

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ «ЛЮДИНА-МАШИНА» ПРИ НАКОПИЧЕННІ ВІДМОВ

**Бойко А.І., д.т.н., професор, Новицький А.В., к. т.н., доцент**  
(Національний університет біоресурсів і природокористування України)

*Розроблена математична модель та проведено аналіз складної технічної системи «людина-машина» при накопиченні відмов.*

**Постановка проблеми.** Надійність сільськогосподарських машин, як складних технічних систем залежить не лише від досконалості їх конструкцій та умов експлуатації, але й від професійного-психологічного рівня операторів, рівня забезпечення їх працездатності. Виходячи з цього, на перший план виходить тенденція щодо необхідності вивчення таких машин, як складних технічних систем «людина-машина» (СТС «ЛМ»).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для таких СТС «ЛМ» формування потоків відмов складових «людина-оператор» і «машина» не можуть бути описані як марківські випадкові процеси переходів систем в різні можливі стани. Для аналізу та дослідження надійності складних систем в роботах [4, 5] пропонується введення додаткових фіктивних станів. В процесі аналітичних досліджень таких «старіючих» СТС «ЛМ» немарківські процеси замінюються на марківські, але разом з тим, ускладнюється математичний апарат опису поведінки систем.

В останні роки в наукових виданнях України з'явилися дослідження [2,3], в яких розглядаються питання забезпечення надійності сільськогосподарської техніки, як складних технічних систем. Особливе місце в них займають питання аналізу та способів забезпечення надійності зернозбиральної і посівної техніки [1, 2]. Але в представлених статтях об'єктами досліджень виступали машини або ж системи «машини-база технічного обслуговування». Значне місце в статтях займають проблеми дослідження складних машин при накопиченні пошкоджень і зміні потенціалу бази їх технічного обслуговування.

**Постановка завдання.** Виходячи з аналізу приведених вище матеріалів, метою представленої роботи є встановлення ймовірності безвідмовної роботи системи, рівень надійності якої знижується зі збільшенням кількості відмов двох складових СТС «ЛМ» «людини-оператора» і «машини». Тобто, передбачається проведення аналізу системи «ЛМ», як «старіючої» системи.

**Виклад основного матеріалу.** При вивченні СТС «ЛМ» сільськогосподарські машини, основна увага приділяється вивченню взаємозв'язку між «машиною» та «людиною-оператором» (водієм, техніком, трактористом, слюсарем). Оскільки, СТС «ЛМ» розглядаються як об'єкти, які ремонтуються при втраті працездатності [3], то для них основними показниками надійності являються характеристики відповідних потоків відмов

та потоків відновлень. Тобто, дії оператора розглядаються з точки зору впливу інтенсивностей відмов та інтенсивностей відновлень на безвідмовну роботу системи. Для складових «людина-оператор» і «машина» СТС «ЛМ», з позицій надійності, типовою ситуацією є поступове збільшення інтенсивностей відмов при відсутності резервувань.

В процесі експлуатації змінюється технічний стан складної сільськогосподарської техніки, як СТС «ЛМ». При встановленні надійності системи «ЛМ» розглянемо вплив на ймовірність безвідмовної роботи (ймовірність перебування у працездатному стані) двох компонент: «людини-оператора» і «машини». Як відомо, на протязі всього періоду експлуатації СТС ймовірність безвідмовної роботи машини зменшується під впливом різних видів пошкоджень. Проходить період «старіння» машини.

Складова СТС «ЛМ» «людина-оператор» також не залишається без змін. Причин переходу цієї складової в непрацездатний стан кілька. Перш за все, при надходженні нової машини, людина-оператор знайомиться з її конструкцією, особливостями експлуатації, технічного обслуговування і ремонту. Саме це є причиною зменшення ймовірності безвідмовної роботи системи під впливом «людини-оператора» в початковий період. Якщо кваліфікація оператора недостатня і він часто змінює вид робіт, то на довший термін затягується цей період. Іншою причиною зменшення ймовірності безвідмовної роботи є також низька кваліфікація «людини-оператора», яка затримує своєчасне відновлення працездатності машини при виникненні відмов. З часом, в процесі «старіння» техніки ускладнюються відмови, зростає їх трудомісткість і час відновлення. Всі перераховані причини в цілому негативно впливають на ймовірність безпомилкової роботи, своєчасність вирішення завдання та ймовірність виправлення помилки оператором. Тобто відбувається зниження професійно-психологічного рівня («старіння») «людини-оператора». Граф станів і переходів СТС «ЛМ», у якої з часом напрацювання на відмову зменшується, а інтенсивність відмов відповідно збільшується, представлена на рисунку 1.

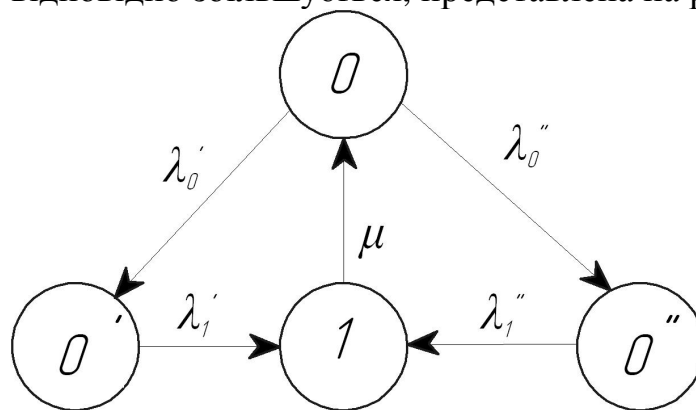


Рис.1 – Граф станів і переходів СТС «людина-машина»: “0” – працездатний стан; “1” – непрацездатний стан (усунення відмов оператора та усунення відмов машини);; “0’” – проміжний (фіктивний стан) старіння оператора; “0”” – проміжний (фіктивний стан) старіння машини  $\lambda_0', \lambda_0'', \lambda_1', \lambda_1''$  - інтенсивності відмов;  $\mu$  - інтенсивність відновлень.

На підставі побудованого графу станів і переходів СТС «людина-машина» (рис. 1), складені диференційні рівняння динамічного балансу для ймовірності перебування в одному із станів:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0(t) = -\lambda'_0 P_0(t) + \mu P_1(t) - \lambda''_0 P_0(t); \\ \frac{d}{dt} P_1(t) = \lambda'_1 P'_0(t) - \mu P_1(t) + \lambda''_1 P''_0(t); \\ \frac{d}{dt} P'_0(t) = -\lambda'_1 P'_0(t) + \lambda'_0 P_0(t); \\ \frac{d}{dt} P''_0(t) = -\lambda''_1 P''_0(t) + \lambda''_0 P_0(t). \end{cases} \quad (1)$$

де  $P_0(t)$  - ймовірність перебування системи в працездатному стані;  
 $P'_0(t)$  - ймовірність перебування системи в проміжному стані (фіктивному стані) – «старінні» машини;  
 $P''_0(t)$  - ймовірність перебування системи в проміжному стані (фіктивному стані) – «старінні» оператора;  
 $P_1(t)$  - ймовірність перебування системи в непрацездатному стані.

Для представленого на рисунку 1 графа запишемо нормувальну умову, якою є сума ймовірностей станів системи «ЛМ»:

$$P_0(t) + P_1(t) + P'_0(t) + P''_0(t) = 1. \quad (2)$$

За початкову умову можна прийняти ситуацію, коли складові «людина-оператор» і «машина» забезпечують роботу системи і вона перебуває у працездатному стані. Для часу  $t = 0$ , ймовірність  $P(t) = 1$ . Для розв'язку системи рівнянь можна підставити початкові дані і провівши перетворення Лапласа замінити друге рівняння на нормувальну умову. Якщо при  $t = 0$  система знаходиться в працездатному стані, можемо записати вихідні умови  $P_0(t) = 1, P_1(t) = 0, P'_0(t) = 0, P''_0(t) = 0$ :

$$\begin{cases} S\varphi_0(S) - 1 = -\lambda'_0\varphi_0(S) + \mu\varphi_1(S) - \lambda''_0\varphi_0(S) = 1 \\ \varphi_0(S) + \varphi_1(S) + \varphi'_0(S) + \varphi''_0(S) = 1 \\ S\varphi'_0(S) - 0 = -\lambda'_1\varphi'_0(S) + \lambda'_0\varphi_0(S) \\ S\varphi''_0(S) - 0 = -\lambda''_1\varphi''_0(S) + \lambda''_0\varphi_0(S) \end{cases} \quad (3)$$

Після групування членів диференційних рівнянь і перетворень, систему (3) можна представити в наступному вигляді:

$$\begin{cases} (S + \lambda'_0 + \lambda''_0)\varphi_0(S) - \mu\varphi_1(S) = 1 \\ \varphi_0(S) + \varphi_1(S) + \varphi'_0(S) + \varphi''_0(S) = 1 \\ -\lambda'_0\varphi_0(S) + (S + \lambda'_1)\varphi'_0(S) = 0 \\ -\lambda''_0\varphi_0(S) + (S + \lambda''_1)\varphi''_0(S) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Для отриманої системи (4) запишемо залежність для встановлення визначника, встановивши коефіцієнти при невідомих:

$$\Delta = \begin{vmatrix} (S + \lambda'_0 + \lambda''_0) & (-\mu) & 0 & 0 \\ S & S & S & S \\ -\lambda'_0 & 0 & (S + \lambda'_1) & 0 \\ -\lambda''_0 & 0 & 0 & (S + \lambda''_1) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Невідомі  $\varphi_i(S)$  можуть бути знайдені згідно правила Крамера з наступних виразів:

$$\varphi_0(S) = \frac{\Delta_0}{\Delta}; \varphi_1(S) = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \varphi'_0(S) = \frac{\Delta'_0}{\Delta}; \varphi''_0(S) = \frac{\Delta''_0}{\Delta}. \quad (6)$$

де  $\Delta$  – рішення визначника (5);

$\Delta_0$  – рішення визначника для невідомої  $\varphi_0(S)$ ;

$\Delta_1$  – рішення визначника для невідомої  $\varphi_1(S)$ ;

$\Delta'_0$  – рішення визначника для невідомої  $\varphi'_0(S)$ ;

$\Delta''_0$  – рішення визначника для невідомої  $\varphi''_0(S)$ .

Розв'язок отриманої матриці (5) та встановлення значень ймовірностей перебування СТС «людина-машина» в одному із станів для забезпечення надійності виконання технологічної операції сільськогосподарською технікою, буде представлено в подальших дослідженнях.

## Висновки

Перспективними з позицій оцінки та забезпечення надійності сільськогосподарської техніки, як СТС «людина-машина» є дослідження, які дають можливість встановити ймовірність безвідмовної роботи системи для різних періодів життєвого циклу. Цікавими в науковому плані також можуть бути дослідження впливу на ймовірність безвідмовної роботи системи «людини-машина» періоду роботи, коли «людина-оператор» підвищує свій професійно-психологічний рівень.

## Список літератури

1. Бойко А.І. Проблеми забезпечення надійності сучасної складної сільськогосподарської техніки / А.І. Бойко, О.В. Бондаренко // Вісник Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. — Вінниця, 2012. — Випуск 11 (66). — С. 307 - 311.
2. Бойко А.І. Стохастичне моделювання роботи пневмомеханічного висівного апарату / А.І. Бойко, О.О. Банний // Науковий вісник НУБІПУ — Київ, 2011. — Том 166, частина 1. — С. 112 - 118.
3. Дружинин Г.В. Надёжность автоматизированных систем / Г.В. Дружинин. Изд. 3-е перераб. и доп. - М., «Энергия», 1977. – 536 с.
4. Сандлер Дж. Техника надёжности систем / Дж. Сандлер; пер. с англ. А.Л. Райкина. – М., 1966. – 300 с.
5. Ушаков А.И. Курс теории надежности систем / А.И. Ушаков. — М.: ДРОФА, 2008. — 239 с.

## Аннотация

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» ПРИ НАКОПЛЕНИИ ОТКАЗОВ

**Бойко А.И., Новицкий А.В.**

*Разработана математическая модель и проведен анализ сложной технической системы «человек-машина» при накоплении отказов.*

## Abstract

### MATHEMATICAL MODELING «HUMAN-MACHINE» IN THE ACCUMULATION REFUSES

**A. Boyko, A. Novitskiy**

*There is worked out mathematical model to the analysis of the system «human-machine» is conducted at the accumulation of refuses in the article.*