

ISSN 2079-004X

4'2015



# ТЕХНОЛОГІЇ

## В МАШИНОБУДУВАННІ

Вісник Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»



Харків

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

## **ВІСНИК**

### **НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

*Серія: Технології в машинобудуванні*

№ 4 (1113) 2015

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків  
НТУ «ХПІ», 2015

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ».** Збірник наукових праць. Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2015. – № 4 (1113). – 216 с.

### **Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України**  
**КВ № 5256 від 2 липня 2001 року**

Збірник виходить українською та російською мовами.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р., № 1 – 05/4 (Бюлетень ВАК України, № 6, 2010 р., с. 3, № 20).*

### **Координаційна рада:**

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**голова**);  
К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);  
А. П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Є. І. СОКОЛ, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;  
Є. Є. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук, проф.; А. В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.;  
Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф.; М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.;  
А. І. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В. Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.;  
В. Д. ДМИТРИЄНКО, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. ДОМНІН, д-р техн. наук, проф.;  
В. В. СПІФАНОВ, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. ЗАЙЦЕВ, канд. техн. наук, проф.;  
П. О. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.; В. Б. КЛЕПІКОВ, д-р техн. наук, проф.;  
С. І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф.; В. М. КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук, проф.;  
В. І. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Г. В. ЛІСАЧУК, д-р техн. наук, проф.;  
О. К. МОРАЧКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.; В. І. НІКОЛАЄНКО, канд. іст. наук, проф.;  
П. Г. ПЕРЕРВА, д-р екон. наук, проф.; В. А. ПУЛЯЄВ, д-р техн. наук, проф.;  
М. І. РИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.;  
Г. М. СУЧКОВ, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. ТИМОФІЄВ, д-р техн. наук, проф.;  
М. А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.

### **Редакційна колегія серії:**

**Відповідальний редактор:** Ю.В. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.

**Заст. відповідального редактора:** О. О. Клочко, д-р техн. наук, проф.

**Відповідальний секретар:** Є. В. Басова, канд. техн. наук, доц.

**Члени редколегії:** С.С. Добротворський, д-р техн. наук, проф.; О.А. Мельніченко, д-р техн. наук, проф.; О.Я. Мовшович, д-р техн. наук, проф.; О.А. Пермяков, д-р техн. наук, проф.; Ю.А. Сизий, д-р техн. наук, проф.; Д.В. Сталінський, д-р техн. наук.; М.С. Степанов, д-р техн. наук, проф.; В.А. Фадєєв, д-р техн. наук, проф.; В.Д. Хіщан, д-р техн. наук, проф.; О.М. Шелковий, д-р техн. наук, проф.

*У квітні 2013 р. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Технології в машинобудуванні», включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)**.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».  
Протокол № 4 від 24 «квітня» 2015р.

Н.Р. Веселовська

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ВЕРСТАТНОГО КОМПЛЕКСУ З ЧПК В АЛЬТЕРНАТИВНИХ СИТУАЦІЯХ

Розроблені математичні моделі для обґрунтування алгоритмів прийняття рішення при діагностуванні верстатного комплексу з ЧПК в альтернативних ситуаціях та отримані математичні описи інформаційних процесів при прийнятті рішення. Підкреслено, що проблема прийняття рішення складає суть будь-якої цілеспрямованої людської діяльності. Розроблена загальна структурна схема алгоритму прийняття рішення, а також алгоритму моделювання процесу діагностування, який повно відображає роботу всієї системи та включає в себе достатню кількість параметрів, забезпечує отримання статистичних даних про функціонування ОД (моделі), реагує на всі зміни в системі, відповідає всім вимогам простоти його використання при складанні програмного забезпечення. На основі якісного аналізу математичних моделей синтезовано та досліджено критерії, які алгоритмізують отримання оптимальних параметрів при застосуванні їх в промисловому виробництві.

**Ключевые слова:** математична модель, діагностування, верстатний комплекс з ЧПК, математичні описи, інформаційні процеси, алгоритм моделювання, програмне забезпечення, промислове виробництво.

**Вступ.** Комплексна автоматизація технологічних процесів вже давно є одним з найважливіших напрямків розвитку складних технологічних систем. Для останніх десятиріч характерний значний прогрес в автоматизації масового і багатосерійного виробництва машин, складальних одиниць і деталей в різноманітних галузях промисловості.

В галузі машинобудування за останні роки відбулися вагомні технічні і організаційні зміни, які пов'язані з появою нових засобів технологічного впливу, створенням нових видів гнучких виробничих систем (ГВС) з трудозберігаючою («безлюдною технологією»), широким і все більше наростаючим впровадженням в сферу виробництва обладнання з програмним керуванням і обчислювальною технікою. Це особливо актуальне для гнучких автоматизованих виробництв, функціонування яких неможливе без суттєвого підвищення надійності та ефективності складного прецизійного обладнання, а в першу чергу металорізальних верстатів. З одного боку – це високоєфективні машини, в яких впроваджено багато досягнень науки та техніки. З другого – це машини, які призначені для виготовлення та обробки деталей інших машин. Сам верстат перетворився на сучасному етапі в складний автоматизований агрегат з широкими можливостями для виконання різноманітних технологічних операцій, з використанням великої кількості різного інструменту та керуванням за допомогою електронно-обчислювальної машини (ЕОМ).

В сучасних умовах актуальною є задача проведення дослідних випробувань верстатів та вибору критерію оцінювання ефективності прийняття рішення про підвищення надійності технологічного облад-

нання при проведенні діагностування та якості деталей, які обробляються. При таких випробуваннях повинна бути перевірена результативність прийнятих рішень, вказані найбільш ефективні шляхи досягнення рівня якості та ефективності. В сучасному машинобудуванні основу гнучких виробничих систем складають верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), які забезпечують виконання різноманітних технологічних операцій металообробки.

Важливою є проблема розробки та використання засобів та методів технічного діагностування верстатного комплексу з ЧПК і математичних моделей для обґрунтування алгоритмів прийняття рішень при діагностуванні цього обладнання з метою підвищення ефективності і надійності роботи комплексу та якості деталей, які обробляються на ньому. Вирішення цієї актуальної проблеми пропонується автором.

### Основна частина.

#### 1. Алгоритм прийняття рішення як статистична задача перевірки гіпотез

Універсальність процедури прийняття рішень і математичного апарату, що застосовується при цьому, дозволяє в однакової мірі використати викладений нижче матеріал як при розробці структурної схеми взаємодії людини з технічними засобами, так і при виборі комплексу технічних засобів, кращого алгоритму рішення, критерію оцінки ефективності.

Проблема прийняття рішення складає суть будь-якої цілеспрямованої людської діяльності. При цьому для ситуацій, в яких відбувається вибір рішень, характерно:

1) Наявність цілі (цілей). Очевидно, що за відсутності цілі не виникає необхідності прийняття будь-якого рішення;

2) Наявність альтернативних ліній поведінки, тобто рішення приймаються в умовах, коли існує більше одного засобу досягнення поставленої мети;

3) Наявність обмежуючих факторів, які представляються трьома основними групами: економічні, технічні і соціальні фактори.

Отже, процес прийняття рішення – це перетворення вхідної інформації в вихідну. Загальну постановку задачі прийняття рішення можна сформулювати на основі: при заданих значеннях і характеристиках фіксованих неконтрольованих факторів  $A_1, A_2, \dots, A_p, Y_1, Y_2, \dots, Y_q$  з урахуванням невизначених факторів  $Z_1, Z_2, \dots, Z_r$  знайти оптимальні значення

$X_{1opt}, X_{2opt}, \dots, X_{topr}$  з областей  $\Omega_{X1}, \Omega_{X2}, \dots, \Omega_{Xl}$  їх допустимих значень, що подавали б максимуму (мінімуму) критерію оптимальності  $F \rightarrow \max(\min)$ .

Всю безліч проблем, що супроводжує будь-який процес прийняття рішень, умовно можна поділити на два класи: проблеми концептуального характеру, до яких відносяться складні логічні проблеми, і проблеми формально-математичного і обчислювального характеру, що грають допоміжну роль, як засіб полегшуючий і організуючий евристичну діяльність людей. Алгоритм прийняття рішень, в загальному випадку, є правилом, що ставить у відповідність кожному результату спостережень рішення, яке приймається. Структура простору можливих рішень може бути умовно визначена наступними ситуаціями: двоальтернативною, три альтернативною або багатоальтернативною, що вимагає прийняття одного з багатьох рішень. Функції витрат, що виникають при помилкових рішеннях, об'єктивно вибрати неможливо. При спробах виконання, відразу ж з'являються суб'єктивні елементи і потрібно припускати, що однозначного вибору немає. Однак відмітимо, що вказана трудність притаманна всім областям теорії, в якій модель узгоджується з реальною дійсністю, і тому всі неточності в визначенні функції витрат можна відносити до похибок побудови моделі. Проведемо дослідження алгоритмів прийняття рішень в альтернативних ситуаціях.

## 2. Математична модель алгоритму прийняття рішень в двоальтернативній ситуації

### 2.1. Оцінка статистичних характеристик (часу спостереження математичного сподівання, дисперсії)

Рішення при діагностуванні приймаються на основі аналізу поведінки вхідного параметра  $X_i$  за деякий проміжок часу  $(0, T)$ . Параметр  $X_i$  - це суміш повідомлень і адитивної випадкової стаціонарної завади. Практика показує, що тільки сингулярність вхідного процесу дозволяє миттєво приймати рішення про відповідність  $m[x(t)]$  стану 0-1 з вірогідністю 1. (В подальшому будуть розглядатися регулярні проце-

си, поведінку яких передбачити з будь-якою заданою ймовірністю неможливо).

Обмежуючися розглядом адитивного і незалежного шуму, уявимо що приймаються дані СД у вигляді

$$x(t) = s(t) + \xi(x), \quad (1)$$

де  $s(t)$  – функція повідомлення  $\begin{cases} M_0[s(t)] = 0 \\ M_1[s(t)] = a \end{cases}$ ,  $\xi(t)$  –

функція завади  $M[\xi(t)] = 0$ .

Иходячи з того, що кінцевість часу спостереження  $0 < T < \infty$  не дозволяє точно визначити  $M[x(t)]$  в реальних випадках математичне сподівання оцінюватимемо величиною

$$M[x(t)] = M[\xi(t)] + \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t) dt, \quad (2)$$

де  $M[\xi(t)]$  - математичне сподівання завади;  $T$  - час спостереження.

Алгоритм визначення математичного сподівання (2) реалізується СД, при  $T \rightarrow \infty, M_{cm}[\xi(t)] \rightarrow M[\xi(t)] \rightarrow 0$  і при  $T \rightarrow \infty, M_{cm}[x(t)] \rightarrow M[s(t)] \rightarrow \begin{cases} 0 \\ a \end{cases}$ .

Визначимо дисперсію математичного сподівання  $\sigma_{c\xi}^2$ : якщо існує в сенсі Римана інтеграл випадково-

го процесу  $c = \int_a^\infty x(t) dt$  для кожної функції  $x(t)$ , то він

визначає деяке випадкове число  $c$ , якщо інтеграл не існує, то операцію інтегрування можна визначити у вигляді:

$$\lim M \left\{ \left[ c - \sum_{i=1}^n x(t_i) \Delta t_i \right]^2 \right\}, \Delta t_i \rightarrow 0, \quad (3)$$

де  $c$  - визначається як межа суми або як інтеграл від  $x(t)$  в середньоквадратичному сенсі.

Середнє значення  $c$ :

$$M(c) = \int_a^b M[x(t)] dt = \int_a^b \mu_x(t) dt, \quad (4)$$

$$c^2 = \int_a^b x(t_1) dt_1 \int_a^b x(t_2) dt_2 = \int_{aa}^{bb} x(t_1) x(t_2) dt_1 dt_2.$$

Тоді

$$M(c^2) = \int_{aa}^{bb} M[x(t_1) x(t_2)] dt_1 dt_2 = \int_{aa}^{bb} R_x(t_1, t_2) dt_1 dt_2. \quad (5)$$

Враховуючи, що

$$R_{ox}(t_1, t_2) = R_x(t_1, t_2) - \mu_x(t_1) \mu_x(t_2),$$

дисперсію можна визначити в вигляді

$$\sigma_c^2 = \int_{aa}^{bb} \int_{aa}^{bb} [R_x(t_1, t_2) - \mu_x(t_1) \mu_x(t_2)] dt_1 dt_2 = \int_{aa}^{bb} R_{ox}(t_1, t_2) dt_1 dt_2. \quad (6)$$

## 2.2. Формулювання двоальтернативної задачі прийняття рішення

Основний принцип двоальтернативної процедури зводиться до визначення стану параметра: «норма» - «немає норми». Умови задачі припускають апріорне знання: вигляду розподілу ОД; стаціонарності ОД і завад в процесі діагностування; апріорної ймовірності появи ситуації «немає норми»- $P_0$ , «норма»- $P_1$ ; платаної матриці функції витрат і вирашів при прийнятті помилкового і правильного рішення; функції витрат, які вносяться при прийнятті рішення і що визначаються неточністю процесу діагностування; аддитивності сигналу і завади; автокореляційної функції завади [36-37,46,53,60]. Результатом рішення задачі повинно передбачатися визначення оптимальних параметрів СД: часу прийняття рішення про віднесення

$x(t)$  до  $\begin{cases} x_0(t) \\ x_1(t) \end{cases}$ ; грубості діагностування; еталонного

значення  $m_c$  параметра  $x(t)$ ; ефективності процедури прийняття рішення. Оптимальність вказаних параметрів розглядається з позицій існування декількох можливих критеріїв, або відсутності апріорних відомостей, що визначаються наявністю векторів  $\mathbf{X}(t), \mathbf{U}(t)$ . Визначення умовних ймовірностей помилок, що виникають в двоальтернативній ситуації, зводиться до обчислення інтегралів, наведених в третьому розділі, де помилка першого роду (умовна «неправдива тривога»), а помилка другого роду (умовний «пропуск сигналу»). Враховуючи, що з лінійності операції визначення математичного сподівання функцій  $x_0(t), x_1(t)$  і диференціальні закони розподілу ймовірностей  $W_0(x), W_1(x)$ - нормальні, вирази для визначення дисперсії математичного сподівання (6), послідовно запишемо:

$$\alpha = \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_0^2}(m - m_0)^2\right] dm \quad (7)$$

$$= \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{m^2}{\frac{4T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm,$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_0^2}(m - m_0)^2\right] dm \quad (8)$$

$$= \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m-a)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm.$$

Знання апріорних ймовірностей рішень «норма»- $P_1$  і «немає норми» -  $P_0=1-P_1$ , дозволяє визначити апостеріорні ймовірності помилкових рішень:  $P_{01}$  -

апостеріорну ймовірність помилки типу «пропуск сигналу»,  $P_{10}$  - апостеріорну ймовірність помилки типу «неправдива тривога». Враховуючи елементи платаної матриці

$$L = \begin{pmatrix} L_{00} & L_{01} \\ L_{10} & L_{11} \end{pmatrix},$$

де  $L_{00}$  - плата при помилковому рішенні типу «пропуск мети»;  $L_{01}$ - плата при помилковому рішенні типу «неправдива тривога»;  $L_{10}$  - плата при правильному рішенні типу «ціль відсутня»;  $L_{11}$ - плата при правильному рішенні типу «ціль виявлена», ризик (витрати), що вносяться при прийнятті рішень, має вигляд:

$$r_0 = L_{01} \cdot P_1 \cdot \beta + L_{10} \cdot P_0 \cdot \alpha =$$

$$= L_{01} \cdot P_1 \cdot \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{m^2}{\frac{4T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm +$$

$$+ L_{10} \cdot (1 - P_1) \times$$

$$\times \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m-a)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm.$$

Аналізуючи вираз (9) можна визначити можливі напрямки зниження ризику  $r$ : збільшення часу контролю  $T$ ; збільшення рівня сигналу «немає норми»; вибір еталонного, порогового значення  $m$ . Вартісні витрати, які вносяться старінням інформації, виражаються функціональною залежністю:

$$W_T(T) = Q_T T^{\mu_T}, \quad (10)$$

де  $W_T(T)$  – витрати із-за старіння інформації;  $\mu_T$  - коефіцієнт, що визначається виглядом діагностування;  $Q_T$  - коефіцієнт просторів час-вартість.

Вартісні витрати, що визначаються межею рівня сигналу  $m=a$ , в загальному випадку, представляються в вигляді

$$W_a(a) = Q_a a^{\mu_a}. \quad (11)$$

де  $W_a(a)$  – витрати що визначаються неточністю при формуванні рівня сигналу, який діагностується  $a$ ;  $\mu_a$  - коефіцієнт, що визначається виглядом діагностування;  $Q_a$  - коефіцієнт просторів рівнів діагностування-вартість.

Апріорні знання про означені витрати, що викликаються неточністю діагностування, можуть бути визначені тільки областю існування прийнятої неточності діагностування. При спільному розгляді виразів (9) - (11) з'являється ситуація, в якій повинні бути оптимально перерозподілені витрати в процесі діагностування: помилки, що виникають при діагностуванні, нешвидкодія і неточність СД. Враховуючи, що вимірності  $r_0, W_T(T), W_a(a)$  однакові, природним критерієм оптимізації системи діагностування параметру можна вважати критерій

$$R = r_0 + W_T(T) + W_a(a), \quad (12)$$

де  $R$ - повний ризик при контролюванні параметра.

Критерій (12) являє собою різновид критерію Байеса, розповсюджений на систему діагностування з

урахуванням витрат, що викликаються старінням інформації і неточністю діагностування. Підставивши (9-11) в (12), одержимо критерій у вигляді:

$$R = L_{01} \cdot P_1 \times \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{m^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm + L_{10} \cdot (1-P_1) \times \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m-a)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm + Q_{T^{\mu T}} + Q_a a^{\mu a} \quad (13)$$

де аргументами є технічні параметри системи діагностування:  $m_c$  - еталонне значення порогу параметра  $x$ , що діагностується;  $T$  - час діагностування;  $a$  - рівень стану параметра  $S_1(t)$ .

Відзначимо, що кількість аргументів може змінюватися в залежності від повноти апріорних знань (наприклад, може виявитися невідомою апріорна ймовірність появи сигналу «немає норми»- $P$ ). Мінімізуючи функціонал  $R$ , можна визначити оптимальні технічні параметри системи  $m_c$ ,  $T$ ,  $a$ , при яких витрати експлуатації системи будуть самими дешевими у вартісному відображенні. Доцільність застосування СД продиктована тим, що в процесі діагностування існує ймовірність прийняття правильного рішення про стан параметра  $x_i(0-1)$ . При цьому умовні ймовірності правильних рішень мають вигляд:

$$\gamma = \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{m_x^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm = 1 - \alpha = 1 - \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{m^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm. \quad (14)$$

$$\delta = \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m-a)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm = 1 - \beta = 1 - \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m-a)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm. \quad (15)$$

де  $\gamma$  - умовна ймовірність правильного рішення про стан «норма»,  $\delta$  - умовна ймовірність правильного рішення про стан «немає норми».

Повні надходження в вартісному відображенні з урахуванням апріорної ймовірності появи відмови (немає норми)  $P_0$  і платіжної матриці мають вигляд

$$W_p = L_{00}(1-P_1)\gamma + L_{11}P_1\delta, \quad (16)$$

де  $L_{00}$  - надходження при прийнятті правильного рішення про стан «норма»,  $L_{11}$  - надходження при прийнятті правильного рішення про стан «немає норми».

З урахуванням (16), (9) - (11) можна розрахувати чистий виграш при діагностуванні деякого параметра

$$W_b = W_p - R = L_{00}(1-P_1)\gamma + L_{11}P_1\delta - L_{01}P_1\beta - L_{10}(1-P_1)\alpha - Q_{T^{\mu T}} - Q_a a^{\mu a}. \quad (17)$$

Припустивши, що діагностування параметру  $x$  є грою «проти природи» з початковою нульовою сумою, можемо вважати, не втрачаючи загальності, що

$$|L_{00}| = |L_{10}|; |L_{11}| = |L_{01}|. \quad (18)$$

При цьому

$$W_b = L_{01}(1-P_1)(1-\alpha) + L_{10}P_1(1-\beta) - L_{10}P_1\beta - L_{01}(1-P_1)\alpha - Q_{T^{\mu T}} - Q_a a^{\mu a} = L_{01}(1-P_1) + L_{10}P_1 - 2L_{01}(1-P_1)\alpha - 2L_{10}P_1\beta - Q_{T^{\mu T}} - Q_a a^{\mu a}. \quad (19)$$

### 2.3. Алгоритм оцінювання ефективності прийняття рішень при двоальтернативному діагностуванні

ОД оцінюється співвідношенням ефективність-вартість в вигляді

$$\mathcal{E}(t, \tau) = \frac{I_{\max}(t, \tau) \cdot C_{\min}(t, \tau)}{C_p(t, \tau)}. \quad (20)$$

Кількість інформації, отримана в процесі діагностування, визначається параметрами системи і апріорними відомостями про параметр  $x_i$ , що діагностується. При цьому початкова ентропія параметра

$$H_0 = -P_0 \log_2 P_0 - (1-P_0) \log_2 (1-P_0). \quad (21)$$

В результаті діагностування, ентропія  $H$  зменшується до рівня що визначається співвідношенням

$$H_1 = -P_0 \log_2 P_0 - P_b \log_2 P_b = -[P_0 \alpha + (1-P_0)\beta] \log_2 [P_0 \alpha + (1-P_0)\beta] - \{1 - [P_0 \alpha + (1-P_0)\beta]\} \log_2 \{1 - [P_0 \alpha + (1-P_0)\beta]\}. \quad (22)$$

$\alpha, \beta$  - визначаються за формулами (7) - (8) відповідно.

Тоді повна інформація, одержана в результаті діагностування, буде мати вигляд (23)

$$\begin{aligned}
I = & H_0 - H_1 = -P_0 \cdot \log_2 P_0 - (1-P_0) \cdot \log_2 (1-P_0) + \\
& + \left\{ P_0 \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{m^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm + \right. \\
& + (1-P_0) \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m-a)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm \times \\
& \times \log_2 \left( P_0 \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{m^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm + \right. \\
& + (1-P_0) \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m-a)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm + \\
& + \left. \left\{ 1-P_0 \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{m^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm + \right. \right. \\
& + (1-P_0) \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m-a)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm \times \\
& \times \log_2 \left( 1-P_0 \int_{m_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{m^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm + \right. \\
& \left. \left. + (1-P_0) \int_{-\infty}^{m_c} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m-a)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{\tau} \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_{0\zeta}(\tau) d\tau} \right] dm \right\} \right\} \quad (23)
\end{aligned}$$

де аргументами будуть виступати:  $P$  - апіорна ймовірність появи стану «норма»;  $m$  - еталонне значення порогу «норма»-«немає норми»;  $T$  - час діагностування;  $m_c$  - поточне значення  $M[x(t)]$ .

Наведені критерії і алгоритми прийняття рішення про віднесення стану деякого параметра  $x$  об'єкта діагностування до категорії «норма» і «немає норми». Ефективність використання відомостей про стан параметрів вектора об'єкта  $X$  визначається двома основними факторами: якістю програми перевірки діагностування і якістю засобів, що реалізують програму. Тому для визначення ефективності найбільш придатним є (2.14). Програма перевірки - складний логічний експеримент для перетворення інформації, яка виділяється в результаті вимірювань (прийняття рішень) станів параметрів  $x_i (0 \leq i \leq m), u_i (0 \leq i \leq s)$ .

Результатом перевірки є визначення ймовірності виконання задачі об'єктом. Подібні логічні задачі відносяться до класу задач, які розглядаються в спеціальних розділах технічної діагностики і в даній роботі не розглядатимуться.

### 3. Математична модель алгоритму прийняття рішення в три альтернативній (багатоальтернативній) ситуації

#### 3.1. Триальтернативна ситуація прийняття рішення як статистична задача

Кількість видів повідомлень в триальтернативній ситуації  $n=3$ , тобто при прийнятті рішення в вигляді: «норма»-«більше»-«менше». Сигнал на вході СД спостерігається деякий час  $T$  у вигляді корисного повідомлення і завади. Так як і в попередньому розділі припустимо, що завада стаціонарний процес, впливає на систему діагностування незалежно від повідомлення і змішується з повідомленням адитивно.

Відомо, що виділення корисних повідомлень в триальтернативній ситуації представляється в вигляді статистичної задачі, яка відповідає перевірці елементарної складної гіпотези.

Далі припускати, що на вхід СД надходить сигнал вигляду

$$x_i(t) = s_i(t) + \xi_i(t), \quad (24)$$

де  $s_i(t)$  - функція повідомлення;  $\xi_i(t)$  - випадкова функція завади з нормальним законом розподілу.

Математичне сподівання сигналу  $x_i(t)$  може набувати значень

$$\begin{aligned}
M_0[x_i(t)] &= 0, S_i(t) = 0, \\
M_a[x_i(t)] &= a, S_i(t) = a, \\
M_b[x_i(t)] &= -b, S_i(t) = -b
\end{aligned} \quad (25)$$

$$M_{ct}[x_i(t)] = M_{ct}[\xi_i(t)] + \begin{vmatrix} 0 \\ a, -b \end{vmatrix} \frac{1}{T} \int_0^T \xi_i(t) dt + \begin{vmatrix} 0 \\ a, -b \end{vmatrix} \quad (26)$$

де  $M_{ct}[\xi_i(t)]$  - математичне сподівання завади, визначене за вибіркою з обсягом  $T$ . Дисперсію завади можна визначити за формулою (6).

При прийнятті рішення про віднесення класу сигналу до однієї гіпотези типу «норма», «більше», «менше» можливі наступні помилки: 1) прийнята гіпотеза «норма» при передачі повідомлення «більше»; 2) прийнята гіпотеза «норма» при передачі повідомлення «менше»; 3) прийнята гіпотеза «менше» при передачі повідомлення «норма»; 4) прийнята гіпотеза «менше» при передачі повідомлення «більше»; 5) прийнята гіпотеза «більше» при передачі повідомлення «норма»; 6) прийнята гіпотеза «більше» при передачі повідомлення «менше».

Відповідно до означених помилок, визначають відповідні безумовні ймовірності помилок  $P_{0+}, P_{0-}, P_{-0}, P_{-+}, P_{+0}, P_{+-}$ . Безумовні ймовірності правильних рішень при цьому природно позначити:  $P_{00}$  - вірне прийняття повідомлення «норма»,  $P_{++}$  - вірне прийняття повідомлення «більше»,  $P_{--}$  - вірне прийняття повідомлення «менше». Апіорні ймовірності позначатимемо:  $P_0$  - апіорна ймовірність повідомлення «норма»;  $P_+$  - апіорна ймовірність повідомлення «більше»;  $P_-$  - апіорна ймовірність повідомлення «менше». Окрім цього, до апіорних



відомостей потрібно віднести знання платіжної матриці

$$L = \begin{pmatrix} L_{00}L_{0+}L_{0-} \\ L_{++}L_{+0}L_{+-} \\ L_{--}L_{-0}L_{-+} \end{pmatrix}, \quad (27)$$

де  $L_{00}$  - позитивна плата при правильному прийнятті повідомлення «норма»,  $L_{++}$  - позитивна плата при правильному прийнятті повідомлення «більше»,  $L_{--}$  - позитивна плата при правильному прийнятті повідомлення «менше»,  $L_{0+}$  - негативна плата при помилковому прийнятті гіпотези «норма» замість гіпотези «більше»,  $L_{0-}$  - негативна плата при помилковому прийнятті гіпотези «норма» замість гіпотези «менше»,  $L_{+0}$  - негативна плата при помилковому прийнятті гіпотези «більше» замість гіпотези «норма»,  $L_{+-}$  - негативна плата при помилковому прийнятті гіпотези «більше» замість гіпотези «менше»,  $L_{-0}$  - негативна плата при помилковому прийнятті гіпотези «менше» замість гіпотези «норма»,  $L_{-+}$  - негативна плата при помилковому прийнятті гіпотези «менше» замість гіпотези «більше».

Як апіорні відомості слід оцінювати задання функцій витрат, (аналогічно (10) - (11)), які вносяться:

1) старінням інформації  $W_T(T) = Q_T \cdot T^{\mu T}$  ;

2) витратами, пов'язаними з неточністю вимірювань станів «менше», «більше»:  $W_a(a) = Q_a \cdot a^{\mu a}$ ,  
 $W_b(b) = Q_b \cdot b^{\mu b}$

### 3.2. Оцінка умовних імовірностей, ризику і виграшу при прийнятті рішення при триальтернативному діагностуванні

Визначаючи аналогічно платаній матриці, умовні імовірності помилок, можливих при прийнятті рішення про відповідність вхідного сигналу гіпотезі «норма», «більше», «менше» отримаємо:

1)  $q_{0+} = \int_{m_-}^{m_+} W_+(m) dm$  - умовна ймовірність прийняття гіпотези «норма» при передачі повідомлення «більше»;

2)  $q_{+-} = \int_{m_-}^{m_+} W_-(m) dm$  - умовна ймовірність прийняття гіпотези «норма» при передачі повідомлення «менше»;

3)  $q_{-0} = \int_{-\infty}^{m_-} W_0(m) dm$  - умовна ймовірність прийняття гіпотези «менше» при передачі повідомлення «норма»;

4)  $q_{+0} = \int_{m_+}^{\infty} W_0(m) dm$  - умовна ймовірність прийняття гіпотези «більше» при передачі повідомлення «норма»;

5)  $q_{-+} = \int_{-\infty}^{m_-} W_+(m) dm$  - умовна ймовірність прийняття гіпотези «менше» при передачі повідомлення «більше»;

6)  $q_{+-} = \int_{m_+}^{\infty} W_-(m) dm$  - умовна ймовірність прийняття гіпотези «більше» при передачі повідомлення «менше»;

7)  $q_{00} = \int_{m_-}^{m_+} W_0(m) dm$  - умовна ймовірність правильного прийняття гіпотези «норма»;

8)  $q_{++} = \int_{m_+}^{\infty} W_+(m) dm$  - умовна ймовірність правильного прийняття гіпотези «більше»;

9)  $q_{--} = \int_{-\infty}^{m_-} W_-(m) dm$  - умовна ймовірність правильного прийняття гіпотези «менше».

Вважаючи відомими апіорні імовірності повідомлень «норма», «більше», «менше» ( $P_0, P_+, P_-$ ) і знаючи, що закон щільності розподілу статистичного математичного сподівання має вигляд [13-17]

$$W(m) = \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{m^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau} \right], \quad (28)$$

визначаємо апостеріорні імовірності помилок (29-35):

$$P_{0+} = P_+ q_{0+} = P_+ \int_{m_-}^{m_+} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m+a)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau} \right] dm ;$$

$$P_{0-} = P_- q_{0-} = P_- \int_{m_-}^{m_+} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m-b)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau} \right] dm ;$$

$$P_{-0} = P_0 q_{-0} = P_0 \int_{-\infty}^{m_-} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{m^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau} \right] dm ;$$

$$P_{+0} = P_0 q_{+0} = P_0 \int_{m_+}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{m^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau} \right] dm ;$$

$$P = P q = P \int \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m+a)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau} \right] dm ;$$

$$P_{+-} = P_- q_{+-} = P_- \int_{m_+}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp \left[ -\frac{(m-b)^2}{\frac{4 T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau} \right] dm ;$$

$$P_{-+} = P_{+q_{-+}} = P_{+} \int_{-\infty}^{m_{-}} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m+a)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm;$$

і апостеріорні ймовірності правильних рішень (35-37):

$$P_{00} = P_{0q_{00}} = P_{0} \int_{-\infty}^{m_{-}} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{m^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm;$$

$$P_{++} = P_{+q_{++}} = P_{+} \int_{m_{+}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m+a)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm;$$

$$P_{--} = P_{-q_{--}} = P_{-} \int_{-\infty}^{m_{-}} \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}} \exp\left[-\frac{(m-b)^2}{\frac{4T}{T} \int_0^{1-\frac{\tau}{T}} R_{0\xi}(\tau) d\tau}\right] dm;$$

Враховуючи елементи платаної матриці (27), що визначають витрати і надходження, які вносяться тим або іншим типом помилкових і правильних рішень, визначимо повний ризик і повні надходження при експлуатації триальтернативної СТД з корекцією діагностування

$$r = L_{0+} P_{0+} + L_{0-} P_{0-} + L_{-0} P_{-0} + L_{+0} P_{+0} + L_{+-} P_{+-} + L_{-+} P_{-+} \quad (38)$$

де  $r$  - ризик, який вноситься помилковими рішеннями, а  $\Pi = L_{00} P_{00} + L_{--} P_{--} + L_{++} P_{++}$  - надходження при прийнятті правильних рішень.

Аналіз (38) дозволяє визначити можливі напрями зниження ризику: збільшення часу спостереження (обсягу вибірки)  $T$ ; збільшення неточності діагностування («відстані»  $m_{+}$  і  $m_{-}$ ); вибір оптимальних еталонних значень  $m_{+}$ ,  $m_{-}$ . Повний ризик при прийнятті рішення і повні надходження при діагностуванні відповідно мають вигляд:

$$R = r + W_T(T) + W_a(a) + W_b(b), \quad (39)$$

$$\Pi = L_{00} P_{00} \int_{-\infty}^{m_{+}} W_0(m) dm + L_{++} P_{++} \int_{m_{+}}^{\infty} W_{+}(m) dm + L_{--} P_{--} \int_{-\infty}^{m_{-}} W_{-}(m) dm. \quad (40)$$

Вигідність застосування СД визначається як різниця між надходженнями та ризиком

$$W_B = \Pi - R = L_{00} P_{00} \int_{-\infty}^{m_{+}} W_0(m) dm + L_{++} P_{++} \int_{m_{+}}^{\infty} W_{+}(m) dm + L_{--} P_{--} \int_{-\infty}^{m_{-}} W_{-}(m) dm - L_{0+} P_{+} \int_{-\infty}^{m_{+}} W_{+}(m) dm - L_{-0} P_{-} \int_{-\infty}^{m_{-}} W_{-}(m) dm - L_{+0} P_{0} \int_{-\infty}^{m_{-}} W_0(m) dm - L_{+-} P_{+} \int_{m_{+}}^{\infty} W_{+}(m) dm - L_{-+} P_{-} \int_{-\infty}^{m_{-}} W_{-}(m) dm - W_T(T) - W_a(a) - W_b(b). \quad (41)$$

### 3.3. Оцінка ентропії і інформації при прийнятті рішення в триальтернативній ситуації

В процесі діагностування в момент, що передуює прийняттю рішення, відомості про стан об'єкта характеризуються невизначенністю, початковою ентропією (інформацією). При цьому початкова ентропія визначається тільки апіорними ймовірнісними характеристиками об'єкта діагностування і цілком не залежить від засобу діагностування. Наприклад, якщо відомі апіорні ймовірності станів «норма», «більше», «менше», то початкова ентропія має вигляд

$$H_0 = -P_0 \log_2 P_0 - P_{+} \log_2 P_{+} - P_{-} \log_2 P_{-}. \quad (42)$$

Максимум початкової ентропії досягається при  $P_0 = P_{+} = P_{-} = \frac{1}{3}$  в силу простору подій  $P_0 + P_{+} + P_{-} = 1$ . В результаті виконання триальтернативного діагностування ентропія стану параметра об'єкта, що діагностується зменшується і досягає деякого нового значення  $H$ . Значення кінцевої ентропії  $H$  визначаються, в свою чергу, ймовірностями помилкових і правильних рішень при прийнятті гіпотез

$$H_1 = -P_0 \log_2 P_0 - P_V \log_2 P_V. \quad (43)$$

Ймовірність виникнення помилки при виконанні діагностування дорівнює сумі апостеріорних ймовірностей помилок, а ймовірність правильних рішень визначається:

$$P_{vem} = P_0 \int_{m_{-}}^{m_{+}} W_0(m) dm + P_{+} \int_{m_{+}}^{\infty} W_{+}(m) dm + P_{-} \int_{-\infty}^{m_{-}} W_{-}(m) dm. \quad (44)$$

### 3.4. Дослідження алгоритму прийняття рішення при триальтернативному діагностуванні

В основу побудови алгоритму покладені найбільш узагальнюючі характеристики діагностування: інформація і вартість. Ефективність прийнятого рішення при вимірюванні з інформаційної точки зору можна обчислити так:

$$E_i = \frac{I}{I_{\max}} = \frac{I}{\sup H_0} = \frac{\sup H_0 - H_1}{\sup H_0}. \quad (45)$$

При цьому: 1)  $E_i = 1$  - для ідеальної процедури прийняття рішення; 2)  $0 < E_i < 1$  - для реальної процедури прийняття рішення; 3)  $E_i$  - для процедури, що не дасть рішення або внесе дезінформацію.

Пропускна спроможність (швидкодія) СД оцінюється інформаційним критерієм, перевагою якого є його спроможність оцінки динамічної ефективності і можливість порівняння декількох СД за їх пропускну спроможністю. Однак критерій має істотний недолік - неможливість вибору оптимальних параметрів СД, що є наслідком відсутності екстремуму (45). Екстремум можна відшукати тільки при накладенні на (45) обмежень. При цьому, у випадку лінійних обмежень, маємо задачу лінійного програ-

мування [116], а у випадку нелінійних - задачу нелінійного програмування.

**Висновки.** Відмічено, що в залежності від вигляду прийнятого рішення в істотній мірі залежить ефективність роботи всього комплексу: «об'єкт-система діагностування». Зроблено висновок, що синтез алгоритмів прийняття рішень СД базується на математичній теорії перевірки гіпотез і теорії інформації, а критерії формуються як конкретно поставлені оптимізаційні задачі.

Розроблені математичні моделі для обґрунтування алгоритмів прийняття рішення при діагностуванні верстатного комплексу з ЧПК в альтернативних ситуаціях та отримані математичні описи інформаційних процесів при прийнятті рішення. Підкреслено, що проблема прийняття рішення складає суть будь-якої цілеспрямованої людської діяльності. Розроблена загальна структурна схема алгоритму прийняття рішення, а також алгоритму моделювання процесу діагностування, який повно відображає роботу всієї системи та включає в себе достатню кількість параметрів, забезпечує отримання статистичних даних про функціонування ОД (моделі), реагує на всі зміни в системі, відповідає всім вимогам простоти його використання при складанні програмного забезпечення. Досліджено, що алгоритм прийняття рішення в статистичній задачі залежить від трьох елементів: класу щільності розподілу  $W(x)$ , якому за припущенням належить спостереження  $X$ ; структури простору можливих рішень  $Y$ ; форми функції витрат  $L_{01}$ ,  $L_{10}$  і виграшів  $L_{11}$ ,  $L_{00}$ , а структура простору можливих рішень може бути умовно визначена наступними ситуаціями: двоальтернативною, триальтернативною і (або) багатоальтернативною, що вимагає прийняття одного з багатьох рішень. На основі якісного аналізу математичних моделей синтезовано та досліджено критерії, які алгоритмізують отримання оптимальних параметрів при застосуванні їх в промисловому виробництві.

**Список літератури:** 1. Franksen O.I Structural Aspects of Control-lability and Observability-. Tensorial Aggregation, Franklin Institute, journal, 1979, vol 308 No2, P. 79 - 104. 2. Красовский А.А. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами/ А.А.Красовский, В.Н.Буков, В.С. Шендрик // - М.: Наука, 1977, - 272с. 3. Кафаров В.В. Иерархическая модель и квазидинамический алгоритм оптимизации качества продукции дискретно-непрерывных химико-технологических систем / В.В.Кафаров, В.П.Мешалкин, А.М.Федосеев, А.И.Черепанов // Док. Академии наук СССР, 1983, том 270, No 3. - С. 145 - 160. 4. Пузырев В.А. Управление технологическими процессами производства микроэлектронных приборов / В.А.Пузырев // - М.: Радио и связь, 1984, - 160с. 5. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров // - М.: Химия, 1971, - 496 с. 6. Кунцевич В.М. О решении дискретных матричных уравнений Ляпунова, Риккати и их обобщений / В.М.Кунцевич, М.М.Лычак // Кибернетика No 3, 1980, - с. 13-18. 7. Лысогор В.Н. Опыт разработки и внедрения АСУ ТП производства электродного кокса в аппаратах периодического действия / В.Н.Лысогор // - М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1979, - 60с. 8. Веселовська Н.Р. Математична модель системи "Об'єкт діагностування-система діагностування" для автоматизованої системи технологічного обладнання / Н.Р. Веселовська // Вісник ВДСГП. – Випуск No2.-1998.- С.147-151. 9. Кузьмін І.Б. О

создании АСУ периодическими технологическими процессами / И.Б.Кузьмин, В.Н.Лысогор // Тезисы докладов: IX Всесоюзное совещание по проблемам управления. Ереван, 1983, - С. 349-350. 10. Кузьмин И.В. Модель стресса в человеко-машинных системах / И.В. Кузьмин // В кн. Информационные и моделирующие системы в электронике и электроэнергетике, Киев.: Наукова думка, 1980. - С. 190 - 202. 11. И.В.Кузьмин. Оценка эффективности и оптимизация автоматизированных систем контроля и управления / Кузьмин И.В. // - М.: Советское радио, 1971, - 294с. 12. Райевд К.А. Декомпозиция линейной модели объекта управления / К.А. Райевд // Труды Таллинского политехнического института. В кн. Расчет и проектирование систем технической кибернетики. Таллин, 1983, - с. 41-54. 13. Габелко К.Н. Последовательное улучшение многоэтапных процессов/ К.Н.Габелко // Автоматика и телемеханика No 12, 1974,- С.72 - 80. 14. Кузьмін І.В. Синтез алгоритму прийняття рішення в багатоальтернативній ситуації / І.В. Кузьмін, Н.Р. Веселовська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.- No3. -1998.- С. 107-110. 15. Основы моделирования сложных систем. Под ред. И.Б.Кузьмина, Киев.: Вища школа, 1981. - 360 с. 16. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами. Под ред. Т.Харрисона, I том.- М.: Мир, 1975. - 530 с. 17. Сейдж Э.П. Оптимальное управление системами / Э.П. Сейдж, Ч.С. Уайт // - М.: Радио и связь, 1982. - 392с. 18. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон // - М.: «Мир», 1978.- 418 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Franksen O. I *Structural Aspects of Control-lability and Observability*. Tensorial Aggregation, Franklin Institute, journal, 1979, vol 308, No. 2, P. 79-104. 2. A. Krasovskiy, V. N. Beeches, V. S. Shendrik. *Universal algorithms of optimal control of continuous processes* - Moscow: Nauka, 1977, - 272 p. 3. The AK. V. V. Kafarov, V. P. Meshalkin, A. M. Fedoseev, A. I. Cherepanov. *The hierarchical model and quotidianamente algorithm optimization of product quality discrete-continuous chemical-technological systems*. Doc. Acad. of Sciences of the USSR, 1983, vol 270, No. 3. P.145 – 160. 4. V. Puzyrev. *Management of technological processes in the production of microelectronic devices*. - Moscow: Radio and communication, 1984, - 160 p. 5. V. V. Kafarov. *Methods of Cybernetics in chemistry and chemical technology*. - Moscow: Chemistry, 1971, - 496 p. 6. 24. V. M. Kuntsevich, M. M. Lychak. *The solution of the discrete Lyapunov matrix equations, Riccati and their generalizations*. Cybernetics, No. 3, 1980, P. 13-18. 7. V. N. Lisogor. *Experience in the development and implementation of automated process control system for production of electrode coke in the apparatus of periodic action*. - Moscow: Tsiiteneftehim, 1979, - 60 p. 8. Veselovska N. P. *Mathematical model of the system "Ob CT Dagestana system Dagestana" for automatizovano systems technologiczne namely*. - the Bulletin VDSG. - Issue No. 2.-1998.- P. 147-151. 9. I. B. Kuzmin, V. N. Lisogor. *About ACS periodic technological processes. Abstracts: IX all-Union conference on problems of management*. Yerevan, 1983, P. 349-350. 10. I. V. Kuzmin. *A model of stress in human-machine systems* - In proc. Information and modeling systems in electronics and power engineering, Kiev.: Naukova Dumka, 1980, P. 190 – 202. 11. I. V. Kuzmin. *Performance evaluation and optimization of automated systems of control and management*. - Moscow: Soviet radio, 1971, - 294 p. 12. K. A. Rigaud. *Decomposition of the linear model of the control object*. *Proceedings of the Tallinn Polytechnic Institute*. In proc. Calculation and design systems engineering Cybernetics. Tallinn, 1983, P. 41-54. 13. K. N. Gabelko. *Gradual improvement of multi-stage processes*. *Automation and remote control*. No. 12, 1974, P. 72-80. 14. Cousin I. In. Veselovska N. P. *The synthesis algorithm pinatta Committee in bagatellisation situat Vimruntime obsoletely machinery in technologiczny behaviors*. - No. 3. -1998.-P. 107-110. 15. *Basic modeling of complex systems*. Edited by I. B. Kuzmin, Kiev.: High school, 1981. - 360 p. 16. *Control computers in automated control systems of technological processes*. Edited by T. Harrison, I volume.- Moscow: Mir, 1975, - 530 p. 17. E. P. Sage And C. S. White. *Optimal control systems*.- Moscow: Radio and communication, 1982, - 392 p. 18. Shannon R. *System simulation - the art and science*.- Moscow: Mir, 1978.- 418 p.

Поступила (received) 14.03.2015

**Веселовська Наталія Ростиславівна** – док. техн. наук, проф. ВНТУ, Вінниця