

УДК 621.9.044:62-192

**В.О. Дудюк, доцент, канд. техн. наук***Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського,**вул. Першотравнева 20, м. Кременчук, Україна, 39600**dva\_1983@mail.ru***ПЕРЕДУВАННЯ ВІДМОВ ЕЛЕМЕНТІВ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ**

*Проаналізовано та виявлені причини відмов струменеформуючої системи при гідроабразивному різанні. Встановлено, що відмови струменеформуючої системи носять складний характер, та описується аналітичними моделями параметричної та функціональної надійності.*

**Ключові слова:** *гідроабразивне різання, струменеформуюча система, відмови, параметрична надійність, функціональна надійність.*

**Вступ.** Технологічна гідрорізна система досить складна та має розгалужену структуру. Зношування окремих елементів, що безпосередньо формують швидкоплинний двофазний потік, відбувається з різною динамікою, і для збереження надійності процесу нехтують їх залишковим ресурсом, проводять передчасну заміну, що значно здорожує обробку, оскільки такі елементи є коштовними (від 100 до 500 євро). Інші негативні явища (наприклад, несталості подачі абразиву) вимагають пошуку нових шляхів забезпечення сталої та стабільної роботи системи. Прогнозування часу безвідмовної роботи дозволить скоротити витрати на швидкозмінні елементи, що підвищить продуктивність і знизить собівартість обробки.

**Мета роботи:** забезпечення передування відмов гідроабразивної системи на основі аналізу відмов струменеформуючих елементів та теорії надійності складних систем.

Під час складання елементів струменеформуючого пристрою виникають просторові похибки, а самі елементи пристрою мають початкові розсіювання власних параметрів (рисунок 1). Такими параметрами є: діаметр струменеформуючого сопла  $d_c$  та відхилення реального отвору від геометрично правильного кола, діаметр отвору калібрувальної трубки  $D_k$  та відповідне відхилення реального отвору від геометрично правильного кола, коефіцієнт витрати сопла  $\mu_c$ , обумовлений початковим профілем каналу, не співвісність сопла та калібрувальної трубки; властивості абразиву, що знаходиться в калібрувальній трубці та в каналі підведення.

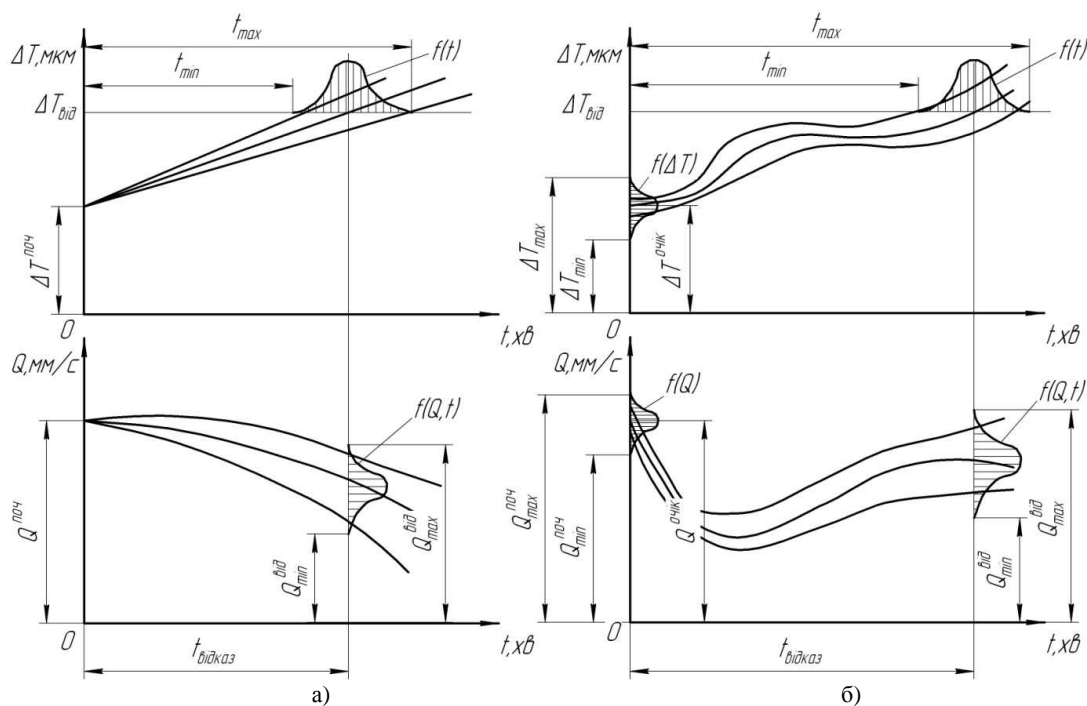


Рисунок 1 – Графіки залежності зносу калібрувального каналу та продуктивності гідроабразивної обробки: а) ідеалізований випадок; б) випадок з урахуванням початкового розсіювання параметрів та недосконалостей конструкції струменеформуючої системи

Процес гідроабразивного різання матиме нормальний хід у випадку, якщо не буде перевищений допуск на виконуваний розмір  $T_b$ , мкм, а робоча подача  $s$ , мм/хв, забезпечуватиме повне прорізання матеріалу товщиною  $h$ , мм, тобто продуктивність процесу  $W$ , мм<sup>3</sup>/хв., буде знаходитися у встановлених межах. Безвідмовність гідрорізної системи з огляду на вищезазначене являтиме собою:

$$P(t) = P_c(t) \cdot P_t(t) \cdot P_k(t), \quad (1)$$

де  $P_t(t)$  – вірогідність безвідмовної роботи калібрувальної трубки;  $P_c(t)$  – вірогідність безвідмовної роботи сопла;  $P_k(t)$  – вірогідність безвідмовної роботи змішувальної камери.

Робота [1] зазначає, що відповідний опис виникнення відмови  $F(t)$  складної технічної системи створюється на основі аналізу послідовності та сутності явищ, що ведуть до припинення функціонування або виходу процесу за встановлені межі, наслідком чого є поява браку.

Проаналізуємо сутність явищ, виникаючих при реалізації процесу гідро абразивного різання, які ведуть до припинення його нормального і сталого протікання.

Загальна схема втрачання працеспроможності системи може бути представлена (рисунок 2.)

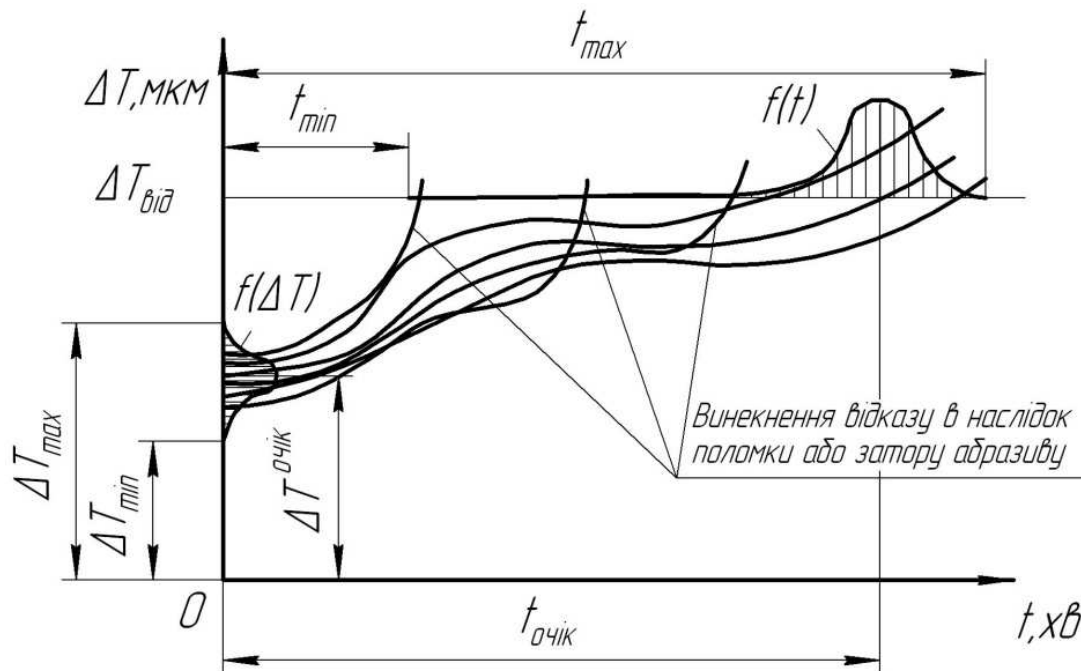


Рисунок 2 – Виникнення відмов струменеформуючої системи з урахуванням раптових відмов її елементів

Використовуване сопло виготовлене із надтвердого квазікрихкого матеріалу, і може вийти з ладу як внаслідок прояву зношувальних явищ, так і раптово, коли гідродинамічне навантаження або випадковий механічний вплив від дії частинок бруду в досопловому просторі призведе до появи критичних напружень, внаслідок чого початкові дефекти матеріалу сопла стають центрами розвитку мікротріщин. Оскільки, відповідно до положень лінійної механіки руйнування, швидкість вивільнення енергії через береги тріщини визначається як

$$G = \frac{1-v^2}{E} A(V)k^2,$$

де  $k = \sigma\sqrt{\pi a}$  – коефіцієнт інтенсивності напружень, для даного класу матеріалів швидкість зростання берегів тріщини, обумовлена різницею  $(G - R)$ , де  $R$  – опір розтріскуванню, може сягати 500-600 м/с, тобто руйнування тіла розміром 3,5 мм відбудеться за час 3-5 мкс – практично миттєво. Таким чином, поступове зношування і крихке руйнування відбуваються як незалежні події.

Отже, прояв як поступових  $(1 - P_n^c)$ , так і раптових  $(1 - P_p^c)$  відмов як незалежних подій дозволяє ймовірність безвідмовної роботи визначити так:

$$P_c(t) = P_n^c(t)P_p^c(t) \quad (2)$$

Калібрувальна трубки сприймає гідродинамічне та механічне навантаження від дії швидкорухомих частинок абразиву, які вводяться у потік рідини за зрізом сопла. Її виготовлено із твердого сплаву, із забезпеченням вимог щодо точності взаємного розташування базових поверхонь та виконання відповідних розмірів. Причина виходу із ладу калібрувальної трубки – зростання калібрувального отвору  $D_k$  понад встановлений граничний розмір та сколювання окремих елементів, внаслідок чого змінюється геометрія сформованої канавки різку. Це пошкодження обумовлене зношувальними явищами, однак на відміну від сопла початкові дефекти не призводять до миттєвого виходу з ладу, і трубка певний час ще працює. У цьому випадку відмова цього елементу є складною подією, яка описується виразом

$$F_t(t) = (1 - P_n^t(t))(1 - P_p^t(t))$$

А безвідмовність, відповідно до  $P^t = 1 - F^t$ , визначиться:

$$P_t(t) = \left[ 1 - (1 - P_n^t(t))(1 - P_p^t(t)) \right]$$

Тепер на основі (1) загальна безвідмовність роботи системи становитиме:

$$P_t(t) = P_n^c(t)P_p^c(t) \left[ 1 - (1 - P_n^t(t))(1 - P_p^t(t)) \right] P_p^k(t)$$

З урахуванням того, що прояв поступових відмов є наслідком протікання процесів зношування, на основі рекомендацій [1] ймовірність безвідмовної роботи визначиться як

$$P_1(t) = 0,5 + \Phi \left( \frac{X_{\max 1} - a_{01} - \gamma_{cp1}t}{\sqrt{\sigma_{a1}^2 + \sigma_{\gamma 1}^2 t^2}} \right) \text{ а настання випадкових відмов підкоряється експоненціальному}$$

закону  $P_p(t) = e^{-\lambda t}$  стосовно сопла можемо записати:

$$P_n^c(t) = \left[ 0,5 + \Phi \left( \frac{d_{c \max} - \bar{d}_c - \gamma_{ct}}{\sqrt{\sigma_{dc}^2 + \sigma_{\gamma c}^2 t^2}} \right) \right] e^{-\lambda_d t}$$

Для калібрувальної трубки вираз набуде вигляду:

$$P_t(t) = \left\{ 1 - \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{D_{k \max} - \bar{D}_k - \gamma_{Dk}t}{\sqrt{\sigma_{Dk}^2 + \sigma_{\gamma Dk}^2 t^2}} \right) \right] \left[ 1 - e^{-\lambda_D t} \right] \right\}$$

Нарешті, із урахуванням надійності подачі абразиву  $P^z(t)$  матимемо:

$$P(t) = \left[ 0,5 + \Phi \left( \frac{d_{c \max} - \bar{d}_c - \gamma_{ct}}{\sqrt{\sigma_{dc}^2 + \sigma_{\gamma c}^2 t^2}} \right) \right] \left\{ 1 - \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{D_{k \max} - \bar{D}_k - \gamma_{Dk}t}{\sqrt{\sigma_{Dk}^2 + \sigma_{\gamma Dk}^2 t^2}} \right) \right] \left[ 1 - e^{-\lambda_D t} \right] \right\} e^{-\lambda_d t} P^z(t) \quad (3)$$

за умови визначення  $P^z(t)$  на основі аналізу причин настання відмов роботи пристрою.

Пошукові параметри для рівняння (3) подані в табл.1

Тоді задача прогнозування надійності процесу гідроабразивного різання впливатиме із умови

$$\begin{cases} h_m k_q < h_t = f(D_k, d_c); \\ b_{\max} > b_i = f(D_k, d_c) \end{cases}, \quad (4)$$

де праві частини рівнянь (4) – значення  $h_t$  та  $b_i$  у функції  $d_c$  та  $D_k$ , отримані при розрахункових значеннях швидкості робочої подачі  $s_k$  та оптимальній витраті абразиву і його дисперсності;  $k_q$  – коефіцієнт якості, що обумовлює перевищення розрахункового значення  $h_p$  над товщиною матеріалу  $h_m$ .

Явища зношування сопла і отвору калібрувальної трубки у загальному вигляді є незалежними. Як вже зазначалося, вони мають різну інтенсивність, отже, досягнення критичного рівня кожного із параметрів ( $d_c$  та  $D_k$ ) буде відбуватися у різні моменти часу. Іншими словами, причиною настання відмови внаслідок повільнопротікаючих процесів буде зазвичай одна із подій.

Таблиця 1 – Пошукові параметри надійності безвідмовної роботи елементів струменеформуючої системи

Місце виникнення відмови		Схема виникнення відмов	Пошукові параметри
1	2	3	4
1	Сопло		$\bar{d}_c,$ $\sigma_{d_c},$ $\gamma_{d_c},$ $\sigma_{\gamma_{d_c}},$ $\lambda_d$
2	Калібрувальна трубка		$\bar{D}_k,$ $\sigma_{D_k},$ $\gamma_{D_k},$ $\sigma_{\gamma_{D_k}},$ $\lambda_{D_k}$
3	Елементи подачі абразиву		$P^z(t)$

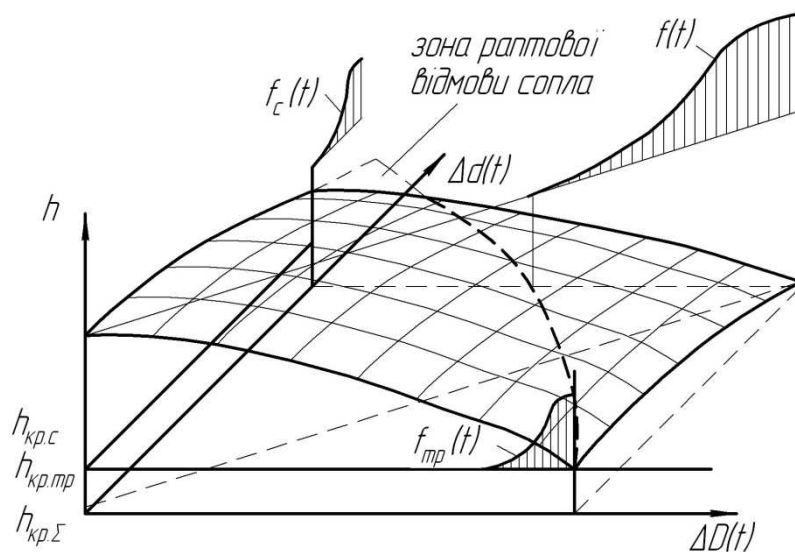


Рисунок 3 – Межі змін  $\Delta D_k$  та  $\Delta d_c$  і ймовірність виникнення відмови системи

**Висновок.** Отримано закон розподілу ймовірності настання параметричної відмови  $P(t)$  за показником  $h_m$  буде безпосередньо визначатися ймовірністю прояву значення  $d_c$  або  $D_k$ , що перевищили критичний рівень своїх значень (рис. 3), допуску на ширину різання  $T_b$ , який визначається, як  $T_b = b_{nom} - b_{max}$ . Виявлено функціональний взаємозв'язок із явищами зношування протокової частини струминної системи.

**Перспективи подальших досліджень в даній області.** Використання запропонованої моделі формування відмови дозволить розробити технічні та технологічні засоби, що дозволить попередити виникнення браку при гідроабразивному різанні.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Дудюк В.А. Надежность процесса гидроабразивного резания (начало) / О.Ф. Саленко, В.А. Дудюк // Металлообработка. Международный информационно-технический журнал. Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков, 2010. – № 5 / 2010. – С. 22–26.
3. Дудюк В.А. Надежность процесса гидроабразивного резания (продолжение) / О.Ф. Саленко, В.А. Дудюк // Металлообработка. Международный информационно-технический журнал. Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков, 2010. – № 6 / 2010. – С. 23–24.
4. Дудюк В.О. Поліпшення стабільності процесу гідроабразивного різання конструктивними засобами / О.Ф. Саленко, В.О. Дудюк // Вісник СевНТУ. Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. праць – Севастополь: СевНТУ, 2010. – Вип. 107.– С. 197–202.

*Надійшла до редакції 24.01.2014 р.*

#### **Дудюк В.А. Предшествование отказов элементов гидроабразивного оборудования на основе аналитических моделей параметрической и функциональной надежности**

Проанализированы и выявлены причины отказов струеформирующей системы при гидроабразивной резке. Установлено, что отказы струеформирующей системы носят сложный характер, и описывается аналитическими моделями параметрической и функциональной надежности.

**Ключевые слова:** гидроабразивная резка, струеформирующей системы, отказ, параметрическая надежность, функциональная надежность.

#### **Dudyuk V.O. Preceding element failures Waterjet equipment based on analytical models of parametric and functional reliability**

Analyzed and identified the causes of failures spurt-forming system at hydro-abrasive cutting. Found that failures spurt-forming system are complex, and is described by analytical models of parametric and functional reliability.

**Keywords:** hydro-abrasive cutting, spurt-forming system failure, parametric reliability, functional reliability.