

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ

Войтов В.А., д.т.н., проф.; Ярохно С.Ю., асп.; Климов П.Н., к.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка*

У статті представлена методика оцінки надійності силової установки зернозбирального комбайну з визначенням ймовірності робочого стану та ймовірності відмов. Наведені розрахункові формули для визначення коефіцієнту готовності та коефіцієнту технічного використання.

Актуальність

За даними Держтехнагляду України основним зернозбиральним комбайном в господарствах є ДОН – 1500. На такі комбайни в останні роки встановлено силову установку ЯМЗ – 238АК. Досвід експлуатації комбайнів з дизелями ЯМЗ – 238АК показує, що при виконанні всіх видів технічного обслуговування та ремонтів перед початком збирання врожаю відмови по причині силової установки практично відсутні, але силова установка, по багатьом причинам може не розвивати номінальної потужності, що призводить до зменшення швидкості руху комбайна. Зменшення швидкості руху впливає на зниження продуктивності комбайна, збільшення термінів збирання врожаю, а тим самим на втрати врожаю. Крім того, зменшення потужності двигуна по причині недостатнього функціонування підсистем призводить до збільшення витрат палива.

Як впливає з наведеного вище, використання зернозбиральних комбайнів з двигунами, які не розвивають номінальної потужності може стати економічно недоцільним.

Аналіз публікацій

Для забезпечення високих значень коефіцієнта готовності (K_r) та коефіцієнта технічного використання ($K_{тв}$) використовувалась планово-запобіжна система технічного обслуговування та ремонту [1,2]. Система добре зарекомендувала себе на практиці для планування експлуатаційних заходів, направлених на підтримку машин в справному стані, а також для обґрунтування вимог при розробці нових зразків техніки.

Однак, маючи ряд переваг, зазначена система не позбавлена недоліків. В роботі [2] відзначається, що технічне обслуговування, що виконується по наробітку, не є оптимальним для підтримки справного і працездатного стану техніки, тому що обслуговуванню піддаються машини, які можуть його не проходити, у той час як інші, котрі потребують обслуговування, вчасно його не одержують. Більш детально цей недолік обґрун-

тований у роботі [1], де зазначено, що така система не враховує динаміку зношування машин.

Вказані недоліки стали приводом для численних досліджень, спрямованих на пошук різноманітних методів оптимізації періодичності проведення обслуговування та ремонту. Однак, як показує аналіз літературних джерел [3, 4], оптимізація строків виконується за економічними критеріями, без оцінки надійності машин.

Мета досліджень

Провести оцінку надійності силової установки зернозбирального комбайну, яка за результатами використання у минулому році дасть змогу оцінити K_T та K_{TB} у поточному році, а також спланувати відповідні заходи по підвищенню K_T та K_{TB} .

Методичний підхід

Для визначення надійності силової установки застосовувалася теорія дослідження операцій [5]. Процес функціонування та відмов силової установки розглянемо як марковський випадковий процес, розмічений граф якого представлено на рис. 1.

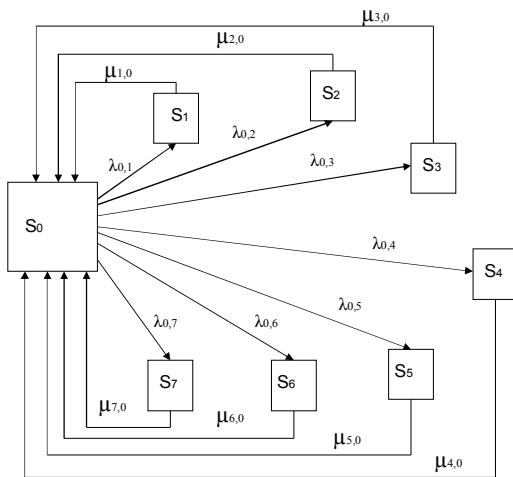


Рис. 1. Розмічений граф стану силової установки комбайну:
S₁ - двигун несправний, через відмову форсунок; S₂ – двигун несправний, через відмову паливного насосу високого тиску;
S₃ - двигун несправний, через відмову фільтра тонкої очистки палива; S₄ – двигун несправний, через відмову насоса, що підкачує;
S₅ – двигун несправний, через відмову фільтра очистки повітря;
S₆ - двигун несправний, через відмову циліндро-поршневої групи;
S₇ – двигун несправний, через відмову системи змащення.

На рис. 1 представлена силова установка комбайна у вигляді системи, що складається з ряду окремих підсистем. До таких підсистем, що виконують самостійні функції, відносяться: система змащення, система охолодження, система живлення паливом, система живлення повітрям, кривошипно-шатунний механізм, газорозподільний механізм. Можна встановити залежність надійності роботи силової установки від працездатності кожної з підсистем. Силова установка може перебувати у таких фіксованих станах: робочому S_0 і неробочих $S_1 \dots S_7$; перехід з робочого стану S_0 в неробочий S_i характеризується інтенсивністю відмов $\lambda_{0,i}$, а перехід з неробочого стану в робочий - характеризується інтенсивністю відновлення $\mu_{i,0}$. Аналіз публікацій по оцінці надійності підсистем силової установки дав змогу зробити висновок, що основний потік відмов припадає на наступні агрегати: форсунки; паливний насос високого тиску; фільтр тонкої очистки палива; підкачувальний насос; фільтр очистки повітря; циліндро-поршнева група; система змащення.

Застосовуючи правило Колмогорова, запишемо систему диференціальних рівнянь (1), які дозволять визначити ймовірності усіх можливих станів підсистем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{0,1} \cdot P_0 - \mu_{1,0} \cdot P_1, \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{0,2} \cdot P_0 - \mu_{2,0} \cdot P_2, \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{0,3} \cdot P_0 - \mu_{3,0} \cdot P_3, \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{0,4} \cdot P_0 - \mu_{4,0} \cdot P_4, \\ \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{0,5} \cdot P_0 - \mu_{5,0} \cdot P_5, \\ \frac{dP_6}{dt} = \lambda_{0,6} \cdot P_0 - \mu_{6,0} \cdot P_6, \\ \frac{dP_7}{dt} = \lambda_{0,7} \cdot P_0 - \mu_{7,0} \cdot P_7, \\ \frac{dP_0}{dt} = (\lambda_{0,1} + \lambda_{0,2} + \lambda_{0,3} + \lambda_{0,4} + \lambda_{0,5} + \lambda_{0,6} + \lambda_{0,7}) \cdot P_0 + \\ + \mu_{1,0} \cdot P_1 + \mu_{2,0} \cdot P_2 + \mu_{3,0} \cdot P_3 + \mu_{4,0} \cdot P_4 + \mu_{5,0} \cdot P_5 + \mu_{6,0} \cdot P_6 + \mu_{7,0} \cdot P_7 \end{array} \right. \quad (1)$$

Поставивши початкову умову, що перед початком роботи ймовірність робочого стану $P_0 = 1$, а ймовірності відмов P_i дорівнюють 0, вирішуємо систему диференціальних рівнянь (1). Розв'язання системи диференціальних рівнянь дозволило одержати формули для визначення ймо-

вірностей $P_1 \dots P_7$ для усіх вказаних вище агрегатів силової установки:

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{\lambda_{0,1}}{\mu_{1,0}}, P_2 = P_0 \cdot \frac{\lambda_{0,2}}{\mu_{2,0}}, P_3 = P_0 \cdot \frac{\lambda_{0,3}}{\mu_{3,0}}, P_4 = P_0 \cdot \frac{\lambda_{0,4}}{\mu_{4,0}},$$

$$P_5 = P_0 \cdot \frac{\lambda_{0,5}}{\mu_{5,0}}, P_6 = P_0 \cdot \frac{\lambda_{0,6}}{\mu_{6,0}}, P_7 = P_0 \cdot \frac{\lambda_{0,7}}{\mu_{7,0}}. \quad (2)$$

Застосовуючи нормувальну умову $\sum P_i = 1$, одержуємо формулу для визначення ймовірності робочого стану силової установки:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{0,1}}{\mu_{1,0}} + \frac{\lambda_{0,2}}{\mu_{2,0}} + \frac{\lambda_{0,3}}{\mu_{3,0}} + \frac{\lambda_{0,4}}{\mu_{4,0}} + \frac{\lambda_{0,5}}{\mu_{5,0}} + \frac{\lambda_{0,6}}{\mu_{6,0}} + \frac{\lambda_{0,7}}{\mu_{7,0}}}. \quad (3)$$

Відповідно ДСТУ 2860-94 [6] коефіцієнт готовності визначається як «ймовірність того, що об'єкт виявиться в працездатному стані в довільний момент часу, крім планованих періодів, протягом яких застосування об'єкту по призначенню не передбачається». Отже, формула (3) визначає коефіцієнт готовності для силової установки зернозбирального комбайну.

Інтенсивності відмов $\lambda_{0,i}$ та інтенсивності відновлення $\mu_{i,0}$ відповідно ДСТУ 2860-94 визначаються як:

$$\lambda(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{N\Delta t}, \quad (4)$$

$$\mu_{i,0} = \frac{1}{t_{i\text{восм}}}, \quad (5)$$

де $n(t)$ - кількість об'єктів, що відмовили на відрізку від 0 до t ;
 $n(t+\Delta t)$ - кількість об'єктів, що відмовили на відрізку від t до Δt ;
 N - кількість об'єктів працездатних у момент початку роботи,
 $t_{i\text{восм}}$ - час, який необхідно витратити на повернення силової установки у працездатний стан.

Однак у процесі застосування техніки можливі відмови, які зменшують значення K_r , а отже визначають K_{TB} техніки.

Розглядаючи незалежні події - тобто відмова, наприклад, паливного насосу високого тиску не призведе до відмови форсунок чи паливного фільтру, а тільки до відмови силової установки взагалі, можна записати формулу для визначення коефіцієнта технічного використання силової установки зернозбирального комбайну:

$$K_{TB} = P_0 - \sum_{i=1}^7 P_i. \quad (6)$$

Аналогічний результат можна одержати по формулі (7), що визначе-

на у ДСТУ 2860-94 як відношення математичного очікування сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного очікування сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані та простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом за той же період, тобто:

$$K_{ТВ} = \frac{\sum_{K=1}^N t_K}{\sum_{K=1}^N t_K + \sum_{K=1}^N t_a + \sum_{K=1}^N t_{ТО}} . \quad (7)$$

Як видно із формул (6) та (7), збільшити $K_{ТВ}$ можна виключенням простоїв у полі. Таку задачу можна вирішити проведенням діагностування всіх агрегатів силової установки перед початком польових робіт і своєчасною заміною агрегатів та вузлів, у яких залишковий ресурс менше, ніж необхідний час виконання робіт. Як слідує із формул (6) та (7), $K_{ТВ}$ не може бути більшим ніж $K_{Г}$.

Завдяки проведенню аналізу публікацій, статистичних даних, а також проведенню опитування експертів виконано розрахунок ймовірностей відмов складових підсистем силової установки за формулами (2), що дало змогу отримати наступний рейтинг впливу:

$P_6 = 0,033$ – ЦПГ;

$P_7 = 0,019$ – система змащування;

$P_2 = 0,018$ – паливний насос високого тиску;

$P_5 = 0,018$ – фільтр очищення повітря;

$P_1 = 0,017$ – форсунки;

$P_3 = 0,015$ – фільтр тонкої очистки палива;

$P_4 = 0,015$ – підкачувальний насос.

Ймовірність справного стану силової установки розрахована за формулою (3): $P_0 = 0,865$.

Підраховавши суму наведених ймовірностей відмов, яка дорівнює 0,135, можна розрахувати значення $K_{ТВ}$ за формулою (6), яке дорівнює 0,73.

Висновок

На основі розробленої методики ймовірнісної оцінки надійності силової установки зернозбирального комбайну та даних по використанню силових установок зернозбиральних комбайнів на сільськогосподарських підприємствах попереднього року експлуатації можна зробити прогноз по використанню техніки на поточний рік. Проведені розрахунки показали, які системи та агрегати необхідно в першу чергу контролювати.

Список використаних джерел

1. Конкин Ю.А., Никулин Ю.В., Дашкова Л.В. Развитие фирменного ремонта и технического сервиса в АПК. – М.:АгроНИЦ ТЭИИТО, 1989. – 60с.

2. Пасечников Н.С. Научные основы технического обслуживания в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1983. – 143с.
3. Пронников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592с.
4. Кавалерчик К.М. Организационно-экономические основы управления работоспособностью и оптимизация долговечности машин: Автореф. дис. докт. эконом.наук. -М:МИИСП, 1989.-32 с.
5. Венцель Е.С. Овчарова Л.А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988, - 477 с.
6. ДСТУ 2860 - 94 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – 40с.
7. ОСТ 70.2.8-8.2. Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Сбор и обработка информации. – Введен 1.07.83. – 122 с.
8. ОСТ 70.2.6-77. Испытание сельскохозяйственной техники. Тракторы, машины сельскохозяйственные, машины для животноводства и кормопроизводства. Надежность. Показатели и методы их оценки. – 44 с.
9. Кугель Р.В. Эксплуатационная надежность тракторов.- М.:Агропромиздат, 1990.-114 с.
10. Пучин Е.А., Кушнарев Л.И. Повышение эффективности использования машин в АПК // Технический сервис в АПК. Сб. научн. трудов МГАУ. – М.: 2002, с.133.

Аннотация

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Войтов В.А., Ярошно С.Ю., Климов П.Н.

Представлена методика оценки надежности силовой установки зерноуборочного комбайна с определением вероятности исправного состояния и вероятности отказов. Представлены расчетные формулы определения коэффициента готовности и коэффициента технического использования.

Abstract

RELIABILITY EVALUATION OF GRAIN COMBINE ENGINE INSTALLATION

V. Voytov, S. Yarohno, P. Klimov

Reliability evaluation method of grain combine engine installation with degree of success and probability of refusal estimation are considered in this article. The design equation of availability ratio and operating efficiency are represented in it too.