

Р. В. Казьмирович

ПРО ОЦІНКУ ТРАВМОНЕБЕЗПЕКИ ОДНОНОЖОВИХ ПАПЕРОРІЗАЛЬНИХ МАШИН З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Одноножові паперорізальні машини (ОПРМ) — найбільш травмонебезпечні в поліграфічній промисловості.

До основних факторів, які знижують ефективність керування безпекою праці [1], передусім відносяться такі, як відсутність загальноприйнятих кількісних показників безпеки і недосконалість відомих способів нормування, оцінки та підтримання потрібних значень показників у процесі виробництва.

У статті пропонується спосіб кількісної оцінки травмонебезпеки ОПРМ із системами програмного керування (СПК). Травмонебезпеку цих машин можна оцінити за допомогою гіпотетичного дерева відказів (рис. 1), яке, зокрема, дозволяє також документувати причинно-наслідкові зв'язки між відказами на рівні різних підсистем і визначити найбільш важливі відкази та слабкі ланки системи [4]. Для подання в математичній формі логічних зв'язків між відказами основних елементів і завершальною подією застосовують основні закони бульової алгебри.

Завершальна подія — імовірність травматизму $P(T)$ — вираховується як добуток імовірності проходження циклу різання $P(\zeta)$ та імовірності вторгнення рук різальника в зону руху ножа $P(B)$

$$P(T) = P(\zeta) \cdot P(B). \quad (1)$$

Імовірність проходження циклу різання виражається складанням трьох сумісних статистично незалежних подій

$$P(\zeta) = P(A + E + M) = P(A) + P(E) + P(M) - P(AE) - P(AM) - P(EM) + P(AEM), \quad (2)$$

де $P(A)$ — імовірність проходження автоматичного (який керується СПК) циклу різання; $P(E)$ — імовірність проходження циклу різання, викликаного несправністю електричної схеми керування електромагнітною муфтою приводу ножа; $P(M)$ — імовірність самовільного опускання ножа.

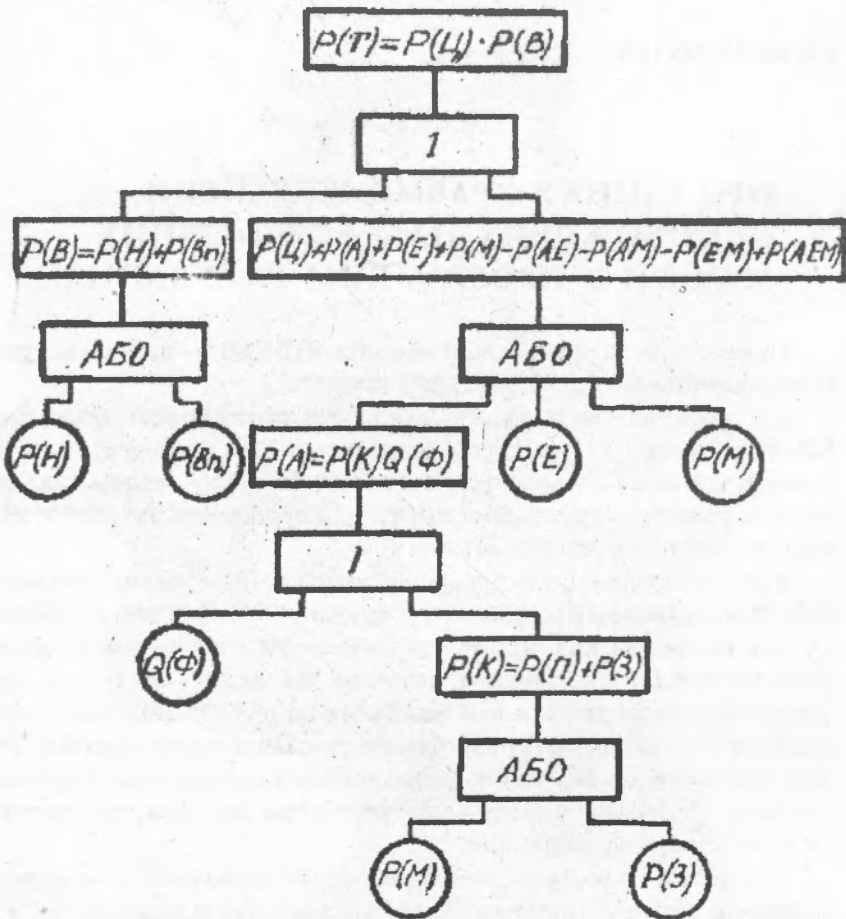


Рис.1. Гіпотетичне дерево відказів для оцінки травмонебезпеки ОПРМ із СПК.*

Імовірність автоматичного (травмонезбезпечного) увімкнення циклу різання при наявності фотоелектронних захисних пристроїв (ФЗП) визначається формулою

$$P(A) = P(K) \cdot Q(\phi), \quad (3)$$

де $P(K)$ — імовірність подачі команди на проходження циклу різання СПК; $Q(\Phi)$ — імовірність неспрацьовування ФЗП при перетині світлових променів.

Імовірність подачі команди на проходження циклу різання СПК становитиме

$$P(K) = P(\Pi) + P(Z), \quad (4)$$

де $P(\Pi)$ — імовірність подачі команди на проходження циклу різання, який відповідає програмі різання; $P(Z)$ — імовірність помилкової команди (збої) на проходження циклу різання.

Імовірність вторгнення (перетину світлових променів) рук різальника в зону руху ножа визначається як

$$P(B) = P(H) + P(Bn), \quad (5)$$

де $P(H)$ — імовірність вторгнення в зону руху ножа, що викликана технологічною необхідністю; $P(Bn)$ — імовірність випадкових вторгнень.

Підставляючи (2) — (5) в (1), після відповідних перетворень одержимо

$$P(T) = [P(H) + P(Bn)] \{Q(\Phi)[P(\Pi) + P(Z)] + P(E) + P(M) - P(AM) - P(AE) - P(EM) + P(AEM)\}. \quad (6)$$

Приймаючи

$$-P(AE) - P(AM) - P(EM) + P(AEM) = 0,$$

масмо

$$P(T) = [P(H) + P(Bn)] \{Q(\Phi)[P(\Pi) + P(Z)] + P(E) + P(M)\} - P(B)[Q(\Phi)P(K) + P(E) + P(M)]. \quad (7)$$

Аналізуючи формулу (7), легко визначити, що одним з основних шляхів підвищення безпеки експлуатації ОПРМ є зменшення значень $Q(\Phi)$ та $P(Z)$, тобто підвищення надійності функціонування ФЗП і СПК.

Ефективність ФЗП оцінюється відповідним зниженням імовірності травматизму при застосуванні його на ОПРМ:

$$P(T^1) - P(T) = P(B) \cdot P(K) [1 - Q(\Phi)], \quad (8)$$

де $P(T^1) = P(B) [P(K) + P(E) + P(M)]$ — імовірність травматизму на ОПРМ із СПК при відсутності ФЗП.

Параметри випадкового потоку вторгнень рук різальника в зону руху ножа на ОПРМ можна визначити за результатами аналізу процесу функціонування справного ФЗП. Функціонування ФЗП описується дискретним марковським процесом з неперервним часом і зображається напрямленим графом (рис.2) з двома технологічними станами — чергування та тривоги [5].

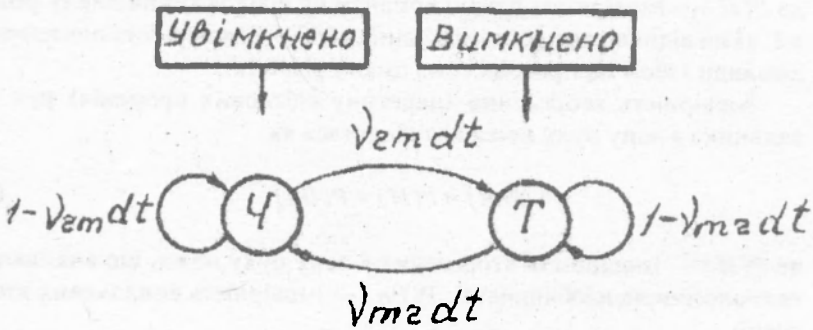


Рис.2. Граф технологічних станів ФЗП.

Обробка експериментальних даних (рис.3) з використанням критерію Пірсона χ^2 згідно з ГОСТ 11.006-74 показала, що розподіл проміжків часу окремих станів ФЗП при роботі різальника високої кваліфікації (у випадку розрізання етикетної продукції) підпорядковується експоненціальному закону. Середні їх значення складають: $\bar{T}_2 = 7,2$ та $\bar{T}_1 = 2,6$ с.

Отже, період роботи справного ФЗП визначається двома розподілами

$$f_4(t) = v_{чт} \exp(-v_{чт}t) \text{ та } f_m(t) = v_{тч} \exp(-v_{тч}t), \quad (9)$$

де $v_{чт} = 1/\bar{T}_4$, $v_{тч} = 1/\bar{T}_m$ — інтенсивності відповідних переходів.

Функції імовірності станів ФЗП одержуємо шляхом розв'язання рівнянь моделі Маркова [2,3]. Згідно з графом станів система диференціальних рівнянь Колмогорова має вигляд

$$\frac{d p_4(t)}{dt} = -v_{чт} p_4(t) + v_{тч} p_m(t);$$

$$\frac{d p_m(t)}{dt} = v_{чт} p_4(t) - v_{тч} p_m(t);$$

$$p_4(t) + p_m(t) = 1. \quad (10)$$

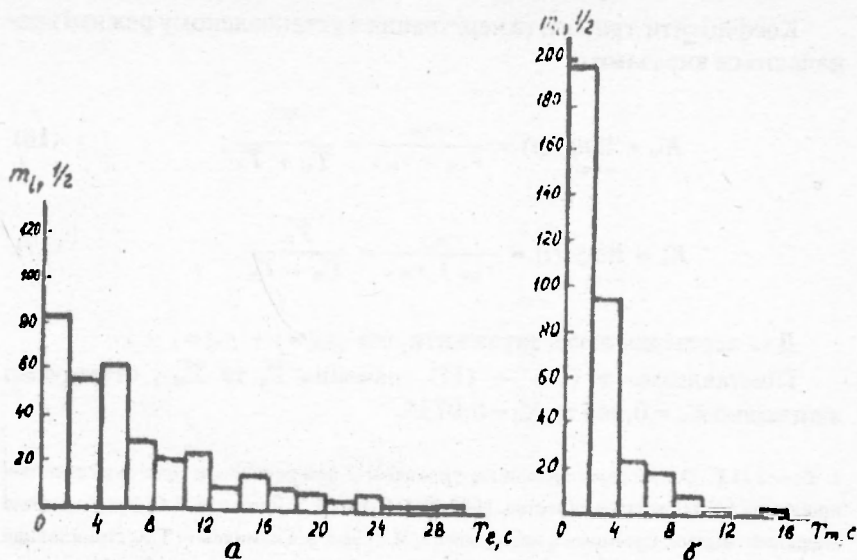


Рис. 3. Емпіричні гістограми розподілу проміжків часу перебування ФЗП в увімкненому (а) та вимкненому (б) стані.

Початкові умови —

$$\text{при } t = 0 \quad p_q(0) = 1, p_m(0) = 0. \quad (11)$$

Використовуючи перетворення Лапласа, з врахуванням початкових умов, одержуємо

$$\begin{aligned} (S + v_{qm}) \cdot \tilde{p}_q(S) - v_{mq} \cdot \tilde{p}_m(S) &= 1; \\ -v_{qm} \cdot \tilde{p}_q(S) + (S + v_{mq}) \cdot \tilde{p}_m(S) &= 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Звідси

$$\tilde{p}_q(S) = \frac{S + v_{mq}}{S + (S + v_{mq} + v_{qm})}, \quad \tilde{p}_m(S) = \frac{S + v_{mq}}{S + (S + v_{mq} + v_{qm})}. \quad (13)$$

Застосовуючи зворотнє перетворення Лапласа, матимемо

$$p_q(t) = \frac{v_{mq}}{v_{qm} + v_{mq}} + \frac{v_{qm}}{v_{qm} + v_{mq}} \exp[-(v_{qm} + v_{mq}) t]; \quad (14)$$

$$p_m(t) = \frac{v_{qm}}{v_{qm} + v_{mq}} - \frac{v_{qm}}{v_{qm} + v_{mq}} \exp[-(v_{qm} + v_{mq}) t]. \quad (15)$$

Коефіцієнти тривоги та чергування в установленому режимі визначаються виразами

$$K_m = \lim_{t \rightarrow \infty} p_m(t) = \frac{\nu_{чm}}{\nu_{чm} + \nu_{mч}} = \frac{\bar{T}_m}{\bar{T}_m + \bar{T}_ч}; \quad (16)$$

$$K_ч = \lim_{t \rightarrow \infty} p_ч(t) = \frac{\nu_{mч}}{\nu_{чm} + \nu_{mч}} = \frac{\bar{T}_ч}{\bar{T}_m + \bar{T}_ч}. \quad (17)$$

Для перевірки легко зауважити, що $p_m(\infty) + p_ч(\infty) = 1$.

Підставляючи в (16) — (17) значення $\bar{T}_ч$ та \bar{T}_m , отримуємо відповідно $K_m = 0,265$ та $K_ч = 0,0735$.

1. Белов П.Г. О программированном управлении безопасностью производственных процессов // Стандарты и качество. 1985. №5. С.56-59. 2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М., 1980. 3. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. М., 1977. 4. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. М., 1984. 5. Казьмирович Р.В. Аналіз надійності фотоелектричних захисних пристроїв // Поліграфія і видавнича справа. Львів, 1984. №20. С.78 — 80.

Стаття надійшла до редколегії 16.01.95.