УДК 631.1.004

СИСТЕМНІСТЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ЗА СТУПЕНЕМ ВИТРАТ ЇХ РЕСУРСУ

І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.

Бібл. 13, рис. 3, табл. 0.

Анотація. В статті проведено аналіз стану і напрямків розвитку системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Встановлено, що одним із напрямів удосконалення системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин в сучасних умовах є наукове обґрунтування раціональної періодичності проведення робіт з відновлення працездатності сільськогосподарських машин при їх технічній експлуатації.

За результатами проведеного аналізу рівня надійності і трудомісткості відновлення працездатності сільськогосподарських машин визначено, що першочергове проведення досліджень, спрямованих на зниження витрат при їх експлуатації, необхідно для підлогових пристроїв, де найбільш трудомісткими є роботи з технічного обслуговування робочих органів сільськогосподарських машин.

Інтенсивність роботи і швидкість витрачання технічного ресурсу сільськогосподарських машин в ланцюгах в значній мірі залежать від інтенсивності машиновикористання одиниць і тому істотно розрізняються на лініях різних категорій по інтенсивності відмов, а також в різних районах сезонного напрацювання. Для зниження витрат на експлуатацію сільськогосподарських машин і зменшення негативного впливу «людського фактора» необхідна розробка методів обліку відмінності в швидкості витрачання їх технічного ресурсу при призначенні термінів проведення робіт з відновлення працездатності сільськогосподарських машин.

Показана можливість оптимізації процесу відновлення працездатності сільськогосподарських машин за техніко-економічними критеріями з використанням апарату ланцюгів Маркова.

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

експлуатації в тісному взаємозв'язку один з одним [1]. Тому існує необхідність розробки моделей процесу відновлення працездатності сільськогосподарських машин з використанням математичного апарату ланцюгів Маркова [2], що дозволяють описувати поведінку великих технічних систем і пристроїв, що входять в них [3]. Марковська апроксимація процесів старіння забезпечується при цьому за рахунок нелінійного перетворення – квантування за рівнем випадкових функцій [4], що характеризують зміну в часі узагальненого параметра системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин [5].

Аналіз останніх досліджень

Нелінійне перетворення цілком природно для системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин [6], так як при їх технічному обслуговуванні параметри вимірюються в дискретні [7], і, як правило, рівновіддалені моменти часу [8]. Зазвичай вважається [9], що марковський ланцюг описує перехідний режим системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин на однакових інтервалах часу. Це дозволяє використовувати ланцюга Маркова для дослідження «поведінки» або зміни станів системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин на всьому часі експлуатації [10, 11].

Результати проведеного аналізу наукової літератури свідчать про відсутність в даний час єдиного системного підходу до обґрунтування забезпечення відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу, що відрізняються від машин-аналогів новизною конструкції [12], а також збільшення міжремонтного нормативами [13].

Мета досліджень

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до системного підходу забезпечення відновлення працездатності

Постановка проблеми

Стан елементів механізмів сільськогосподарських машин (далі – машин) змінюється в процесі його

сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу.

Результати досліджень

На рис. 1 представлена розроблена узагальнена марковська модель процесу відновлення працездатності сільськогосподарських машин, в якій прийняті наступні позначення станів.

Рис. 1. Узагальнена модель процесу відновлення працездатності сільськогосподарських машин.

Fig. 1. Generalized model of the process of recovery of agricultural machinery.

Н - новий стан - це працездатний стан, коли всі контрольовані параметри знаходяться в межах, що пропонуються для моменту пуску в експлуатацію, в яке потрапляють елементи сільськогосподарських машин, що надійшли з заводу або після капітального ремонту, проведеного в умовах дистанції. Даний стан - це період припрацювання, під час якого виявляються приховані дефекти.

С - старіючий стан, при якому елементи сільськогосподарських машин знаходяться в працездатному стані, і всі параметри, що характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції, знаходяться в області допустимих значень. Даний стан настає після закінчення періоду припрацювання і включає в себе весь період нормальної експлуатації.

П - передвідмовний стан (працездатне), коли один або декілька з контрольованих параметрів досягають області критичних значень.

О - стан відмови (захисного або небезпечного), за допомогою якого елементи сільськогосподарських машин знаходяться в непрацездатному стані.

Р - стан поточного ремонту, в яке елементи сільськогосподарських машин потрапляють або під час усунення відмов, або при технічному обслуговуванні, коли проводиться заміна або відновлення будь-яких вузлів або деталей.

КР - стан капітального ремонту, в яке елементи сільськогосподарських машин виводяться відповідно до графіків заміни в встановлені нормативними документами терміни.

Переходи між можливими станами даної моделі, позначені λ з індексами, складеними з позначень початкового і кінцевого станів, є інтенсивностями старіння, відмов, передвідмов, проведення поточного та капітального ремонтів. Інтенсивності відмов включають в себе інтенсивності всіх можливих видів як захисних, так і небезпечних відмов - раптових, поступових, передсезонних і післяпрофілактичних.

Зворотні переходи між станами, позначені μ , є інтенсивностями відновлень після відмов, робіт при регламентному обслуговуванні і введення в експлуатацію після капітального ремонту.

Дуги графа з поверненням в ті ж стани відповідають випадкам, коли між черговими перевірками контрольованих параметрів об'єкт залишився в колишньому дискретному стані. Ці переходи позначені $\lambda_{HH}, \lambda_{CC}, \lambda_{PP}, \lambda_{OO}, \lambda_{RR}, \lambda_{KRKR}$.

У даній моделі (рис. 1) враховані і малоімовірні переходи, позначені пунктирними лініями. Надалі для спрощення розрахункових формул ці переходи не розглядаються, тобто значення інтенсивностей цих переходів приймаються рівними нулю.

Математична модель розглянутого процесу змін стану в часі включає в себе вектор-стовбець $P(0)$, який задається ймовірністю розподілу станів в нулевий момент часу, і стохастичну матрицю ймовірностей переходів між станами $\|P_{ij}\|$.

Рис. 2. Модель процесу відновлення працездатності двигунів сільськогосподарських машин.

Fig. 2. Model of process of recovery of engines' agricultural machinery.

Розроблена узагальнена модель процесу відновлення працездатності сільськогосподарських машин дозволяє будувати приватні моделі технічного обслуговування будь-яких елементів сільськогосподарських машин з урахуванням специфіки їх роботи і прояви відмов, а також виводити розрахункові формули для визначення ймовірностей перебування в кожному з можливих дискретних станів розглянутого процесу.

Розроблена марковська модель процесу відновлення працездатності двигунів сільськогосподарських машин на інтервалі часу від пуску в експлуатацію до моменту заміни для капітального ремонту або списання представлена на рис. 2.

Система диференціальних рівнянь для даної моделі має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_H}{dt} &= -P_H(t) \cdot (\lambda_{HC} + \lambda_{HO}) + P_C(t) \cdot 0 + P_H(t) \cdot 0 + P_O(t) \cdot \mu_{OH} + P_F(t) \cdot \mu_{FH}; \\ \frac{dP_C}{dt} &= P_H(t) \cdot \lambda_{HC} - P_C(t) \cdot (\lambda_{CH} + \lambda_{CO} + \lambda_{CF}) + P_H(t) \cdot \mu_{CH} + P_O(t) \cdot \mu_{OC} + P_F(t) \cdot \mu_{FC}; \\ \frac{dP_H}{dt} &= P_H(t) \cdot 0 + P_C(t) \cdot \lambda_{CH} - P_H(t) \cdot (\mu_{CH} + \lambda_{HO} + \lambda_{HF}) + P_O(t) \cdot \mu_{OH} + P_F(t) \cdot 0; \\ \frac{dP_O}{dt} &= P_H(t) \cdot \lambda_{HO} + P_C(t) \cdot \lambda_{CO} + P_H(t) \cdot \lambda_{HO} - P_O(t) \cdot (\mu_{OH} + \mu_{OC} + \mu_{OF} + \lambda_{OP}) + P_F(t) \cdot 0; \\ \frac{dP_F}{dt} &= P_H(t) \cdot 0 + P_C(t) \cdot \lambda_{CF} + P_H(t) \cdot \lambda_{HF} + P_O(t) \cdot \lambda_{OF} - P_F(t) \cdot (\mu_{FH} + \mu_{FC}). \end{aligned} \right\}.$$

Розглянуті стани даного процесу утворюють повну групу несумісних подій, тому сума їх ймовірностей дорівнює одиниці.

$$P_H(t) + P_C(t) + P_H(t) + P_{Pro}(t) + P_F(t) = 1. \quad (1)$$

В результаті рішення системи рівнянь з урахуванням рівняння (1) при відомих чисельних значеннях інтенсивностей переходів між станами процесу відновлення працездатності двигунів сільськогосподарських машин визначаються ймовірності їх знаходження в кожному з можливих дискретних станів розглянутого процесу.

Для чисельного рішення системи диференціальних рівнянь з урахуванням рівняння (1) для відновлення працездатності двигунів сільськогосподарських машин, потрібне знання чисельних даних по інтенсивностям переходів між станами. Ці чисельні значення для ліній різних категорій були знайдені за результатами аналізу статистичних даних агрофірм, що дозволило отримати значення ймовірностей перебування двигунів в різних станах. Були знайдені також чисельні значення сумарних і питомих витрат на експлуатацію двигунів на лініях з різною інтенсивністю напруження машин.

На базі методики розрахунку ймовірностей перебування двигунів в станах марківської моделі процесу відновлення працездатності двигунів сільськогосподарських машин була розроблена методика пошуку оптимальної по техніко-економічним критерієм періодичності технічного обслуговування.

Визначальним параметром є інтенсивність наробітки машини, що впливає на швидкість витрачання ресурсу двигунів і обмежує час відновлення їх працездатності після відмов, а змінним параметром взята періодичність технічного обслуговування, що визначає трудомісткість обслуговування і величину експлуатаційних витрат.

За розробленою методикою було знайдено оптимум періодичності виконання роботи «Перевірка внутрішнього стану газовідведення, справності циліндро-поршневої групи двигуна; чистка і змащування систем, що експлуатуються на лініях четвертої категорії. Трудомісткість виконання даної роботи на лініях четвертої категорії становить 43,8% від загального обсягу робіт по профілактиці захисних відмов двигунів, а існуюча періодичність її проведення – один раз в квартал.

На рис. 3 показані графіки зміни, в залежності від періодичності проведення даної роботи по технічному обслуговуванні двигунів, інтенсивності захисних відмов λ_3 , питомих на один захід річних витрат на технічне обслуговування C'_O , Збитку в поїзній роботі від відмов стрілочних електроприводів і витрат від додаткових витрат трудових ресурсів на їх усунення C'_y , а також питомих сумарних експлуатаційних витрат C'_E .

Рис. 3. Залежність питомих витрат на експлуатацію двигунів від періодичності виконання роботи.

Fig. 3. The dependence of unit costs on operation engines from interval work.

У техніко-економічних розрахунках мінімум буває зазвичай слабовираженням, що видно і з рис. 3. Тому коректніше можна говорити не про оптимальну, а про раціональність періодичності технічного обслуговування, яка визначається з урахуванням обмежень, що накладаються особливостями експлуатації систем двигунів на конкретних ділянках і діючими методами планування робіт з їх технічного обслуговування.

Отримання раціональної періодичності виконання даної роботи – один раз в 33 дні. При цьому трудомісткість виконання робіт з технічного обслуговування двигунів сільськогосподарських машин з урахуванням непродуктивних витрат часу на лініях четвертої категорії відмов зменшиться на 13,4% і складе 20,95 люд.-год. в рік на один двигун.

Використано практику призначення однакової періодичності капітальних ремонтів двигунів без урахування швидкості витрачання їх ресурсу в конкретних умовах експлуатації здебільшого надлишкова. Тому нами розроблена також методика

визначення раціональних термінів ремонтів двигунів, експлуатованих для різних категорій наробітку з урахуванням швидкості витрачання їх технічного ресурсу.

На підставі розробленої моделі еволюції в часі ресурсу сільськогосподарських машин знайдена залежність періодичності їх заміни від середньої швидкості витрачання технічного ресурсу. Показано, що оптимальні терміни заміни для проведення відновлення працездатності сільськогосподарських машин, експлуатованих на лініях третьої і четвертої категорій відмов, а також експлуатованих на лініях першої та другої категорій, становить 1021 годин і 1208 годин відповідно при діючому максимальному терміні заміни, рівному 960 годин.

Висновки

1. Розроблено, як окремі випадки узагальненої моделі, марковська модель процесу відновлення працездатності сільськогосподарських машин і марковские моделі процесів відновлення працездатності двигунів сільськогосподарських машин в кожне з можливих станів з використанням диференціальних рівнянь Колмогорова.

2. Розроблено методику оптимізації періодичності технічного обслуговування двигунів за техніко-економічним критерієм і методика пошуку раціональної періодичності їх обслуговування з урахуванням обмежень, що накладаються особливостями експлуатації систем двигунів машин на конкретних ділянках і методами планування робіт з технічного обслуговування сільськогосподарських машин з урахуванням швидкості витрачання їх технічного ресурсу.

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., Yezekeyan 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.

13. *Rogovskii I. L.* Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 181-187.

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., Yezekeyan 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., Jasinskas 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-Aienza 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.

13. Rogovskii I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 3, 181-187.

СИСТЕМНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПО СТЕПЕНИ ЗАТРАТ РЕСУРСА

И. Л. Роговский

Аннотация. В статье проведен анализ состояния и направлений развития системы восстановления

работоспособности сельскохозяйственных машин. Установлено, что одним из направлений совершенствования системы восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин в современных условиях является научное обоснование рациональной периодичности проведения работ по восстановлению работоспособности сельскохозяйственных машин при их технической эксплуатации.

Об результатам проведенного анализа уровня надежности и трудоемкости восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин определено, что первоочередное проведение исследований, направленных на снижение затрат при их эксплуатации, необходимо для napольных устройств, где наиболее трудоемкими являются работы по техническому обслуживанию рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Интенсивность работы и скорость расходования технического ресурса сельскохозяйственных машин в цепях, в значительной степени зависят от интенсивности машиноиспользования единиц и поэтому существенно различаются на линиях разных категорий по интенсивности отказов, а также в различных районах сезонного наработки. Для снижения затрат на эксплуатацию сельскохозяйственных машин и уменьшение негативного влияния «человеческого фактора» необходима разработка методов учета различия в скорости расходования их технического ресурса при назначении сроков проведения работ по восстановлению работоспособности сельскохозяйственных машин.

Показана возможность оптимизации процесса восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин по технико-экономическим критериям с использованием аппарата цепей Маркова.

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

CONSISTENCY ENSURE THE RECOVERY OF AGRICULTURAL MACHINERY ACCORDING TO DEGREE OF RESOURCE'S COSTS

I. L. Rogovskii

Abstract. In the article the analysis of a condition and directions of development of the system restore functionality of agricultural machinery. It is established that one of the ways of improving the resilience of agricultural machinery in modern conditions is the scientific rationale for the periodicity of the works on the restoration of agricultural machinery during their operation.

About the results of the analysis of the level of reliability and the complexity of the recovery of agricultural machinery is determined that the primary research aimed at cost reduction in their operation, it is necessary for outdoor functions where the most time-consuming is the maintenance of the working bodies of agricultural machinery.

The intensity of work and the consumption rate technical resource of agricultural machinery in chains largely depend on the intensity of units and therefore differ significantly on the lines of different categories according to failure rate, as well as in various parts of the seasonal developments. To reduce the cost of operation of agricultural machines and reduction of the negative impact of "human factor" is necessary to develop methods of accounting for the differences in rate of consumption of their technical resource when assigning the timing of the works with the restoration of agricultural machinery.

The possibility of optimizing the process of recovery of agricultural machinery on techno-economic criteria using the apparatus of Markov chains.

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

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