УДК 658.531:631.3

АНАЛІТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Ю. О. Черник

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: chernik@gmail.com.

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

Бібл. 16, рис. 0, табл. 2.

Анотація. Основною властивістю пайової коефіцієнта динамічності є те, що він дозволяє визначити найбільш слабка ланка (параметр) даного механізму за ознакою максимального впливу на зміну параметра рівня, тобто по максимуму пайової коефіцієнта. В статті визначено, що прогнозування цілком реально на основі причинно-наслідкового аналізу і для нього нами отримані прості розрахункові формули, що оптимізують прогнозований період за критеріями мінімуму збитків, пов'язаних з простоями об'єкта і заміною зношених деталей, а також за критерієм максимуму виробленої або переданої механізмом енергії.

Ключові слова: система, готовність, коефіцієнт, комбайн.

Постановка проблеми

Якщо галузь прогнозування відновлення технічного стану зернозбиральних комбайнів, як причинно-наслідкового моделі має L рівнів, то для параметра $(L-1)$ -го рівня коефіцієнт динамічності матиме значення $D^{L-1} = S^L \cdot D^L$ і аналогічно $D^{L-2} = S^{L-1} D^{L-1} = S^{L-1} S^L D^L$ [1-6]:

$$D^N = D^L \prod_{L}^{N+1} S^m, \quad (1)$$

де: $m = L, L-1, L-2, \dots, N+1$.

Формула (1) дає можливість простежити послідовність впливу параметрів по деякому одному шляху від нижчого до вищого рівня [7, 8].

Якщо параметр $\prod_{ci}^N$ залежить від n параметрів-причин $(N+1)$ -го рівня, то для кожної пари зв'язків $\prod_c \left(\prod_{nk}^{N+1} \right)$, де $k = 1, 2, \dots, n$, можуть бути знайдені значення коефіцієнтів динамічності [9]:

$$D_i = S_{ki} D_k. \quad (2)$$

Аналіз останніх досліджень

Сумарний вплив всіх параметрів-причин $(N+1)$ -го рівня на параметр-наслідок N -го рівня виражається формулою [10]:

$$D_i = \sum_{k=1}^n S_{ki} D_k, \quad (3)$$

З формули (3) неважко також зауважити, що для визначення залежності параметра вищого рівня від часу немає необхідності досліджувати цю залежність безпосередньо [11]. Достатньо лише визначити коефіцієнти динамічності параметрів-причин нижчого рівня та не допустити істотних прорахунків у визначенні переліку цих параметрів-причин [12-16].

Мета досліджень

Визначення напрямків розроблення аналітичних положень прогнозування забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Результати досліджень

Крім основного коефіцієнта динамічності, кожен параметр має ще й частковий коефіцієнт динамічності d , Що показує ту частину зміни параметра вищого рівня (в нашому випадку – індикаторної потужності) у часі, яка вноситься дією даного параметра. Пайовий коефіцієнт динамічності будь-якого параметра має розмірності коефіцієнта динамічності параметра вищого рівня. Формула для підрахунку коефіцієнта динамічності має вигляд:

$$d_i = D_i \prod_i^2 S^k, \quad (4)$$

де D_i – власний коефіцієнт динамічності i -го параметра; S^k – Передавальні коефіцієнти параметрів ланцюжка від i -го до I -го рівня.

Основною властивістю пайової коефіцієнта динамічності є те, що він дозволяє визначити найбільш слабка ланка (параметр) даного механізму за ознакою максимального впливу на зміну параметра I -го рівня, тобто по максимуму пайової коефіцієнта.

Ще однією кількісною характеристикою причинно-наслідкового моделі є коефіцієнт впливу, що представляє собою твір передавальних коефіцієнтів на послідовній ланцюжку від нижчого до

$$\text{вищого рівня: } \beta_i = \prod_i S^k.$$

Коефіцієнт впливу може мати різні значення на різних шляхах впливу даного параметра на параметр вищого рівня. Шляхів впливу може бути від одного до декількох десятків, як наприклад, у параметра «Зазор між коромислом і стрижнем клапана» (для одного циліндра двигуна), що має 23 різних шляхи впливу на величину індикаторної потужності.

У розрахунку повинен використовуватися сумарний коефіцієнт впливу по всіх шляхах впливу.

Знак коефіцієнта впливу може бути позитивним, так і негативним, причому, на різних шляхах впливу коефіцієнта може бути різним і лише при підсумовуванні остаточно визначається знак коефіцієнта впливу.

Перераховані вище характеристики причинно-наслідкового моделі дають можливість вирішувати цілий ряд важливих практичних завдань. На деяких з цих завдань ми зупинимося нижче, але перш розглянемо одну особливість зміни коефіцієнта динамічності параметра нижнього рівня в процесі експлуатації об'єкта, на яку вказав у своїх роботах В. М. Міхліна. Мова йде про те, що величина параметра нижнього рівня в загальному випадку в силу ряду причин змінюється в часі нелінійно.

Спостерігаються лінійні залежності є лише окремими випадками загальної залежності, описуваної елементарної статичної функцією типу:

$$P = at^b, \quad (5)$$

де: t – поточний час; a – коефіцієнт, що характеризує масштаб залежності; b – показник, постійний для даного типу сполучення.

Продиференціювавши вираз (5) за часом, отримаємо загальний вираз для коефіцієнта динамічності параметра:

$$D = abt^{b-1}. \quad (6)$$

Маючи в своєму розпорядженні експериментальними даними про величини коефіцієнтів a і показників b параметрів нижнього рівня, користуючись причинно-наслідковою моделлю можна визначити показники залежностей від часу параметрів вищих рівнів, у тому числі і параметра першого рівня (основного сигналу).

Використавши наявні експериментальні дані нами отримані значення показників ступеня для всіх параметрів, що входять в дану модель. Деякі з них наведені в табл. 1.

Використовуючи причинно-наслідковий модель, можна встановити граничні значення параметрів нижніх рівнів, задавшись граничним зміною параметра першого рівня.

Поставивши собі зменшенням циліндричної індикаторної потужності за 100 годин роботи, ми визначили, на яку величину зміняться за цей же період параметри нижніх рівнів. Деякі результати цього розрахунку наведені в табл. 2.

Аналіз даних табл. 2 вказує на найбільш слабкі місця системи «Двигун». Проведення подібного розрахунку дозволяє досить обгрунтовано встановлювати допустимі і граничні значення параметрів стану механізму.

При цьому, звичайно, всебічно повинно бути обгрунтовано заданий зміна параметра першого рівня. На закінчення розглянемо, як причинно-наслідковий модель допомагає встановити оптимальну періодичність регулювальних і інших робіт, спрямованих на часткове або повне відновлення працездатності механізму.

Як уже зазначалося вище, на зміну основного вихідного сигналу впливає одночасно і незалежно один від одного дві групи параметрів стан: регульовані і нерегульовані.

Таблиця 1. Значення показників ступеня, отримані розрахунком причинно-наслідкового моделі.
Table 1. The values of the exponents obtained by the calculation of a causal model.

Найменування параметрів	Значення показника b
Фази газорозподілу	1,16
Тиск кінця випуску газів	1,13
Тиску кінця всмоктування	1,98
Циклонна подача палива	1,09
Кут початку впорскування палива	1,25
Дисперсність розпилювання палива	1,05
Пневматична щільність циліндра	1,86
Показник політропи стиснення	1,39
Тиску кінця стиснення	2,00
Показник політропи розширення	1,93
Тиск кінця горіння палива	1,37
Індикаторна потужність двигуна	1,88

Таблиця 2. Значення змін параметрів за 100 год, отримані розрахунком причинно-наслідкового моделі.
Table 2. The value of the parameter changes for 100 h obtained by calculation of the causal model.

Найменування параметрів	Зміна параметрів
Циклова подача палива	-7,02%
Кут початку впорскування палива	-1,0%
Тиск початку уприскування	-40%
Натяг ременя вентилятора	-52,5%
Зазор в механізмі газорозподілу	+0,16 Мм
Засміченість повітроочисника	+ 200%
Утопання клапанів	+0,056 Мм
Знос кулачків розподільного вала	+0,14 Мм
Знос по товщині зуба розподільної шестерні	+0,055 Мм
Знос підшипників розподільного валу	+0,27 Мм
Засміченість водяного радіатора	+ 0,5%
Збільшення шару накипу в сорочці	+0,2 Мм
Знос деталей розпилювача	+ 48%
Зміна жорсткості пружин регулятора	-2%

Запропонуємо, що відновлення номінальних значень регульованих параметрів відбувається одночасно. З початку експлуатації до моменту першої регулювання величина основного вихідного сигналу змінюється по деякому закону: $\Pi_1 = a_1 t_{i_1}^{b_1}$, де t_{i_1} – поточний час в першому періоді.

Зміни, що вносяться до величину Π_1 параметрами першої групи, можна виразити аналогічним законом:

$$\Pi_p = a_p t_{i_1}^{b_p}, \quad (7)$$

а параметрами другої групи - подібною ж формулою:

$$\Pi_n = a_n t_{i_1}^{b_n}. \quad (8)$$

Відповідно коефіцієнти динамічності основного вихідного сигналу і двох груп параметрів-причин мають вигляд:

$$D_1 = \frac{d\Pi_1}{dt} = a_1 b_1 t_{i_1}^{b_1-1}, \quad (9)$$

$$D_1 = \frac{d\Pi_p}{dt} = a_p b_p t_{i_1}^{b_p-1}, \quad (10)$$

$$D_1 = \frac{d\Pi_n}{dt} = a_n b_n t_{i_1}^{b_n-1}. \quad (11)$$

Отже, в початковий період: $\Pi_1 = \Pi_p + \Pi_n$,

$$D_1 = D_p + D_n.$$

Після того, як була проведена перша регулювання всіх регульованих параметрів одночасно і їх значення були відновлені до нормальних, величина зміни параметра вищого рівня буде рівна лише частці зміни, внесеної групою нерегульованих параметрів за час t_1 : $\Pi_1 = \Pi_n$.

Для групи регульованих параметрів з моменту регулювання відлік часу починається з нуля, через що група регульованих параметрів у другому періоді

вносить зміни у величину Π_1 по колишньому

закону: $\Pi_p = a_p t_{i_2}^{b_p}$, $D_p = a_p b_p t_{i_2}^{b_p-1}$.

У той же час група нерегульованих параметрів змінюється відповідно до формулами:

$$\Pi_n = a_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n}, \quad D_n = a_n b_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n-1},$$

де t_1 – тривалість першого періоду; t_{i_2} – поточний час між першою і другою регулювання. У зв'язку з цим

$$\Pi_1 = \Pi_p + \Pi_n = a_p t_{i_2}^{b_p} + a_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n};$$

$$D_1 = D_p + D_n = a_p b_p t_{i_2}^{b_p-1} + a_n b_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n-1}$$

Описаний процес відбуватиметься і в наступних періодах між регулюваннями, тому в загальному вигляді в період m величина зміни параметра вищого рівня і його коефіцієнт динамічності складуть:

$$\Pi_1 = a_p t_{i_m}^{b_p} + a_n \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k + t_{i_m} \right)^{b_n}, \quad (12)$$

$$D_1 = a_p b_p t_{i_m}^{b_p-1} + a_n b_n \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k + t_{i_m} \right)^{b_n-1}. \quad (13)$$

Так як регулювання по потребі проводиться лише в момент, коли Π_1 одно граничного зміни $\Pi_1^{\text{пред}}$, То величина періоду до наступної регулювання визначається з умови:

$$\Pi_1^{\text{пред}} = a_p t_m^{b_p} + a_n \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k + t_m \right)^{b_n}. \quad (14)$$

Для розрахунків за формулою (17) можуть бути використані розрахункові значення a_p , b_p , a_n і

b_n , Одержувані в результаті причинно-наслідкового аналізу об'єкта, або ці ж значення, уточнені в період експлуатації об'єкта.

Величина t_m , що представляє собою прогноз роботи об'єкта після регулювання до моменту досягнення граничного значення зміни параметра вищого рівня, підраховується за формулою:

$$t_m = \left[\frac{\Pi_1^{\text{пред}}}{a_p(1+z)} \right]^{\frac{1}{b_p}}. \quad (15)$$

Тут

$$z = \frac{a_n \left[t_s^{b_n} - \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k \right)^{b_n} \right]}{a_p \left(t_s - \sum_{k=1}^{m-1} t_k \right)^{b_p}}. \quad (16)$$

У формулі (16) t_s – значення часу від початку експлуатації, при якому Π_n досягає значення $\Pi_1^{\text{пред}}$. Аналіз формули (16) показує, що з

наближенням значення $\sum t_k$ до t_s величина z

зростає, що свідчить про постійне зростання ролі нерегульованих параметрів у формуванні технічного стану об'єкта за умови, якщо регульовані параметри будуть всі одночасно відновлюватися до номінальних значень. У момент, коли подальша регулювання параметрів першої групи вже не приносить потрібного результату. Виникає необхідність у відновленні номінальних значень і параметрів другої групи, що досягається шляхом проведення ремонтних операцій.

Висновки

Можна вказати, що прогнозування цілком реально на основі причинно-наслідкового аналізу і для нього нами отримані прості розрахункові формули, що оптимізують прогнозований період за критеріями мінімуму збитків, пов'язаних з простоями об'єкта і заміною зношених деталей, а також за критерієм максимуму виробленої або переданої механізмом енергії.

Список літератури

1. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для

сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.

2. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

3. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

4. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Математичний апарат опису маршруту технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 337–346.

5. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.

6. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 103–114.

7. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Rogovskii I. L. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.

8. Rogovskii I. L. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.

9. Rogovskii Ivan. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Tom 16. №3. P. 296–302.

10. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

11. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Method for Determining Time of next Maintenance of Combine Harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105–115.

12. 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.

13. 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.

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

15. 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.

16. Zagurskiy O., Ohiienko 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.

References

1. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Analytical position determination of the coefficient of dynamic parameters of the technical condition of combine harvesters. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. *Doslidnitske*. Vol. 21 (35). 55-61.

2. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. Vol. 258. 380-390.

3. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. Vol. 262. 353-361.

4. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Mathematical apparatus of the description of the route maintenance of combine harvesters in accordance with the detection of combinations of failures. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 275. 337-346.

5. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. *MOTROL*. Lublin. Vol. 19. No 3. 179-184.

6. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA*. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 103-114.

7. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. *NULESU*. 360.

8. Rogovskii, I. L. (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. *Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko*. Kharkov. Vol. 159. 224-232.

9. Rogovskii Ivan. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. *Motrol: Motorization and power industry in agriculture*. Tom 16. № 3. 296-302.

10. Rogovskii, I. L. (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 262. 403-411.

11. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2018). Method for Determining Time of next Maintenance of Combine Harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. 105-115.

12. 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.

13. 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.

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

15. 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.

16. Zagurskiy O., Ohiienko 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.

АНАЛІТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Ю. А. Черник

Аннотация. Основным свойством долевого коэффициента динамичности является то, что он позволяет определить наиболее слабое звено (параметр) данного механизма по признаку максимального влияния на изменение параметра уровня, то есть по максимуму долевого коэффициента. В статье определено, что прогнозирование вполне реально на основе причинно-следственного анализа и для него нами получены простые расчетные формулы, оптимизируют прогнозируемый период по критериям минимума потерь, связанных с простоями объекта и заменой изношенных деталей, а также по критерию

максимума произведенной или переданной
механизмом энергии.

Ключевые слова: система, готовность,
коэффициент, комбайн.

ANALYTICAL PRINCIPLES OF FORECASTING
TO ENSURE THE TECHNICAL READINESS
OF OPERATION OF COMBINE HARVESTERS

Yu. O. Chernik

Abstract. A basic property of a proportion of agility is that it allows you to determine the weakest link (option) this mechanism on the basis of maximum impact on the change in parameter level that is the maximum proportional factor. In the article it is determined that the prediction is realistic based on causal analysis and to him we have obtained simple formulas, optimize the forecast period according to the criteria of the minimum of losses associated with downtime of the facility and the replacement of worn parts, as well as the criterion of the maximum produced or transferred by the mechanism of energy.

Key words: system, availability, efficiency, combine.

Ю. О. Черник ORCID 0000-0002-9654-9051.