімальному значенню залишкового ресурсу.

Виводити систему з експлуатації для відновлення рівня ТГ слід при одному й тому ж значенню K_{TG} , так як при $K_{TG} < K_{TG \min}$ можуть виникнути аварійні ситуації.

Передчасний вивід системи у ремонт понижує її показники функціонування, збільшує витрати на відновлення та підтримку ТГ системи.

В розвиток визначеного поняття технічної готовності складної технічної системи під технічною готовністю сільськогосподарських машин або підсистем до виконання заданих функціональних задач будемо розуміти характеристики їх ТС, при яких протягом визначеного часу сільськогосподарських машин або підсистем будуть спроможні виконувати ці задачі з ймовірністю, яка визначається призначенням ресурсом працездатності.

У свою чергу, встановлені параметри-причини, самі є наслідком дії ряду інших причин. При визначенні яких також обов'язковий принцип безпосередності. Продовжуючи подібну деталізацію причин і наслідків, можна досягти будь-якого рівня причин, аж до молекулярного. Якщо причини і наслідки встановлені правильно, тобто враховані всі зв'язки причин і наслідків, то в результаті ми отримуємо причинно-наслідковий модель механізму.

Для практичних цілей діагностики виявляється цілком достатнім на нижньому рівні причин обмежитися зовнішніми умовами, в яких працює те чи інше ланка механізму. Цей рівень причин нами умовно узагальнюється поняттям «час роботи», хоча конкретно на цьому рівні можуть знаходитися такі причини, як величина прикладеного навантаження, пройдений шлях, температура, вологість, тиск, запиленість повітря і т.п. Однак, оскільки ці причини є зовнішніми стосовно розглянутого механізму, вони об'єднуються зазначеним поняттям «час». Далі буде показана ефективність цього прийому для отримання результатів причинно-наслідкового аналізу.

Розглядаючи питання причинно-наслідкового аналізу механізмів, не можна не згадати про те, що перші практичні спроби такого підходу до опису процесу зміни стану механізмів зроблені ще Я. Я. Осіс і З.П. Марковичем щодо гальмівної системи автомобіля з гідравлічним приводом. Аналогічну методику застосували А. Р. Авотін, П. М. Кевіш, Д. С. Христинка і Ю. Н. Смирнов при побудові функціональної моделі карбюраторного двигуна внутрішнього згорання. Як вказували самі автори, отримані граф-моделі систем служили більше ілюстрацією, ніж інструментом дослідження кількісних показників зв'язків причин і наслідків.

Почавши наші дослідження приблизно з такого ж рівня, ми потім виявили, що причинно-наслідковий модель піддається вельми ефективному аналізу з застосуванням ряду кількісних характеристик. У цих цілях ми використовували насамперед аналогію даної системи зі структурою вимірювальних приладів при проведенні аналізу причин, що впливають на точність їхніх показань.

Зв'язок між параметром-причиною і параметром-наслідком може бути описана як аналітичної. Так і емпіричної залежністю. При цьому, якщо параметр є наслідком декількох параметрів-причин, то залежність з кожним з них описується в припущенні сталості, інших параметрів-причин.

Зазначені залежності визначаються тільки між параметрами сусідніх рівнів (принцип

безпосередності). У загальному вигляді ці залежності можуть бути представлені як $\Pi_{ci}^N (\Pi_{nj}^{N+1})$, де N – номер рівня, i, j – номери параметрів на відповідному рівні. Індексом « N » і « C » позначені причина і наслідок.

Скориставшись термінологією структурного аналізу механізмів, введемо поняття передавального коефіцієнта S , що представляє собою границя відношення приросту параметра-слідства до приросту параметра-причини, коли останнє прагне до нуля:

$$S_{jl} = \lim_{\Delta \Pi_{lj}^{N+1} \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \Pi_{ci}^N}{\Delta \Pi_{lj}^{N+1}} \right). \quad (7)$$

Ця формула дає можливість помітити, що передавальний коефіцієнт S може бути як безрозмірним у випадку, якщо порівнюються величини з однаковими розмірностями, так і розмірним, якщо розмірності Π_{Π} і Π_C різні. Надалі буде показано, що на кінцевому результаті розрахунку ця особливість не відбивається.

Якщо залежність $\Pi_C (\Pi_{\Pi})$ нелінійна, то очевидно, що величина S не матиме постійного значення на всьому діапазоні зміни Π_{Π} . Для спрощення практичного розрахунку таку залежність можна апроксимувати прямою із застосуванням, наприклад, методу найменших квадратів. При цьому, природно, з'являється деяка похибка, величина якої застосована на всьому діапазоні зміни Π_{Π} . З огляду на те, що величини Π_{Π} і Π_C , Як правило, змінюються лише на невеликій ділянці можливого діапазону змін, апроксимацію прямий можна здійснювати лише для цієї ділянки, що значно знижує помилку апроксимації.

Залежність $\Pi_C (\Pi_{\Pi})$ Може бути як прямий, так і зворотній. В останньому випадку коефіцієнт S матиме знак мінус, який свідчить про те, що зі збільшенням параметра - причини відбувається зменшення параметра-слідства.

Передавальний коефіцієнт S служить допоміжним засобом для визначення ряду інших кількісних зв'язків між параметрами. Характерно, що для всіх зв'язків, крім зв'язку з причиною «час», ймовірнісна складова у величині передавального коефіцієнта досить незначна (за винятком помилок вимірювальних приладів, присутніх в емпіричних зв'язках).

Між зміною параметра нижнього рівня і зміною «часу» також існує певна залежність, яка може бути охарактеризована передавальним коефіцієнтом. Цей передавальний коефіцієнт відображає динаміку зміни параметра в часі. Він являє собою відношення приросту зміни параметра до приросту часу. На відміну від звичайного передавального коефіцієнта це відношення названо нами коефіцієнтом динамічності D параметра.

Очевидно, що кожен з параметрів, що входять в причинно-наслідковий модель механізму, повинен мати свій коефіцієнт динамічності, так як в зміна даного параметра вносить свою частку і параметр-причина, що має безпосередній зв'язок з параметром «час», що служить для визначення коефіцієнта динамічності D_i деякого параметра Π_{Ci} , Пов'язаного залежністю з параметром Π_{Cj} .

$$\text{Впливає, що } \frac{d\Pi_{Ci}}{d\Pi_{Cj}} = tg\theta, \text{ а } \frac{d\Pi_{nj}}{dt} = tg\alpha,$$

внаслідок чого $d\Pi_{Ci} = tg\theta tg\alpha$ звідки:

$$\frac{d\Pi_{Ci}}{dt} = D_i = tg\theta tg\alpha = S_{ji} D_j \quad (8)$$

Висновки

1. Таким чином, для визначення коефіцієнта динамічності i -го параметра N -го рівня необхідно знати передавальний коефіцієнт між j -м параметром $(N+1)$ -го рівня і i -м параметром N -го рівня, а також коефіцієнт динамічності j -го параметра $(N+1)$ -го рівня.

2. Проведений вище аналіз різних підходів до оцінки ТГ, факторів та особливостей, які впливають на цей показник, говорить про їх варіантності на різних рівнях – вузли, деталі, підсистеми та відмінності в залежності від режимів та умов експлуатації.

Список літератури

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 1166-1172.
2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.
3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 2018, pp. 79-84.
4. *Masek J., Novak P., Jasinskis A.* Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 1180-1185.
5. *Rogovskii I., Grubrin O.* Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine.

vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, pp. 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

8. *Astashev V., Krupenin V.* Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 108-113.

9. *Zagurskiy O., Ohienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 2018, pp. 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2016, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, pp. 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 2016, pp. 407-441.

References

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 1166-1172.
2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 158-163.
3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 79-84.
4. *Masek J., Novak P., Jasinskis A.* (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 1180-1185.

5. Rogovskii I., Grubrin O. (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. Viba J., Lavendelis E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, 95-98.

7. Luo A.C.J., Guo Y. (2013). Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag. 213.

8. Astashev V., Krupenin V. (2017). Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 108-113.

9. Zagurskiy O., Ohienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 64-74.

10. Drga R., Janacova D., Charvatova H. (2016). Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. Novotny J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, 16-20.

12. Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 407-441.

ANALYTIC MECHANISM OF RECOVERY OF AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON RESIDUAL RESOURCE

I. L. Rogovskii

Abstract. It is established that the planning and organization of engineering service of agricultural enterprises is in the running state. It is urgently necessary to streamline the engineering service of agricultural enterprises through the creation of an integrated system of recovery from ensuring the availability of agricultural machines by equipping it with the necessary technical means and clear division of labor between the performers.

Key words: methodology, availability, efficiency, agricultural machine.

I. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.

АНАЛІТИЧНОСТЬ МЕХАНИЗМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

И. Л. Роговский

Аннотация. В статье представлены результаты обоснования аналитической модели механизма восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин на основе остаточного ресурса. В статье рассмотрены особенности аналитических подходов к обоснованию модели оценки технической готовности на основе остаточного ресурса единиц сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: методология, коэффициент готовности, эффективность, сельскохозяйственная машина.