of creation and test system realization. Approaches in working out of optimum methods and diagnosing processes, and also constructions of optimum algorithms on searching and elimination of refusals are considered. Technical and economic indexes which probably to receive in case of realization of the test system of hydraulic drives are reduced.

Hydraulic actuator, diagnostic, means, machinery.

УДК 631.35.004:62-192

ДИНАМІКА ЗМІНИ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ПІДСИСТЕМ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ В НЕСТАБІЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ОБСЛУГОВУВАННЯ

А.І. Бойко, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України
К.М. Думенко, кандидат технічних наук
Миколаївський державний аграрний університет

Представлені результати дослідження готовності зернозбиральної техніки в умовах поступового зниження рівня її надійності і розвитку бази технічного обслуговування. Отримані відповідні стохастичні моделі опису і переходу підсистем з визначенням функцій готовності і відновлення.

Динаміка, надійність, комбайн, обслуговування.

Постановка проблеми. Процес поступового зниження рівня надійності підсистем зернозбиральних комбайнів є природнім явищем для значного періоду їх експлуатації. Особливо цей період розтягується в умовах налагодження виробництва своєї вітчизняної техніки або організації поставок закордонної. Неповна забезпеченість господарств машинами викликає необхідність продовження строку їх експлуатації вже за межами встановленого ресурсу. Але навіть якщо і не виникають вказані проблеми своєчасного оновлення парку зернозбиральних машин, причини “старіння” техніки є невід’ємними етапами їх життєвого циклу навіть до зняття з експлуатації і списання.

Нажаль недостатній рівень технологій виробництва і якості застосовуємих матеріалів, знижують надійність машин, сприяють розвитку зношувальних, втомлюючих, корозійних та інших процесів,

© А.І. Бойко, К.М. Думенко, 2010

що розширюють період збільшення інтенсивності відмов. Фактично, існуюча зернозбиральна техніка в більшості працює при поступовому зниженню рівня надійності основних підсистем, що забезпечують технологічний процес збору врожаю.

Природній процес “старіння” машин по можливості стримується сферою технічного обслуговування і ремонту техніки. В останній час в зв’язку з постійним збільшенням кількості імпортованих машин можна спостерігати розвиток бази технічного обслуговування (сервісних центрів) нового покоління. Фірмове обслуговування як правило привносить нові елементи, технологій і обладнання для обслуговування машин. Насамперед це діагностичне обладнання з передовими технологіями комп’ютерної обробки результатів вимірювань. Крім того, оновлення сфери технічного обслуговування зернових комбайнів пов’язане з більш широким впровадженням в конструкції машин гідросистем і приводів, елементів своєчасного контролю за станом підсистем, попередження можливих перевантажень, забивань і аварійних пошкоджень.

Так чи інакше введення сучасних центрів сервісного технічного обслуговування зернозбиральної техніки можна розглядати як оновлення бази підтримки машин у роботоздатному стані.

Таким чином, з позицій системного аналізу надійності зернозбиральних комбайнів, їх готовності в даному досліджені, розглядається ситуації, коли машини поступово знижують свій технічний рівень, а ремонтна база, що пов’язана з їх обслуговуванням, навпаки, нарощує свої потенційні можливості. В результаті як одна, так і друга підсистеми знаходяться в умовах змінних інтенсивностей протікання подій, що формують свої особливі потоки.

Ці потоки внаслідок змінних інтенсивностей не можуть розглядатися як найпростіші а значить для математичного опису потребують спеціальних заходів. “Старіюча” підсистема техніки, що експлуатується формує Ерлангівський розподіл часу безвідмовної роботи. Навпаки, “молодіюча” підсистема, що пов’язана з технічною базою обслуговування машин, в своєму розвитку формує потік з гіперекспоненціальним розподілом часу відновлень. [1]

Для математичного опису таких зустрічнонаправлених потоків і встановлення показників надійності підсистем комбайнів побудовано відповідний граф станів і переходів (рис. 1).

У графі штучно введено два фіктивних стани. Вони необхідні для зведення потоків відмов зі змінною інтенсивністю λ і потоків відновлень зі змінною інтенсивністю μ до найпростіших Марківських, що допускають застосування відповідного математичного апарату [1,2].

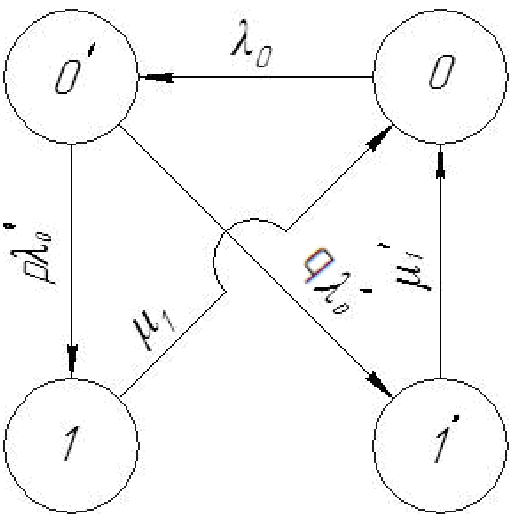

Рис. 1. Граф станів і переходів для “старіючих” технічних систем і “молодіючої” бази їх технічних обслуговувань.

Єдиним роботоздатним станом системи, що аналізується, є стан “0”. В зв’язку з поступовою втратою роботоздатності вузлів і деталей комбайнів при “старінні” система переходить з інтенсивністю λ_0 у фіктивний роботоздатний стан “0´”. В подальшому у зв’язку з переходом до відновлень процес для “молодіючої” підсистеми обслуговувань може розвиватися паралельними шляхами, але з відповідними ймовірностями.

Так, із стану “0´” з ймовірністю *p* при інтенсивності $\lambda_0^{'}$ можливий перехід у нероботоздатний стан “1”. Також паралельно з ймовірністю *q* при інтенсивності $\lambda_0^{'}$ можливий перехід в фіктивний нероботоздатний стан “$1^{'}$”. Причому ймовірність *p* і *q* доповнюють одна одну до повної групи подій. Тобто

$$p + q = 1. \quad (1)$$

Таким чином переходи із стану “0” в суміжні стани “1” і “$1^{'}$” відбуваються пропорційно вказаним ймовірностям *p* і *q.*

З положень відновлень “1” і “$1^{'}$” система при інтенсивностях μ_1 і $\mu_1^{'}$ повертається знову в роботоздатний стан “0”.

В цілому граф (рис. 1) описує всі можливі стани і переходи системи, що відповідають реальним можливим положенням зернозбиральної техніки. Відмінністю графа є те, що він відображує послідовність подій для “старіючих” підсистем машин і паралельність подій для “молодіючої” підсистеми сфери технічного обслуговування.

Побудований граф станів і переходів допускає математичну формалізацію подій, що відбуваються з системами. Це можливо за допомогою диференційних рівнянь динамічного баланса ймовірностей (рівнянь Колмагорова).

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}P_0(t) = \mu_1 \cdot P_1(t) + \mu_1^{'}P_1^{'}(t) - \lambda_0 \cdot P_0(t); \\ \frac{d}{dt}P_0^{'}(t) = \lambda_0 \cdot P_0(t) - p \cdot \lambda_0^{'}P_0^{'}(t) - q\lambda_0^{'} \cdot P_0^{'}(t); \\ \frac{d}{dt}P_1(t) = p\lambda_0^{'} \cdot P_0^{'}(t) - \mu_1^{'}P_1^{'}(t); \\ \frac{d}{dt}P_1^{1}(t) = q\lambda_0^{'} \cdot P_0^{'}(t) - \mu_1^{'}P_1^{'}(t). \end{cases} \quad (2)$$

Нормуючою умовою для розглядуємої системи є рівність:

$P_0(t) + P_0^{'}(t) + P_1(t) + P_1^{'}(t) = 1$.

Природньо допустити, що на початку експлуатації технічна підсистема справна і підготовлена до роботи. Таким чином при $t = 0$ маємо:

$P_0(t) = 1;\ P_0^{'}(t) = 0;\ P_0(t) = 0;\ P_1^{'}(t) = 0.$

Переходячи від оригіналу до зображень згідно перетворень Лапласа систему диференційних рівнянь (2) можна представити у вигляді системи алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} S\varphi_0(S) = -\lambda_0\varphi_0(S) + \mu_1\varphi_1(S) + \mu_1^{'}\varphi_1^{'}(S) + 1; \\ S\varphi_0^{'}(S) = \lambda_0\varphi_0(S) - p\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S) - q\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S); \\ S\varphi_1(S) = p\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S) - \mu_1\varphi_1(S); \\ S\varphi_1^{'}(S) = q\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S) - \mu_1^{'}\varphi_1^{'}(S). \end{cases} \quad (3)$$

Нормована умова в перетвореннях Лапласа записується слідуючим чином:

$S\varphi_0(S) + S\varphi_0^{'}(S) + S\varphi_1(S) + S\varphi_1^{'}(S) = 1$.

В даному випадку нормовану умову вигідно ввести в систему рівнянь (3) замість найбільшого другого рівняння. Тоді можна записати:

$$\begin{cases} S\varphi_0(S) = -\lambda_0\varphi_0(S) + \mu_1\varphi_1(S) + \mu_1^{'}\varphi_1^{'}(S) + 1; \\ S\varphi_0(S) + S\varphi_0^{'}(S) + S\varphi_1(S) + S\varphi_1^{'}(S) = 1; \\ S\varphi_1(S) = p\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S) - \mu_1\varphi_1(S); \\ S\varphi_1^{'}(S) = q\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S) - \mu_1^{'}\varphi_1^{'}(S). \end{cases}$$

Згрупуємо члени рівнянь у відповідності з визначенням невідомих $\varphi_i(S)$:

$$\begin{cases}(S+\lambda_0)\varphi_0(S)-\mu_1\varphi_1(S)-\mu_1^{'}\varphi_1^{'}(S)=1;\\ S\cdot\varphi_0(S)+S\varphi_0^{'}(S)+S\cdot\varphi_1(S)+S\cdot\varphi_1^{'}(S)=1;\\ (\mu_1+S)\varphi_1(S)-p\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S)=0;\\ \left(S+\mu_1^{'}\right)\varphi_1^{'}(S)-q\lambda_0^{'}\varphi_0^{'}(S)=0.\end{cases} \qquad (4)$$

Випишемо коефіцієнти при невідомих у вигляді матриці, що представляє собою детермінант отриманої системи рівнянь (4):

$$\begin{vmatrix}(S+\lambda_0) & 0 & -\mu_1 & -\mu_1^{'}\\ S & S & S & S\\ 0 & -p\lambda_0^{'} & (\mu_1+S) & 0\\ 0 & -q\lambda_0^{'} & 0 & \left(S+\mu_1^{'}\right)\end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix}1\\1\\0\\0\end{vmatrix} \qquad (5)$$

Як видно детермінант представляє собою квадратну матрицю четвертого порядку.

Вирішення матриці можливо згідно застосування правила Крамера. Тоді,

$$\varphi_0(S)=\frac{\Delta_0}{\Delta};\quad \varphi_0^{'}(S)=\frac{\Delta_0^{'}}{\Delta};\quad \varphi_1(S)=\frac{\Delta_1}{\Delta};\quad \varphi_1^{'}(S)=\frac{\Delta_1^{'}}{\Delta}, \qquad (6)$$

де Δ – рішення визначника (5); Δ_0 – рішення визначника для невідомої $\varphi_0(S)$; $\Delta_0^{'}$ – рішення визначника для невідомої $\varphi_0^{'}(S)$; Δ_1 – рішення визначника для невідомої $\varphi_1(S)$; $\Delta_1^{'}$ – рішення визначника для невідомої $\varphi_1^{'}(S)$.

Знайдемо знаменник Δ, для чого необхідно понизити ранг матриці (5), розкладаючи її по елементах першого рядка.

$$\Delta=(S+\lambda_0)\begin{vmatrix}S & S & S\\ -p\lambda_0^{'} & (\mu_1+S) & 0\\ -q\lambda_0^{'} & 0 & \left(S+\mu_1^{'}\right)\end{vmatrix}-\mu_1\begin{vmatrix}S & S & S\\ 0 & -p\lambda_0^{'} & 0\\ 0 & -q\lambda_0^{'} & \left(S+\mu_1^{'}\right)\end{vmatrix}+\mu_1^{'}\begin{vmatrix}S & S & S\\ 0 & -p\lambda_0^{'} & \left(S+\mu_1^{'}\right)\\ 0 & -q\lambda_0^{'} & 0\end{vmatrix} \qquad (7)$$

В результаті отримані три квадратні матриці $\Delta^{(1)}$, $\Delta^{(3)}$, $\Delta^{(4)}$, третього порядку($\Delta^{(2)}$ = 0), які можна вирішити використовуючи правило Саррюса.

Для першої з них маємо:

$$\Delta^{(1)}=\begin{vmatrix} S & S & S \\ -p\lambda_0'(\mu_1+S) & 0 & \\ -q\lambda_0' & 0 & \left(S+\mu_1'\right) \end{vmatrix}=S(\mu_1+S)\left(S+\mu_1'\right)-\left[-q\lambda_0'(\mu_1+S)S\right]-\left[\left(S+\mu_1'\right)\left(-p\lambda_0'\right)S\right]=$$

$$=S(S+\mu_1)\left(S+\mu_1'\right)+q\lambda_0'(S+\mu_1)S+\left(S+\mu_1'\right)p\lambda_0'S=$$

$$=S\left[(S+\mu_1)\left(S+\mu_1'\right)+q\lambda_0'(S+\mu_1)+p\lambda_0'\left(S+\mu_1'\right)\right]$$

Для третьої матриці запишемо

$$\Delta^{(3)}=\begin{vmatrix} S & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & \left(S+\mu_1'\right) \end{vmatrix}=S\left(-p\lambda_0'\right)\left(S+\mu_1'\right)=-p\lambda_0'S\left(S+\mu_1'\right).$$

Відповідно для четвертої матриці маємо

$$\Delta^{(4)}=\begin{vmatrix} S & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & \left(S+\mu_1'\right) \\ 0 & -q\lambda_0' & 0 \end{vmatrix}=-\left[-q\lambda_0'\left(\mu_1'+S\right)S\right]=q\lambda_0'\left(\mu_1+S\right)S.$$

Повертаючись до суми (7) об'єднаємо всі складові, що визначають знаменник Δ

$$\Delta=(S+\lambda_0)\Delta^{(1)}-\mu_1\Delta^{(3)}+\mu_1'\Delta^{(4)}$$

Підставляючи значення матриць $\Delta^{(i)}$ запишемо:

$$\Delta=(S+\lambda_0)\cdot S(S+\mu_1)\left(S+\mu_1'\right)+(S+\lambda_0)\cdot S\cdot q\lambda_0'(S+\mu_1)+$$
$$+(S+\lambda_0)\cdot S\cdot p\lambda_0'\left(S+\mu_1'\right)+\mu_1 p\lambda_0'S\left(S+\mu_1'\right)+\mu_1'q\lambda_0'(\mu_1+S)\cdot S \tag{8}$$

Проведемо перетворення і спрощення по складових отриманої суми:

- перша складова

$$S(S+\lambda_0)\cdot(S+\mu_1)\cdot\left(S+\mu_1'\right)=S(S+\lambda_0)\left(S^2+S\mu_1'+\mu_1 S+\mu_1\cdot\mu_1'\right)=$$
$$=S\left(S^3+S^2\mu_1'+S^2\mu_1+S\mu_1\mu_1'+\lambda_0 S^2+\lambda_0 S\mu_1'+\lambda_0\mu_1 S+\lambda_0\mu_1\mu_1'\right)=$$
$$=S\left[S^3+S^2\left(\mu_1'+\mu_1+\lambda_0\right)+S\left(\mu_1\mu_1'+\lambda_0\mu_1'+\lambda_0\mu_1\right)+\lambda_0\mu_1\mu_1'\right];$$

- друга складова

$$S\cdot q\lambda_0'(S+\lambda_0)(S+\mu_1)=S\cdot q\lambda_0'\left(S^2+S\mu_1+\lambda_0 S+\lambda_0\mu_1\right)=$$
$$=S\cdot q\lambda_0'\left[S^2+S(\mu_1+\lambda_0)+\lambda_0\mu_1\right];$$

- третя складова:

$$S\cdot p\lambda_0'(S+\lambda_0)(S+\mu_1')=S\cdot p\lambda_0'(S^2+S\mu_1'+\lambda_0 S+\lambda_0\mu_1')=$$
$$=S\cdot p\lambda_1'\left[S^2+S(\mu_1'+\lambda_0)+\lambda_0\mu_1'\right];$$

- четверта складова:

$$\mu_1 p\lambda_0' S(S+\mu_1');$$

- п'ята складова:

$$\mu_1' q\lambda_0' S(\mu_1+S).$$

Підставляючи складові згідно формули (8) і виконуючи відповідні перетворення маємо

$$\Delta=S[S^3+S^2(\mu_1'+\mu_1+\lambda_0)+S(\mu_1\mu_1'+\lambda_0\mu_1'+\lambda_0\mu_1)+\lambda_0\mu_1\mu_1'+$$
$$+q\lambda_0'S^2+q\lambda_0'(\mu_1+\lambda_0)S+q\lambda_0'\lambda_0\mu_1+p\lambda_0'S^2+p\lambda_0'(\mu_1'+\lambda_0)S+p\lambda_0'\lambda_0\mu_1'+$$
$$+\mu_1 p\lambda_0'S+\mu_1 p\lambda_0'\mu_1'+\mu_1'q\lambda_0'\mu_1+\mu_1'q\lambda_0'S]=$$
$$=S[S^3+S^2(\mu_1'+\mu_1+\lambda_0+q\lambda_0'+p\lambda_0')+S(\mu_1\mu_1'+\lambda_0\mu_1'+\lambda_0\mu_1+q\lambda_0'\mu_1+$$
$$+q\lambda_0'\lambda_0+p\lambda_0'\mu_1'+p\lambda_0'\lambda_0+\mu_1 p\lambda_0'+\mu_1'q\lambda_0')+$$
$$+\lambda_0\mu_1\mu_1'+q\lambda_0'\lambda_0\mu_1+p\lambda_0'\lambda_0\mu_1'+\mu_1 p\lambda_0'\mu_1'+\mu_1'q\lambda_0'\mu_1].$$

Для спрощення і аналізу отриманого виразу введемо заміни

$$\mu_1'+\mu_1+\lambda_0+q\lambda_0'+p\lambda_0'=a;$$
$$\mu_1\mu_1'+\lambda_0\mu_1'+\lambda_0\mu_1+q\lambda_0'\mu_1+q\lambda_0'\lambda_0+p\lambda_0'\mu_1'+p\lambda_0'\lambda_0+\mu_1 p\lambda_0'+\mu_1'q\lambda_0'=в;$$
$$\lambda_0\mu_1\mu_1'+q\lambda_0'\lambda_0\mu_1+p\lambda_0'\lambda_0\mu_1'+\mu_1 p\lambda_0'\mu_1'+\mu_1'q\lambda_0'\mu_1=c.$$

Враховуючи, що ймовірності *p* і *q* складають повну групу подій, внесемо відповідні перетворення у введені заміни. Крім того, без втрати необхідної точності для практичних цілей з урахуванням що інтенсивності $\lambda_0, \mu_1, \lambda_0', \mu_1'$ є величинами $<<1$, можна прийняти, що $c\sim 0$. Після таких спрощень і допущень рівняння (8) представляється у вигляді

$$\Delta=S(S^3+S^2\cdot a+Sв);$$

або

$$\Delta=S^2(S^2+Sa+в). \qquad (9)$$

Для розкладання на множники правої частини рівності представимо її рівнянням четвертої степені

$$S^2(S^2+Sa+в)=0. \qquad (10)$$

В даному біквадратному рівнянні

$S_{1.2} = 0$ і $S^2 + aS + в = 0$.

Дискримінант квадратного рівняння після підстановки значень *а* і *в* представляється виразом

$$D = в - \frac{a^2}{4} = \mu_1 \cdot \mu_1' + \lambda_0\mu_1' + \lambda_0\mu_1 + q\lambda_0'\mu_1 + q\lambda_0'\lambda_0 + p\lambda_0'\mu_1' + p\lambda_0'\lambda_0 +$$

$$+ \mu_1 p\lambda_0' + \mu_1 q\lambda_0' - \frac{\left(\mu_1' + \mu_1 + \lambda_0 + q\lambda_0' + p\lambda_0'\right)^2}{4}$$

В більшості можливих реальних значень інтенсивностей переходів підсистем із станів в стан дискримінант приймає значення, що менші нуля, тобто при рішенні квадратного рівняння слід очікувати два дійсних корені, які представляються у вигляді

$$S_{3.4} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - в}$$

Підставляючи значення *а* і *в* з урахуванням (1) маємо

$$S_{3.4} = -\frac{\mu_1' + \mu_1 + \lambda_0 + \lambda_0'}{2} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{\left(\mu_1' + \mu_1 + \lambda_0 + \lambda_0'\right)^2}{4} - \left(\mu_1\mu_1' + \lambda_0\mu_1' + \lambda_0\mu_1 + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\lambda_0 + \lambda_0'\mu_1'\right)},$$

або

$$S_{3.4} = -\frac{\mu_1' + \mu_1 + \lambda_0 + \lambda_0'}{2} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{\left(\mu_1' + \mu_1 + \lambda_0 + \lambda_0'\right)^2}{4} - \left[\mu_1\mu_1' + \lambda_0\left(\mu_1' + \mu_1\right) + \lambda_0'\left(\mu_1 + \lambda_0 + \mu_1'\right)\right]} \quad (11)$$

Після отримання коренів біквадратного рівняння в розкладені знаменника ошукуєму функцію $\varphi_0(S)$ можна представити у вигляді суми

$$\varphi_0(S) = \frac{A}{S - S_1} + \frac{B}{S - S_2} + \frac{C}{S - S_3} + \frac{D}{S - S_4}$$

Враховуючи, що $S_1 = S_2 = 0$ маємо

$$\varphi_0(S) = \frac{A}{S} + \frac{B}{S} + \frac{C}{S - S_3} + \frac{D}{S - S_4} \quad (12)$$

По аналогії з попередній (розділ 3.3) після перетворень запишемо

$$\varphi_0(S)=\frac{S^3(A+B+C+D)-S^2[(A+B)S_4+(A+B)S_3+CS_4+DS_3]+S(A+B)S_3S_4}{S^2(S-S_3)(S-S_4)} \quad (13)$$

Повертаючись до визначення функції $\varphi_0(S)$ згідно (6) необхідно вирішити матрицю Δ_0. Для цього замінемо стовбець матриці Δ, який містить $\varphi_0(S)$ на стовбець вільних членів

$$\Delta_0=\begin{vmatrix} 1 & 0 & -\mu_1 & -\mu_1' \\ 1 & S & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & (\mu_1+S) & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & 0 & (S+\mu_1') \end{vmatrix}$$

В результаті отримана квадратна матриця четвертого рангу, яка потребує понижень. В розкладені по елементах першої строки маємо:

$$\Delta_0=1\begin{vmatrix} S & S & S \\ -p\lambda_0' & (\mu_1+S) & 0 \\ -q\lambda_0' & 0 & (S+\mu_1') \end{vmatrix}-\mu_1\begin{vmatrix} 1 & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & (S+\mu_1') \end{vmatrix}+\mu_1'\begin{vmatrix} 1 & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & (\mu_1+S) \\ 0 & -q\lambda_0' & 0 \end{vmatrix}$$

Вирішемо матриці третього рангу, які входять складовими в отриману суму

$$\Delta_0^{(1)}=\begin{vmatrix} S & S & S \\ -p\lambda_0' & (\mu_1+S) & 0 \\ -q\lambda_0' & 0 & (S+\mu_1') \end{vmatrix}=S(\mu_1+S)(S+\mu_1')-$$

$$-\left(-q\lambda_0'\right)(\mu_1+S)S-\left(S+\mu_1'\right)\left(-p\lambda_0'\right)S=$$

$$=S(\mu_1+S)(S+\mu_1')+q\lambda_0'(\mu_1+S)S+(S+\mu_1')\cdot p\lambda_0'S;$$

$$\Delta_0^{(2)}=0;$$

$$\Delta_0^{(3)}=\begin{vmatrix} 1 & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & (S+\mu_1') \end{vmatrix}=1\left(-p\lambda_0'\right)(S+\mu_1')=-p\lambda_0'(S+\mu_1');$$

$$\Delta_0^{(4)}=\begin{vmatrix} 1 & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & (\mu_1+S) \\ 0 & -q\lambda_0' & 0 \end{vmatrix}=-\left(-q\lambda_0'\right)(\mu_1+S)\cdot 1=q\lambda_0'(\mu_1+S).$$

Проведемо сумування враховуючи, що

$$\Delta_0=\Delta_0^{(1)}+\Delta_0^{(2)}-\mu_1\Delta_0^{(3)}+\mu_1'\Delta_0^{(4)}.$$

Підставляючи складові маємо

$$\Delta_0 = S(\mu_1 + S)\left(S + \mu_1^{'}\right) + q\lambda_0^{'}(\mu_1 + S)S + \left(S + \mu_1^{'}\right)\cdot p\lambda_0^{'}S + \mu_1[p\lambda_0^{'}\left(S + \mu_1^{'}\right)] +$$
$$+ \mu_1^{'}q\lambda_0^{'}(\mu_1 + S) = S\left[\mu_1 \cdot S + \mu_1\mu_1^{'} + S^2 + S\mu_1^{'}\right] + q\lambda_0^{'}\mu_1 \cdot S + q\lambda_0^{'}S^2 + p\lambda_0^{'}S^2 +$$
$$+ p\lambda_0^{'}\mu_1^{'}S + \mu_1 p\lambda_0^{'} \cdot S + \mu_1 p\lambda_0^{'}\mu_1^{'} + \mu_1^{'}q\lambda_0^{'}\mu_1 + \mu_1^{'}q\lambda_0^{'}S = \mu_1 S^2 + \mu_1\mu_1^{'}S + S^3 +$$
$$+ \mu_1^{'}S^2 + q\lambda_0^{'}\mu_1 \cdot S + q\lambda_0^{'}S^2 + p\lambda_0^{'}S^2 + p\lambda_0^{'}\mu_1^{'}S + \mu_1 p\lambda_0^{'}S + \mu_1 p\lambda_0^{'}\mu_1^{'} + \mu_1^{'}q\lambda_0^{'}\mu_1 + \mu_1^{'}q\lambda_0^{'}S =$$
$$= S^3 + S^2\left(\mu_1 + \mu_1^{'} + q\lambda_0^{'} + p\lambda_0^{'}\right) + S\left(\mu_1\mu_1^{'} + q\lambda_0^{'}\mu_1 + p\lambda_0^{'}\mu_1^{'} + \mu_1 p\lambda_0^{'} + \mu_1^{'}q\lambda_0^{'}\right) +$$
$$+ \mu_1 p\lambda_0^{'}\mu_1^{'} + \mu_1^{'}q\lambda_0^{'}\mu_1 = S^3 + S^2\left(\mu_1 + \mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\right) + S\left(\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}\right) + \mu_1\lambda_0^{'}\mu_1^{'}$$

Підставимо Δ_0 в рівняння (6)

$$\varphi_0(S) = \frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{S^3 + S^2\left(\mu_1 + \mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\right) + S\left(\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}\right) + \mu_1\lambda_0^{'}\mu_1^{'}}{S^2(S - S_3)(S - S_4)}$$

Порівнюючи отримане значення функції $\varphi_0(S)$ з попереднім (13) можна стверджувати, що при рівності знаменників чисельники виразів також рівні. Звідсіля запишемо

$$S^3(A+B+C+D) - S^2\left[(A+B)S_4 + (A+B)S_3 + CS_4 + DS_3\right] + S(A+B)S_3S_4 =$$
$$= S^3 + S^2\left(\mu_1 + \mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\right) + S\left(\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}\right) + \mu_1\lambda_0^{'}\mu_1^{'}$$

Останнім членом рівності як величиною третього порядку малості можна знехтувати. Тоді виходячи з умови, якщо ліва сторона рівняння дорівнює правій, то рівні і коефіцієнти при невідомих однакових степенях. На підставі цього запишемо додаткову систему рівнянь для визначення сталих величин *A, B, C* і *D.*

$$\begin{cases} A + B + C + D = 1; \\ (A + B)S_4 + (A + B)S_3 + CS_4 + DS_3 = \mu_1 + \mu_1^{'} + \lambda_0^{'}; \\ (A + B)S_3S_4 = \mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}. \end{cases} \quad (14)$$

Введемо додаткову заміну $A+B=2E.$

Звідкіля $E = \dfrac{A+B}{2}$.

Тоді система (14) представляється у вигляді

$$\begin{cases} 2E + C + D = 1; \\ 2E(S_4 + S_3) + CS_4 + DS_3 = \mu_1 + \mu_1^{'} + \lambda_0^{'}; \\ 2ES_3S_4 = \mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}. \end{cases}$$

Маючи три рівняння при трьох невідомих вирішимо їх методом підстановки. З третього рівняння системи запишемо

$$2E = \frac{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}}{S_3S_4}.$$

Підставляючи отриманий результат в перше рівняння маємо

$$\frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4} + C + D = 1.$$

Звідкіля

$$C = 1 - D - \frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4} \qquad (15)$$

Підставляючи *2E* і *C* в друге рівняння системи і вирішуючи його відносно *D* запишемо

$$\frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4}(S_4 + S_3) + 1 - D - \frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4} + DS_3 = \mu_1 + \mu_1' + \lambda_0',$$

або

$$D(S_3 - 1) + \frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4}(S_4 + S_3 - 1) + 1 = \mu_1 + \mu_1' + \lambda_0';$$

$$D(S_3 - 1) = \left(\mu_1 + \mu_1' + \lambda_0'\right) - \frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4}(S_4 + S_3 - 1) - 1.$$

В кінцевому вигляді маємо

$$D = \frac{1}{S_3 - 1}\left[\mu_1 + \mu_1' + \lambda_0' - 1 - \frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4}(S_4 + S_3 - 1)\right].$$

Для визначення сталої *C* повернемося до рівняння (15), куди підставимо величину сталої *D*.

$$C = 1 - \frac{1}{S_3 - 1}\left[\mu_1 + \mu_1' + \lambda_0 - 1 - \frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4}(S_4 + S_3 - 1)\right] - \frac{\mu_1\mu_1' + \lambda_0'\mu_1 + \lambda_0'\mu_1'}{S_3S_4}$$

Таким чином отримані значення усіх сталих величин, виражені через величини інтенсивностей подій і корені рівняння $S_3\ S_4$, які також визначаються через інтенсивності подій. Тобто всі величини, що входять в представлені формули однозначно визначаються через інтенсивності переходів системи із одних станів в інші.

Наявність значень коренів біквадратного рівняння (10) і сталих величин *A, B, C* і *,D* дає можливість виконання зворотнього переходу Лапласа від зображень до оригіналу.

Зважаючи на те, що готовність системи до роботи кількісно може бути оцінена функцією готовності $Kг(t)$, яка залежить від часу і є ймовірністю знаходження системи в роботоздатному стані $P_0(t)$, то на підставі попередньо отриманих даних можна записати

$$Kг(t) = P_0(t) = A\exp(-S_1t) + B\exp(-S_2t) + C\exp(-S_3t) + D\exp(-S_4t).$$

Враховуючи,що $S_1 = S_2 = 0$, а $A + B = 2E.$ і підставляючи значення сталих величин маємо

$$Kг(t) = \frac{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0\mu_1 + \lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4} +$$
$$+ \left\{1 - \frac{1}{S_3 - 1}\left[\mu_1 + \mu_1^{'} + \lambda_0^{'} - 1 - \frac{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}}{S_3S_4}\left(S_4 + S_3 - 1\right)\right] - \right.$$
$$\left. - \frac{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}}{S_3S_4}\right\}\exp\left(- S_3t\right) + \qquad (16)$$
$$+ \frac{1}{S_3 - 1}\left[\mu_1 + \mu_1^{'} + \lambda_0^{'} - 1 - \frac{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}}{S_3S_4}\left(S_4 + S_3 - 1\right)\right]\exp\left(- S_4t\right)$$

Аналіз функції готовності показує, що вона має три складові. Перша з них не вміщує змінну часу. Таким чином перша складова відображує стаціонарність характеру функції готовності, а інші дві несуть навантаження перехідного процесу її зміни.

Якщо прийняти, що фактор часу прямує до нескінченності $(t \to \infty)$, то функція готовності набуває сталого значення вираженого першою складовою.

$$Kг(t \to \infty) = \frac{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}}{S_3S_4}.$$

Підставляючи значення коренів S_3 і S_4 з формулу (11), виконуючи відповідні перетворення і скорочення в кінцевому вигляді маємо:

$$Kг(t \to \infty) = \frac{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0^{'}\mu_1 + \lambda_0^{'}\mu_1^{'}}{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0\left(\mu_1^{'} + \mu_1\right) + \lambda_0^{'}\left(\mu_1 + \lambda_0 + \mu_1^{'}\right)}.$$

Отримане значення функції готовності є граничним її значенням і відповідає загально прийнятому поняттю коефіцієнта готовності. Фактично формула відображає асимптоту, до якої прямує функція готовності при нескінченному зростанні часу експлуатації розглядуємих технічних систем зернозбиральних комбайнів в умовах поліпшення бази їх технічного обслуговування (сервісу).

Іншим граничним значенням, яке може прийняти функція готовності, є значення, що відповідає початку роботи технічної системи. Підставляючи в функцію готовності (16) значення часу, що дорівнює нулеві (*t=0*), маємо $Kг(t = 0) = 1$. Результат відповідає поставленій умові, коли робота зернозбирального комбайну починається з справного стану. Тобто при *t=0;* $P_0(t=0)=K\textit{г}(t=0)=1$.

Таким чином для якісного аналізу зміни функції готовності від часу експлуатації технічної системи, представляється можливість графічної побудови функції готовності (рис. 2).

Крім функції готовності, важливою характеристикою надійності такої складної сільськогосподарської техніки як зернозбиральні комбайни, є їх можливість своєчасного і ефективного обслуговування і відновлення.

Виходячи з графу станів і переходів технічної системи (зернозбирального комбайну) (рис. 1) єдиним його станом, який характеризує простої в наслідок виконання сервісних і ремонтних робіт є стан “1”. Ймовірність знаходження системи в цьому стані визначається як ймовірність $P_1(t)$, яка і характеризує відновлення роботоздатності комбайнів.

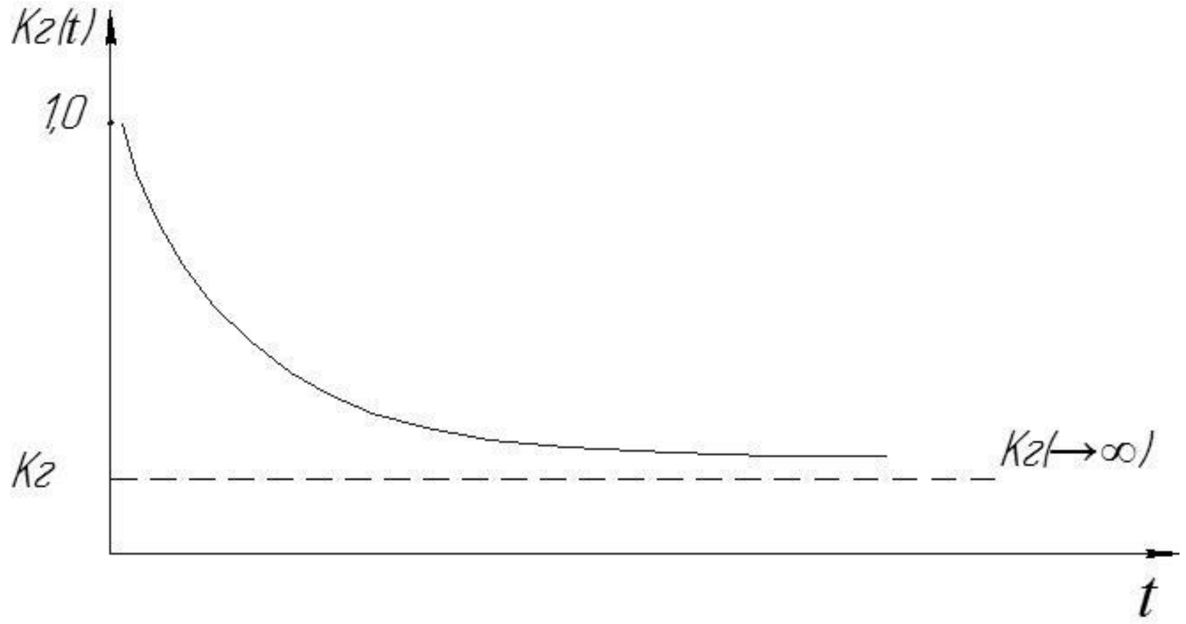

Рис. 2. Зміна функції готовності від часу експлуатації підсистем зернових комбайнів в умовах зростання потенціалу бази технічного обслуговування.

Тобто можна записати, для функції відновлення слідкуючу рівність:

$$K\textit{в}(t)=P_1(t).$$

Тоді використовуючи перетворення Лапласа приведені вище, відображення невідомої функції $\varphi_1(S)$ для визначення простоїв системи можна знайти згідно рівняння (6). Знаменник Δ у вказаному рівнянні визначається згідно формули (9), а чисельник Δ_1 може бути знайдений шляхом заміни стовбця з $\varphi_1(S)$ в загальній матриці Δ на стовбець вільних членів. Тоді правомірно записати

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} (S+\lambda_0) & 0 & 1 & -\mu_1' \\ S & S & 1 & S \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & 0 & (S+\mu_1') \end{vmatrix}.$$

В результаті отримана квадратна матриця четвертого рангу, для вирішення якої понизимо ранг шляхом розкладання матриці по елементам першої строчки:

$$\Delta_1 = (S+\lambda_0)\begin{vmatrix} S & 1 & S \\ -p\lambda_0' & 0 & 0 \\ -q\lambda_0' & 0 & (S+\mu_1') \end{vmatrix} + 1\begin{vmatrix} S & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & (S+\mu_1') \end{vmatrix} + \mu_1'\begin{vmatrix} S & S & 1 \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & 0 \end{vmatrix}$$

Або скорочено в позначеннях можна записати:

$$\Delta_1 = (S+\lambda_0)\cdot\Delta_1^{(1)} + \Delta_1^{(2)} + \Delta_1^{(3)} + \mu_1'\Delta_1^{(4)} \qquad (17)$$

Таким чином перетворенням отримані три квадратні матриці $\left(\Delta_1^{(2)} = 0\right)$ третього рангу, які допускають вирішення.

Для першої з них запишемо:

$$\Delta_1^{(1)} = \begin{vmatrix} S & 1 & S \\ -p\lambda_0' & 0 & 0 \\ -q\lambda_0' & 0 & (S+\mu_1') \end{vmatrix} = -(S+\mu_1')(-p\lambda_0')\cdot 1 = p\lambda_0'(S+\mu_1').$$

Друга, як відмічалося, дорівнює нулеві $\Delta_1^{(2)} = 0$.

Третя матриця дорівнює:

$$\Delta_1^{(3)} = \begin{vmatrix} S & S & S \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & (S+\mu_1') \end{vmatrix} = S(-p\lambda_0')(S+\mu_1') = -Sp\lambda_0'(S+\mu_1').$$

Четверта,

$$\Delta_1^{(4)} = \begin{vmatrix} S & S & 1 \\ 0 & -p\lambda_0' & 0 \\ 0 & -q\lambda_0' & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

Підставимо складові в рівняння (17)

$$\Delta_1 = (S+\lambda_0)\cdot p\lambda_0'(S+\mu_1') - Sp\lambda_0'(S+\mu_1') = p\lambda_0'\cdot\lambda_0(S+\mu_1').$$

Використовуючи відношення (6) і підставляючи в нього значення чисельника і знаменника маємо:

$$\varphi_1(S) = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{p\lambda_0' \cdot \lambda_0 \left(S + \mu_1'\right)}{S^2\left(S^2 + Sa + в\right)} \tag{18}$$

По іншому, функцію $\varphi_1(S)$, використовуючи розкладення знаменника, можна записати у вигляді

$$\varphi_1(S) = \frac{A_1}{(S - S_1)} + \frac{B_1}{(S - S_2)} + \frac{C_1}{(S - S_3)} + \frac{D_1}{(S - S_4)}$$

Ввівши заміну $A_1 + B_1 = 2E_1$ з урахуванням, що $S_1 = S_2 = 0$ маємо

$$\varphi_1(S) = \frac{2E_1}{S} + \frac{C_1}{(S - S_3)} + \frac{D}{(S - S_4)} \tag{19}$$

Так як знаменники функцій (18) і (19) рівні, то можна прирівняти і чисельники:

$$p\lambda_0'\lambda_0 \cdot S + p\lambda_0'\lambda_0\mu_1' = 2E_1(S - S_3)(S - S_4) + C_1S(S - S_4) + D_1S(S - S_3)$$

$$p\lambda_0'\lambda_0 \cdot S + p\lambda_0'\lambda_0\mu_1' = 2E_1\left(S^2 - SS_4 - SS_3 + S_3S_4\right) + C_1S^2 - C_1SS_4 + D_1S^2 - D_1SS_3$$

$$p\lambda_0'\lambda_0 \cdot S + p\lambda_0'\lambda_0\mu_1' = 2E_1S^2 - 2E_1SS_4 - 2E_1SS_3 + 2E_1S_3S_4 + C_1S^2 - C_1SS_4 + D_1S^2 - D_1SS_3$$

Повівши перегрупування складових маємо:

$$p\lambda_0'\lambda_0 \cdot S + p\lambda_0'\lambda_0\mu_1' = S^2\left[2E_1 + C_1 + D_1\right] - S\left[2E_1S_4 + 2E_1S_3 + C_1S_4 + D_1S_3\right] + 2E_1S_3S_4$$

При рівності зліва і справа можна записати нову систему рівнянь з коефіцієнтів при невідомих:

$$\begin{cases} 0 = 2E_1 + C_1 + D_1; \\ p\lambda_0'\lambda_0 = -\left(2E_1S_4 + 2E_1S_3 + C_1S_4 + D_1S_3\right); \\ p\lambda_0'\lambda_0\mu_1' = 2E_1S_3S_4. \end{cases} \tag{20}$$

З третього рівняння системи (20) запишемо:

$$2E_1 = \frac{p\lambda_0'\lambda_0\mu_1'}{S_3S_4};$$

$$E_1 = \frac{p\lambda_0'\lambda_0\mu_1'}{2S_3S_4}.$$

Підставляючи значення $2E_1$ в перше рівняння системи маємо:

$$0 = \frac{p\lambda_0'\lambda_0\mu_1'}{S_3S_4} + C_1 + D_1.$$

Звідкіля, $C_1 = -D_1 - \dfrac{p\lambda_0'\lambda_0\mu_1'}{S_3S_4}$. (21)

Використовуючи друге рівняння системи визначимо невідому сталу величину D_1:

$$p\lambda_0^{'}\lambda_0 = -\frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}\left(S_3 + S_4\right) + D_1S_4 + \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}S_4 - D_1S_3;$$

$$p\lambda_0^{'}\lambda_0 = -\frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}S_3 - \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}S_4 + D_1S_4 + \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}S_4 - D_1S_3;$$

$$p\lambda_0^{'}\lambda_0 = \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}\left(1 - S_3 - S_4\right) + D_1\left(S_4 - S_3\right);$$

$$D_1 = \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0 - \dfrac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}}{S_4 - S_3}.$$

В кінцевому вигляді маємо:

$$D_1 = \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\left(1 - \dfrac{\mu_1^{'}}{S_3S_4}\right)}{S_4 - S_3}.$$

Повертаючись до рівняння (21) і підставляючи в нього значення D_1 знайдемо сталу C_1:

$$C_1 = \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\left(1 - \dfrac{\mu_1^{'}}{S_3S_4}\right)}{S_4 - S_3} - \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}.$$

Таким чином всі невідомі сталі величини визначені і це дає змогу використовуючи зворотне перетворення Лапласа записати функцію відновлення (простою):

$$K\textit{в}(t) = A_1\exp\left[-S_1t\right] + B_1\exp\left[-S_2t\right] + C_1\exp\left[-S_3t\right] + D_1\exp\left[-S_4t\right].$$

Або $K\textit{в}(t) = 2E_1 + C_1\exp\left[-S_3t\right] + D_1\exp\left[-S_4t\right].$

Підставляючи значення сталих величин маємо:

$$K\textit{в}(t) = \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4} + \left[\frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\left(\dfrac{\mu_1^{'}}{S_3S_4} - 1\right)}{S_4 - S_3} - \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3S_4}\right]\exp\left(-S_3t\right) - \qquad (22)$$

$$-\frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\left(\dfrac{\mu_1^{'}}{S_3S_4} - 1\right)}{S_4 - S_3}\exp\left(-S_4t\right)$$

Графік отримання функції відновлення представлено на рис. 3.

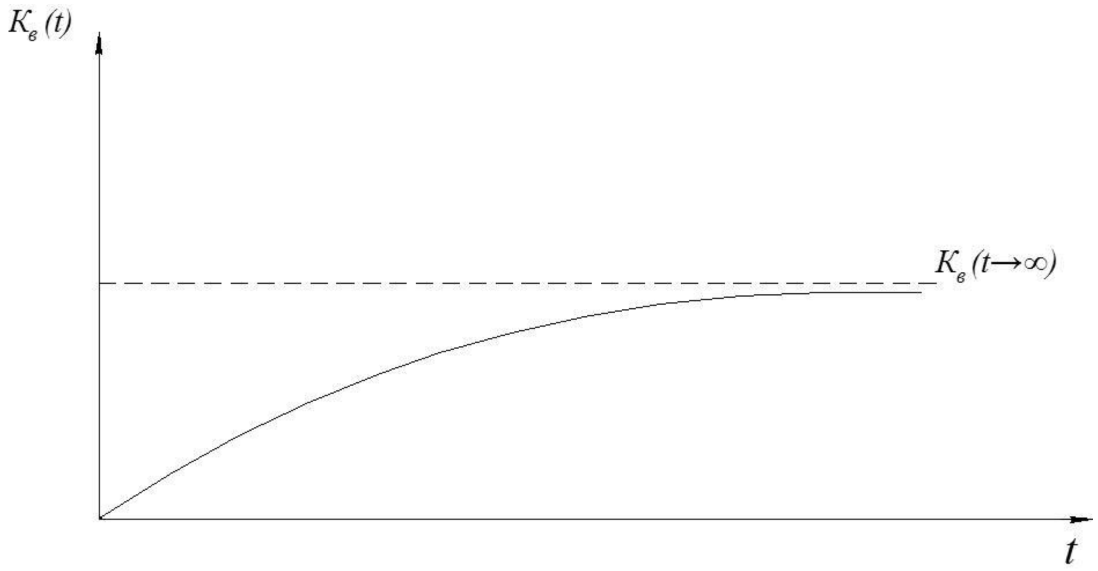

Рис. 3. Залежність функції відновлення від часу для зернозбирального комбайну як технічної системи за умов розвитку бази технічного обслуговування (сервісу).

Аналіз функції відновлення показує, що при необмеженому часі $(t \to \infty)$, вона приймає значення постійної величини яка є асимптотою:

$$K в(t \to \infty) = \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{S_3 S_4}.$$

Фізично отриману величину можна представити, як коефіцієнт простою технічної системи в усталеному режимі експлуатації.

Після підстановки значень коренів S_3 і S_4 коефіцієнт простою системи записується наступним чином:

$$K в(t \to \infty) = \frac{p\lambda_0^{'}\lambda_0\mu_1^{'}}{\mu_1\mu_1^{'} + \lambda_0\left(\mu_1^{'} + \mu_1\right) + \lambda_0^{'}\left(\mu_1 + \lambda_0 + \mu_1^{'}\right)}.$$

Якщо час експлуатації для системи ще не наступив $(t = 0)$, то функція відновлення згідно рівняння (22) набуває значення:

$K в(t = 0) = 0$.

Висновок. Це ще раз підтверджує правомірність отриманих залежностей функцій готовності і відновлення коли в закладені в досліджені початкові умови експлуатації при $t = 0$ зернозбиральні комбайни починають роботу з справного стану.

Список літератури

1. *Ушаков А.И.* Курс теории надежности / А.И. Ушаков. – М: Дрофа, 2008. – 239 с.

2. *Нечипоренко В.И.* Структурный аналіз систем (эффективность и надежность) / *В.И. Нечипоренко*. – М.: Советское радио, 1977. – 214 с.

Представленные результаты исследования готовности зерноуборочной техники в условиях постепенного снижения уровня ее надежности и развития базы технического обслуживания. Полученные соответствующие стохастические модели описания и перехода подсистем с определением функций готовности и восстановление.

Динамика, надежность, комбайн, обслуживание.

The presented results of research of readiness of grain-harvesting technics in the conditions of gradual decrease in level of its reliability and development of base of maintenance service. The received corresponding stochastic models of the description and transition of subsystems with definition of functions of readiness and restoration.

Dynamics, reliability, combine, service.

УДК 614.8:631.3

РИЗИК ВИНИКНЕННЯ ТРАВМАТИЗМУ ДЛЯ ОКРЕМИХ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПРОФЕСІЙ У ТВАРИННИЦТВІ

Є.І. Марчишина, кандидат сільськогосподарських наук
О.М. Губернюк, магістр
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Т.М. Таірова, кандидат технічних наук
Національний НДІ промислової безпеки і охорони праці

Проаналізовано ступені ризику виникнення травматизму для окремих виробничих процесів та професій у тваринництві. Запропоновано заходи щодо його профілактики. Встановлено, що найризикованішими роботами у галузі є технологічні операції при обслуговуванні бугаїв-плідників.

Травматизм, ризики, тваринництво, ймовірність, частота виникнення ситуації, тяжкість травм.

Державна політика в галузі охорони праці спрямована на пріоритет життя і здоров'я працівників, повну відповідальність

© Є.І. Марчишина, О.М. Губернюк, Т.М. Таірова, 2010

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НАУКОВИЙ ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ВИПУСК 144

Частина 3

Серія “Техніка та енергетика АПК”

Видається з квітня 1997 року

Свідоцтво про державну реєстрацію
Серія КВ №15180 – 3752ПР від 27.02.09

Редактор І.Л. Роговський

03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15

Здано до набору 27.08.2010 Підписано до друку 30.08.2010
Формат 60×84/16 Папір офсетний.
Наклад 100 прим. Зам. № 3090 від 27.08.2010

Видавничий центр НУБіП України
03041, Київ, вул. Героїв оборони, 15.
т. 527-80-49, к. 117