

*В статье предложена и доказана теорема, чтобы получить достаточные условия для существования решений слабо нелинейной неоднородной краевой задачи в случае, когда состояние  $P_{B_0} = 0$ ,  $P_{B_0}^* P_{Q_a}^* = 0$  не выполняется.*

***Неоднородность, краевая задача, решение.***

УДК 631.3.56

## **КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ БЕЗВІДМОВНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

***О.М. Бистрий, інженер***

***І.Л. Роговський, кандидат технічних наук***

*В статті запропоновано методологічний підхід до визначення кількісних показників для оцінки експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів.*

***Комбайн, безвідмовність, показник.***

**Постановка проблеми.** Для оцінки надійності відновлюваних технічних систем передбачено комплексні і одиничні показники. Більшість з цих показників має властивість ймовірного характеру і дозволяють оцінити: безвідмовність, ремонтпридатність, зберігаємість і довговічність технічної системи.

**Аналіз останніх досліджень.** Ймовірнісні показники адекватно характеризують процес визначення надійності сільськогосподарської машини або агрегату, які мають короткотермінову чітко виражену сезонність періоду експлуатації: зернозбиральний комбайн, жнивarka, ґрунтообробні і посівні агрегати [1, 2].

Для оцінки експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів можуть бути застосовані характеристики випадкового потоку подій (відмов), які послідовно або паралельно відбуваються одна за одним в певні моменти часу [3]. На експлуатаційно-технологічну безвідмовність зернозбиральних комбайнів домінуючий вплив мають конкретні умови експлуатації, а також комплекс впливу багатьох внутрішніх випадкових факторів самого комбайна, саме тому потоки подій в загальному випадку будуть не детермінованими, а стохастичними потоками [4].

© О.М. Бистрий, І.Л. Роговський, 2014

Таким чином для оцінки експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів необхідно обґрунтувати сукупне використання групи кількісних показників, які передбачені ДСТУ 9361-95, як одиничних так і комплексних, які характеризують безвідмовність комбайна і функції часу їх експлуатації [5]. Як зазначено в дисертаційній роботі попередньо експлуатаційно-технологічну безвідмовність зернозбиральних комбайнів необхідно обґрунтовувати наступними характеристиками: самою безвідмовністю, відновленням працездатності і стабільністю протікання технологічного процесу збирання врожаю зернових сільськогосподарських культур [6].

При цьому за безвідмовність необхідно вважати властивість комбайна зберігати працездатність під час визначеного наробітку без вимушених перерв [7].

**Результати досліджень.** Під відновленням працездатності необхідно вважати властивість комбайна мати пристосованість до попередження, виявлення і усунення відмов або несправностей шляхом проведення технічного контролю, технічного обслуговування і ремонту. За стабільністю протікання технологічного процесу збирання врожаю зернових сільськогосподарських культур вважається властивість комбайна в агротехнічні терміни зберігати продуктивність і якість робочого процесу на заданому нормативному рівні. Отже, безвідмовність в нашу випадку для відновлюваних технічних систем, якими і є зернозбиральні комбайни та у відповідності з діючими національними стандартами може бути обґрунтовано встановлена через наступні кількісні показники:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ;
- наробіток на відмову  $\bar{T}_{\text{ср}}$ ;
- параметром потоку відмов  $\omega(t)$ .

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  і наробіток на відмову  $\bar{T}_{\text{ср}}$ , параметр потоку відмов  $\omega(t)$  є основними кількісними показниками безвідмовності.

В той же час безвідмовність зернозбирального комбайна визначається диференціальною функцією або функцією щільності ймовірності розподілу часу безвідмовної роботи  $f(t)$  та інтегральною або функцією ймовірності розподілу відмов  $F(t)$ .

Однак ні одна з них не є вичерпною характеристикою безвідмовності комбайна в цілому.

Тільки в сукупності вони можуть характеризувати з достатньою адекватністю безвідмовність як властивість технічної системи протягом часу її експлуатації. Отже, ймовірність безвідмовної роботи комбайнів визначається за виразом:

$$P(t) = \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow \infty \\ N_0 \rightarrow \infty}} \frac{N_0 - \sum_{i=1}^t n_i}{N_0}, \quad (1)$$

де  $N_0$  – кількість комбайнів поставлених в технологічних процес збирання врожаю зернових сільськогосподарських культур, од.;

$n_i$  – кількість комбайнів, які відмови в інтервалі часу  $\Delta t$ , од.;

$t$  – час, для якого визначається ймовірність безвідмовної роботи, годин;

$\Delta t$  – прийнята тривалість інтервалу часу, годин.

Ймовірність безвідмовної роботи в період між наробітками  $t_1$  і  $t_2$  можемо визначити за наступними виразами:

$$P(t_2 - t_1) = \exp[H(t_1) - H(t_2)], \quad (2)$$

$$H(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i(t) - \lim_{N \rightarrow \infty} m_{cp}(t), \quad (3)$$

де  $H(t)$  – математичне очікування кількості відмов за час  $t$ ;

$N$  – кількість комбайнів під спостереженням;

$m_i(t)$  – кількість відмов кожного із комбайнів до наробітку  $t$ .

Загальновідомо, що ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$P(t) = \exp(-\omega \tau) t, \quad (4)$$

де  $\tau = t_1 - t_2$ ,  $\omega(t)$  – параметр потоку відмов.

При проведенні експериментальних досліджень більш зручно користуватись характеристикою, яка є ймовірність відмов. Відмова і працездатний стан комбайна є подіями не сумісними і протилежними і мають загальновідому залежність:

$$P(t) = F(t) - 1, \quad (5)$$

$$F(t) = 1 - P(t), \quad (6)$$

де  $F(t)$  – ймовірність відмови.

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  охоплює більшість факторів, які істотно впливають на безвідмовність комбайна і тому достатньо широко представлена серед характеристик безвідмовності, але як і будь-яка інша характеристика, вона не достатньо повно характеризує безвідмовність комбайна.

Для відновлюваних технічних систем, якими в дисертаційній роботі є зернозбиральні комбайни, необхідно застосовувати показник безвідмовності – наробіток на відмову  $\bar{T}_{cp}$ . У відповідності до цього критерію ступінь безвідмовності зернозбирального комбайна оцінюється середнім часом роботи між відмовами за певний визначений проміжок часу експлуатації самого комбайна і визначається за загальновідомою формулою:

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (7)$$

де  $t_i$  – наробіток  $i$ -го комбайна між відмовами, годин;

$N$  – кількість комбайнів під спостереженням;

$m$  – кількість відмов комбайнів, які перебувають під спостереженням.

Важливим показником, який характеризує безвідмовність комбайна, є параметр потоку відмов  $\omega(t)$ , який застосовується для оцінки експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів. Коли встановлена функціональна залежність між параметром потоку відмов і часом роботи, то набуває можливість прогнозувати потребу зернозбиральних комбайнів в періодичності проведення технічного обслуговування.

Визначення параметра потоку відмов  $\omega(t)$  за експериментальними даними відбувається по загальновідомій формулі:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t+\Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (8)$$

де  $m_i(t + \Delta t)$  – кількість відмов  $i$ -го комбайна до наробітку  $(t + \Delta t)$ ;

$m_i(t)$  – кількість відмов  $i$ -го комбайна до наробітку  $t$ ;

$\Delta t$  – проміжок часу, годин.

Якщо потоки подій простіші пуасоновські, то параметр потоку відмов в умовах рядової експлуатації буде мати вид  $\omega(t) = \omega = const$ . Тоді наробіток на відмову  $T$  набуває загальновідомого визначення:

$$T = \frac{1}{\omega} = const. \quad (9)$$

За відомого параметру потоку відмов  $\omega(t)$  існує можливість визначити всі наступні кількісні характеристики безвідмовності комбайна.

При визначенні відновлення працездатності зернозбирального комбайна особливе значення надано пристосованості їх до відновлення, тобто запобігання, виявлення і усунення відмов [106]. Характеристика експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів без відомостей про відновлення працездатності не є обґрунтованою. Час, який затрачається на відновлення працездатності комбайна, так як і наробіток на відмову, є випадковими величинами, і залежить від характеру несправностей, кваліфікації комбайнера та технічного персоналу супроводу, інженерної організації процесу відновлення працездатності.

Відновлення працездатності зернозбирального комбайна оцінюється середній час простою самого комбайна. Якщо в процесі пошуку і усунення  $1, 2, 3, \dots, m$  відмов було затрачено  $t_{B1}, t_{B2}, t_{B3}, \dots, t_{Bi}$  то середній час відновлення працездатності буде визначатись за загальновідомою формулою:

$$T_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{Bi}, \quad (10)$$

де  $m$  – кількість виявлених і усунутих відмов комбайна;

$t_{Bi}$  – час виявлення і усунення  $i$ -ї відмови комбайна, годин.

Якщо розглядати послідовно всі процедури  $t_{Bi}$  в індексованому зростанні, то ця величина утворює потік відновлення, і в першому наближенні йому можна прийняти простішим пуасоновським потоком з параметром  $\mu(t_B) = \mu = const$ . Тоді набуває загальновідомого визначення:

$$\mu(t_B) = \frac{1}{T_B}. \quad (11)$$

Подібно до безвідмовності, відновлення працездатності комбайна описується характеристиками: щільність ймовірності розподілу часу відновлення  $f(t_B)$ , ймовірність відновлення  $F(t_B)$ , середня тривалість відновлення  $\bar{T}_B$ , параметром потоку відновлення  $\mu(t_B)$ . Ймовірність перебування зернозбирального комбайна в стані відновлення  $P(t_B)$  визначається за загальновідомим виразом:

$$P(t_B) = \exp(-\mu t_B), \quad (12)$$

або ймовірністю відновлення  $F(t_B)$

$$F(t_B) = 1 - P(t_B) \quad (13)$$

Комплексним показником безвідмовності зернозбирального комбайна може виступати коефіцієнт готовності, який визначається відношенням часу працездатності комбайна до суми часів працездатності і відновлення працездатності після відмови при порядку обслуговування, яке передбачає негайний початок відновлення працездатності комбайна і має загальновідомий вид:

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}, \quad (14)$$

де  $T$  – наробіток на відмову, годин;

$T_B$  – час відновлення працездатності, годин.

Підставляючи в рівняння (14) значення з рівнянь (9) і (10) отримаємо:

$$K_r = \frac{\frac{1}{\omega(t)}}{\frac{1}{\omega(t)} + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{Bi}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{Bi} \cdot \omega(t)}, \quad (15)$$

Тобто коефіцієнт готовності зернозбирального комбайна залежить від кількості відмов, частоти відмов (параметра потоку відмов) з технологічних і технічних причин, а також від часу, який затрачено на відновлення працездатності комбайна.

Для зернозбиральних комбайнів характер функціонування яких має режим очікування, необхідно експлуатаційно-технологічну безвідмовність зернозбиральних комбайнів оцінювати через коефіцієнт оперативної готовності:

$$K_{ог} = k_r P(t_p), \quad (16)$$

де  $k_r$  – коефіцієнт готовності;

$P(t_p)$  – ймовірність безвідмовної роботи комбайна протягом часу  $t_p$ .

В зв'язку з тим, що комбайн є складна динамічна система, для якої в процесі експлуатації характерна значна кількість відмов ОСТ 70.2.16-73 водиться коефіцієнт надійності технологічного процесу:

$$K_{HD} = \frac{T_{TB}}{T_{TB} + T_{BT}}, \quad (17)$$

де  $T_{TB}$  – час роботи комбайна між технологічними відмовами, годин;  
 $T_{BT}$  – час відновлення працездатності, яке обумовлене технологічними відмовами, годин.

Також вводимо коефіцієнт технологічного обслуговування:

$$K_{TO} = \frac{T_{TB}}{T_{TB} + T_{TO}}, \quad (18)$$

де  $T_{TO}$  – час простоїв комбайна з причини технологічного обслуговування (технологічні регулювання, що викликані змінами умов роботи, роз регулювань робочих органів), як за кількісними так і якісними показниками безвідмовності, годин.

Кількісні показники експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів зведено до табл. 1.

### **1. Кількісні ймовірнісні показники експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів.**

| Назва і умовні позначення показника                                                         | Формули визначення                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| I. Показники безвідмовності                                                                 |                                                                                             |
| 1. Ймовірність безвідмовної роботи (функція надійності) $P(t)$                              | $P(t) = \exp(-\omega t)$                                                                    |
| 2. Середній час безвідмовної роботи $\bar{T}_{cp}$                                          | $\bar{T}_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_i$                                               |
| 3. Параметр потоку відмов $\omega(t)$                                                       | $\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N \cdot \Delta t}$ |
| II. Показники відновлення працездатності                                                    |                                                                                             |
| 4. Ймовірність знаходження в стані відновлення працездатності (функція надійності) $P(t_B)$ | $P(t_B) = \exp(-\mu t_B)$                                                                   |
| 5. Середній час відновлення працездатності $T_B$                                            | $T_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{Bi}$                                                     |
| 6. Параметр потоку відновлення $\mu(t_B)$                                                   | $\mu(t_B) = \frac{1}{T_B}$                                                                  |
| III. Комплексні показники                                                                   |                                                                                             |
| 7. Коефіцієнт готовності $P(t_B)$                                                           | $K_r = \frac{1}{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{Bi} \cdot \omega(t)}$                       |
| 8. Коефіцієнт надійності технологічного процесу                                             | $K_{HD} = \frac{T_{TB}}{T_{TB} + T_{BT}}$                                                   |
| 9. Коефіцієнт технологічного обслуговування                                                 | $K_{TO} = \frac{T_{TB}}{T_{TB} + T_{TO}}$                                                   |

**Висновок.** Запропонована методологія визначення кількісних показників експлуатаційно-технологічної безвідмовності зернозбиральних комбайнів дозволить проводити експериментальні дослідження з об'єктивним ступенем довірчої ймовірності.

### **Список літератури**

1. Думенко К.М. Статистичний аналіз динаміки змін наробітку комбайнів від строків їх експлуатації / К.М. Думенко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 2011. – Вип. 4, т. 2. – С. 192–198.
2. Іванишин В. Випробування – необхідний етап в створенні конкурентоспроможної сільськогосподарської техніки / В. Іванишин // Техніка АПК. – 2010. – №5. – С. 10–11.
3. Новицький А.В. Аналіз вітчизняних засобів для приготування і роздавання кормів / А.В. Новицький, С.С. Карабиньох, В.М. Чміль, О.М. Коморний // Матеріали VIII Міжнародної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективна техніка і технології 2012». – Миколаїв, 2012. – С. 96–101.
4. Новицький А.В. Резерви методичного забезпечення надійності людини-оператора системи «людина–машина–середовище» / А.В. Новицький, З.В. Ружило, В.В. Стоцький // Матеріали XIV Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки». – Глеваха, 2013. – С. 402–410.
5. Підгурський М.І. Порівняльний аналіз експлуатаційної надійності вітчизняної та зарубіжної складної сільськогосподарської техніки / Підгурський М.І., Барановський В.М., Ріпецький Є.Й. // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Технічні науки. – Х., 2011. – Вип. 114. – С. 27–33.
6. Бистрий О.М. Достовірність контролю параметрів технічного стану сільськогосподарських машин / О.М. Бистрий, І.Л. Роговський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К.: НУБіП України, 2011. – Вип. 166, ч. 1. – С. 93–99.
7. Александр Быстрый. Аналитические модели эксплуатационно-технологической безотказности зерноуборочных комбайнов / Александр Быстрый, Иван Роговский // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – 2014. – Т. 16, №3. – Р. 332–338.

*В статье предложен методологический подход к определению количественных показателей для оценки эксплуатационно-технологической безотказности зерноуборочных комбайнов.*

**Комбайн, безотказность, показатель.**

*In paper the methodological approach to determination of quantitative indexes to assess the operational and technological reliability of grainharvesting combines.*

**Combine, reliability, index.**