Як засвідчили результати виконання програми, процес складання розкладу піддається реальній автоматизації. Отриманий розклад за своїми показниками еквівалентний до розкладу, побудованому людиною-спеціалістом.

1. Яцишин Ю.В., Чип І.Є. Математична модель планування навчального процесу у вищому навчальному закладі: постановка задачі//Вісник ДУ "Львівська політехніка", 1998. — № 330. — С. 269-273. 2. Верес О.М. Алгоритм укладання розкладу навчальних занять у ВНЗ. // Вісник ДУ "Львівська політехніка", 1998 — № 330. — С. 40-51. 3. Івашків А.М., Литвин В.В. Проблема класифікації інтелектуальних інформаційних систем. — там само. 4. Литвин В.В. Формальна модель інтелектуальної інформаційної системи // Вісник ДУ "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології", 1999. — № 386. — С. 104-108. 5. Литвин В.В., Бакаїм Р.Б., Процовський О.Й., Садовий В.М., Шаховська Н.Б., Шаховський Р.В. Основні принципи та функціональне наповнення інформаційної системи "Школа" для автоматизації управління навчальним процесом // Вісник ДУ "Львівська політехніка", 1999. — № 383. — С. 145-149.

УДК 62-523.8

Д.Є.Марунчак, М.О.Марков
НУ "Львівська політехніка",
кафедра автоматизованих систем управління

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАДІЙНОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ НА СТРУКТУРНОМУ РІВНІ

© *Д.Є.Марунчак, М.О.Марков, 2000*

Main reliability characteristics including failure rate under various availability conditions are calculated for a computer local area network having a structure of a ramified unsymmetric system.

Розрахунок надійнісних характеристик є дуже важливим під час розробки і впровадження у виробництво систем різного роду. Розрахунок надійності є доволі складним через багатофакторність і загальну статистичну природу цього явища, саме через це дуже корисним є застосування обчислювальної техніки для розв'язання цих задач. Крім того, як продовження цього розрахунку, економічний ефект також будується на основі надійнісних характеристик, а в сучасних умовах економічний ефект є вирішальним для впровадження.

Топологія комп'ютерної мережі показана на рис. 1.

Мережа складається з виділеного файл-сервера та 23 робочих станцій, які з'єднуються за допомогою стандартних концентраторів або комутаторів, які між собою сполучені по внутрішній високошвидкісній шині. З точки зору надійності цю систему можна представити як ієрархічну розгалужену систему (рис. 2).

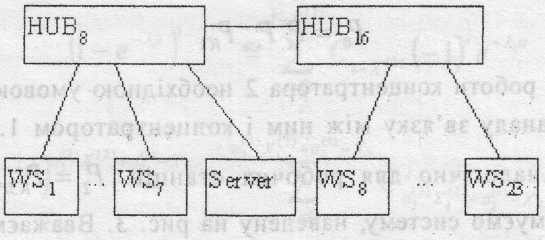

Рис. 1. Топологія мережі

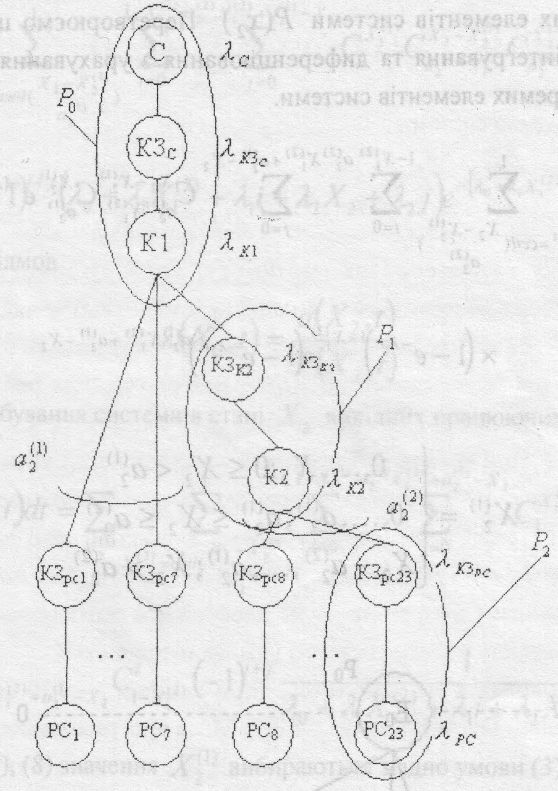

Рис. 2. Ієрархічна розгалужена система

Згідно з таким представленням при відмові сервера мережа повністю втрачає працездатність. Для розрахунку надійності використовуємо значення ймовірностей безвідмовної праці окремих елементів системи, які визначаються згідно з експоненційним законом надійності. Це зумовлено тим, що з деяким наближенням можна вважати елементи комп'ютерної мережі нестаріючими на робочій ділянці. Крім того, перед розрахунком застосовуємо метод згортки, оснований на законах теорії ймовірності. Зважаючи на структуру системи, можемо зробити такий висновок: для роботи всієї мережі необхідною умовою є праця сервера, канала зв'язку сервера та концентратора 1. Отже, ці три елементи можна представити як один, перемноживши їх ймовірності праці.

$$P_0 = P_C \cdot P_{кзс} P_{K1} \tag{1}$$

Аналогічно для роботи концентратора 2 необхідною умовою є робота самого концентратора та каналу зв'язку між ним і концентратором 1. Отже, згортаємо $P_1 = P_{КЗК1-К2} P_{К2}$. Аналогічно для робочих станцій $P_2 = P_{КЗРС} \cdot P_{РС}$. На основі вищесказаного отримуємо систему, наведену на рис. 3. Вважаємо, що всі станції однотипні і відповідно канали зв'язку також.

Проведемо розрахунок характеристик надійності даної системи на основі твірної функції. Відомий рекурентний вираз для розрахунку розподілу ймовірностей числа вихідних працюючих елементів системи $P(x_2)$. Перетворюємо цей вираз у вигляд, прийнятніший для інтегрування та диференціювання з урахуванням експоненційного закону надійності окремих елементів системи.

$$P(x_2,t) = \sum_{X_2^{(1)}} \sum_{X_1^{(2)}=ceil\left(\frac{X_2-X_2^{(1)}}{a_2^{(2)}}\right)}^{1} \sum_{i=0}^{1-X_1^{(2)}a_2^{(2)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} \sum_{j=0}^{} C_{a_2^{(2)}X_1^{(2)}}^{X_2-X_2^{(1)}} C_{a_2^{(1)}}^{X_2^{(1)}} e^{-(\lambda_0+\lambda_1 X_1^{(2)}+\lambda_2 X_2)t} \times$$

$$\times \left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{1-X_1^{(2)}} \left(1-e^{-\lambda_2 t}\right)^{a_2^{(1)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} \tag{2}$$

де

$$X_2^{(1)} = \begin{cases} 0,\ldots,X_2; 0 \le X_2 < a_2^{(1)} \\ 0,\ldots,a_2^{(1)}; a_2^{(1)} \le X_2 \le a_2^{(2)} \\ X_2 - a_2^{(2)},\ldots,a_2^{(1)}; X_2 > a_2^{(2)} \end{cases} \tag{3}$$

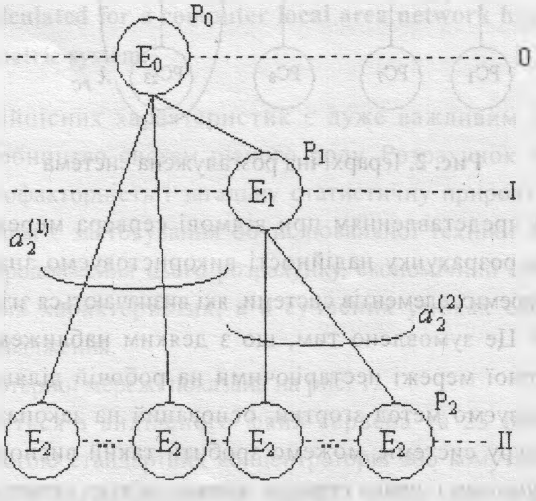

Рис. 3. Розгалужена система з обходом через рівень

$$\left(1-e^{-\lambda_1 t}\right)^{1-X_1^{(2)}} = \sum_{i=0}^{1-X_1^{(2)}} C^i_{1-X_1^{(2)}} (-1)^i e^{-\lambda_1 it} \tag{4}$$

$$\left(1-e^{-\lambda_2 t}\right)^{a_2^{(2)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} = \sum_{j=0}^{a_2^{(2)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} C^j_{a_2^{(2)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} (-1)^j e^{-\lambda_2 jt} \tag{5}$$

На основі (2) запишемо функцію ненадійності $Q(X_2,t)=1-P(X_2,t)$. Відповідно частота відмов $a(X_2,t)=Q'(X_2,t)=-P'(X_2,t)$

$$a(X_2,t)=\sum_{X_2^{(1)}}\sum_{X_1^{(2)}=ceil\left(\frac{X_2-X_2^{(1)}}{a_2^{(2)}}\right)}^{1}\sum_{i=0}^{1-X_1^{(2)}}\sum_{j=0}^{a_2^{(2)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} C_1^{X_1^{(2)}} C^{X_2-X_2^{(1)}}_{a_2^{(2)}*X_1^{(2)}} C^{X_2^{(1)}}_{a_2^{(1)}} C^j_{a_2^{(2)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} \times$$

$$\times C^i_{1-X_1^{(2)}} (-1)^{i+j}\left(\lambda_0+\lambda_1 X_1^{(2)}+\lambda_1 i+\lambda_2 X_2+\lambda_2 j\right) e^{-\left(\lambda_0+\lambda_1 X_1^{(2)}+\lambda_1 i+\lambda_2 X_2+\lambda_2 j\right)t} \tag{6}$$

Інтенсивність відмов

$$\lambda(X_2,t)=\frac{a(X_2,t)}{P(X_2,t)} \tag{7}$$

Тривалість перебування системи в стані X_2 вихідних працюючих елементів

$$T(X_2)=\int_0^\infty P(X_2,t)dt=\sum_{X_2^{(1)}}\sum_{X_1^{(2)}=ceil\left(\frac{X_2-X_2^{(1)}}{a_2^{(2)}}\right)}^{1}\sum_{i=0}^{1-X_1^{(2)}}\sum_{j=0}^{a_2^{(2)}X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} C_1^{X_1^{(2)}} C^{X_2-X_2^{(1)}}_{a_2^{(2)}*X_1^{(2)}} C^{X_2^{(1)}}_{a_2^{(1)}} \times$$

$$\times C^j_{a_2^{(2)}*X_1^{(2)}+a_2^{(1)}-X_2} C^i_{1-X_1^{(2)}} (-1)^{i+j} \frac{1}{\lambda_0+\lambda_1 X_1^{(2)}+\lambda_1 i+\lambda_2 X_2+\lambda_2 j} \tag{8}$$

У виразах (6), (7), (8) значення $X_2^{(1)}$ вибираються згідно умови (3).

Всі п'ять характеристик приведені для випадку $a_2^{(1)} \le a_2^{(2)}$. Якщо ця умова не виконується, зміниться умова визначення $X_2^{(1)}$ (3). Отже для $a_2^{(1)} > a_2^{(2)}$

$$X_2^{(1)}=\begin{cases} 0,\ldots,X_2; X_2 \le a_2^{(2)} \\ X_2-a_2^{(2)},\ldots,X_2; a_2^{(2)} < X_2 \le a_2^{(1)} \\ X_2-a_2^{(2)},\ldots,a_2^{(1)}; X_2 > a_2^{(1)} \end{cases} \tag{9}$$

Загалом зміна саме цих умов потрібна для автоматизації розрахунків. На основі попередніх розрахунків можна знайти характеристики системи за умови готовності K.

Ймовірність того, що в системі не менше K вихідних елементів працює, вирахуємо з виразу

$$P_c(X_2 \geq K) = \sum_{X_2=K}^{a_2^{(1)}+a_2^{(2)}} P(X_2) \tag{10}$$

Відповідно ймовірність відмови системи, при умові готовності K, дорівнює

$$Q_c(X_2 \geq K) = 1 - P_c(X_2 \geq K) = 1 - \sum_{X_2=K}^{a_2^{(1)}+a_2^{(2)}} P(X_2) = 1 - \sum_{X_2=K}^{a_2^{(1)}+a_2^{(2)}} (1 - Q(X_2)) = 1 + \sum_{X_2=K}^{a_2^{(1)}+a_2^{(2)}} (Q(X_2) - 1) \tag{11}$$

Частота відмов системи при заданій умові готовності K

$$a_c(X_2 \geq K) = \sum_{X_2=K}^{a_2^{(1)}+a_2^{(2)}} a(X_2, t) \tag{12}$$

Інтенсивність відмов системи

$$\lambda_c(X_2 \geq K) = \frac{a_c(X_2 \geq K)}{P_c(X_2 \geq K)} \tag{13}$$

Для розрахунку характеристик надійності комп'ютерної мережі надійнісні характеристики сервера розраховуємо, виходячи з середнього часу напрацювання на відмову — 3 роки безперервної роботи, що еквівалентне T_c =26298 год. Для концентраторів — 1 рік безперервної роботи T_K = 8766 год. Для робочої станції — 1 рік роботи по 16 годин на добу T_{PC} =5844 год. Для каналу зв'язку [2] – провідники $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-8}$ (1/год). При коефіцієнті поправки на стаціонарні умови експлуатації K=10 одержимо $\lambda = K\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-7}$ (1/год) і відповідно T_{K3} =5000000 год. При таких вхідних даних для згорнутої (трирівневої) структури рис. 3 вихідні дані для розрахунків такі: $T_0 = 6565{,}87$ год. $T_1 = 8750{,}66$ год. $T_2 = 5837{,}18$ год. Всі подальші розрахунки проведені для цих даних. Єдині зміни — це коефіцієнти розгалуження до другого рівня $a_2^{(1)}$ і $a_2^{(2)}$, час (тривалість роботи системи) і умова готовності K.

Розрахунок проводився на комп'ютері Intel Pentium — 120 з 16 Mb оперативної пам'яті, під управлінням ОС Windows 95 OSR 2. Мова програмування Borland Delphi 3.0.

На рис. 4. наведені три розподіли ймовірностей числа вихідних працюючих елементів системи $P(X_2, t)$ при $a_2^{(1)}$=7, $a_2^{(2)}$=16 для t_1=1500 год., t_2=3000 год. і t_3=4500 год. (відповідно криві t_1, t_2, t_3). На рис. 5 подано розподіли ймовірностей числа вихідних працюючих елементів системи для 1500 год. при $a_2^{(1)}$=7, $a_2^{(2)}$=16 (крива 1) та $a_2^{(1)}$=15, $a_2^{(2)}$=8 (крива 2). На рис.6 показано розподіли тривалостей перебування системи в кожному із можливих станів $T(X_2)$ для систем 1 і 2. На рис.7 наведено характеристики надійності системи 1 $P_c(X_2 \geq K)$ для різних умов готовності K — 21, 22, 23. На рис. 8 — функції частоти відмов системи 1 $a_c(X_2 \geq K)$ для різних умов готовності системи. На рис. 9 подано функції інтенсивності відмов системи 1 $\lambda_c(X_2 \geq K)$ для різних умов готовності системи.

На основі розроблених алгоритмів і комплексу програм можна визначити всі характеристики мережі. Крім того розроблена методика дає можливість аналогічним

чином досліджувати характеристики надійності будь-яких розгалужених систем з простим підпорядкуванням і деяких розгалужених систем зі складним підпорядкуванням.

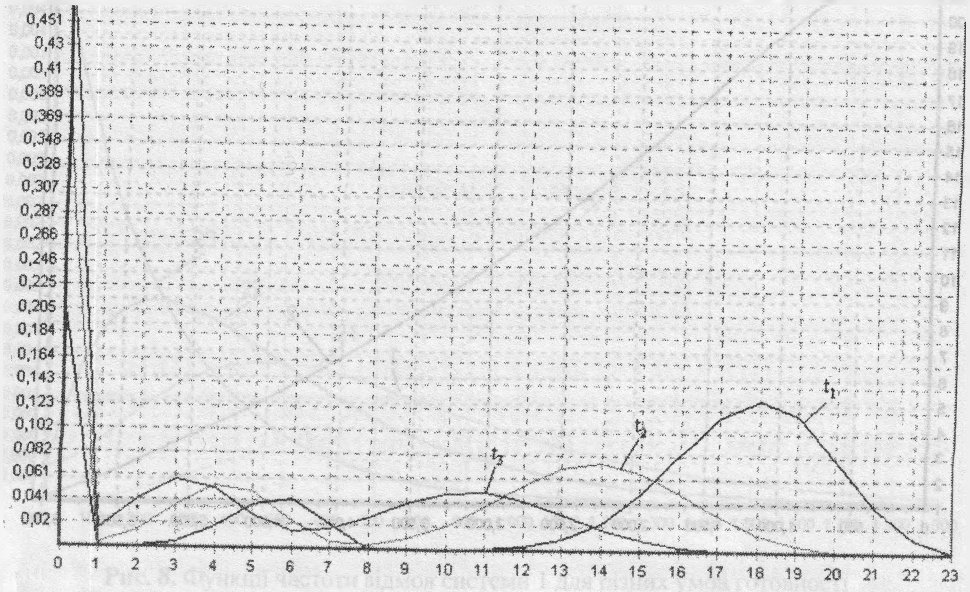

Рис. 4. Розподіли ймовірностей $P(x_2,t)$ при $a_2^{(1)}=7; a_2^{(2)}=16$ для t_1=1500 год. , t_2=3000 год. ,t_3 = 4500 год.

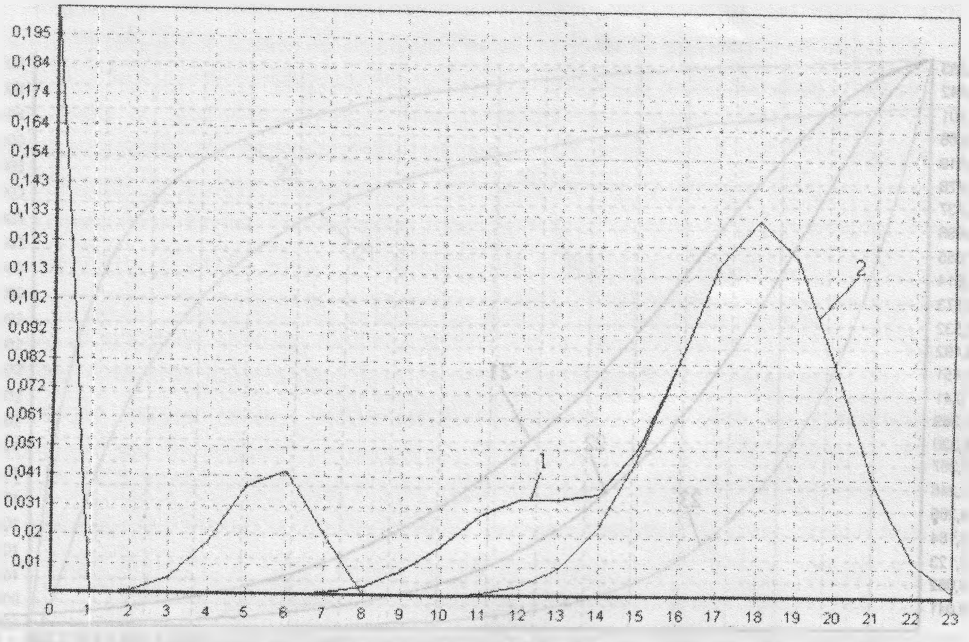

Рис. 5. Розподіли ймовірностей $P(x_2,t)$ для 1500 год. при $a_2^{(1)}=7, a_2^{(2)}=16-(1)$ та $a_2^{(1)}=15, a_2^{(2)}=8-(2)$

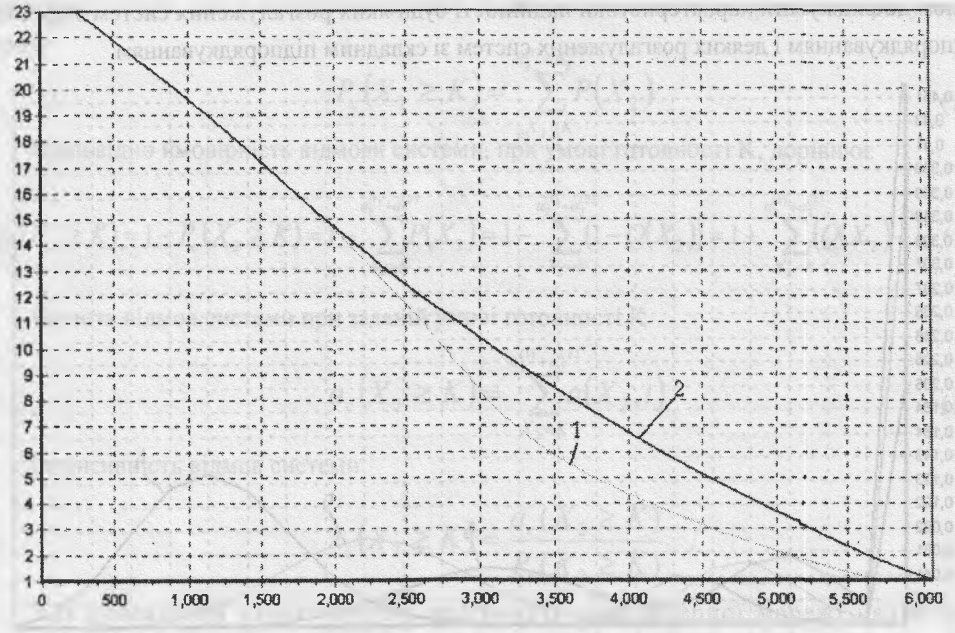

Рис. 6. Розподіли середньої тривалості роботи $T(x_2)$ для систем (1) та (2)

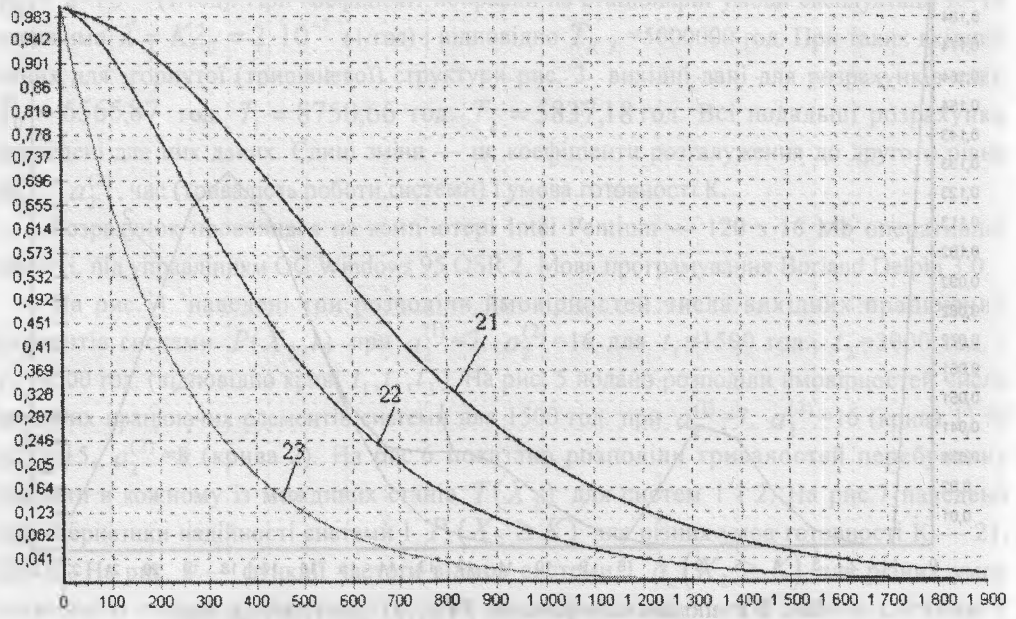

Рис. 7. Характеристики надійності системи 1 для різних умов готовності

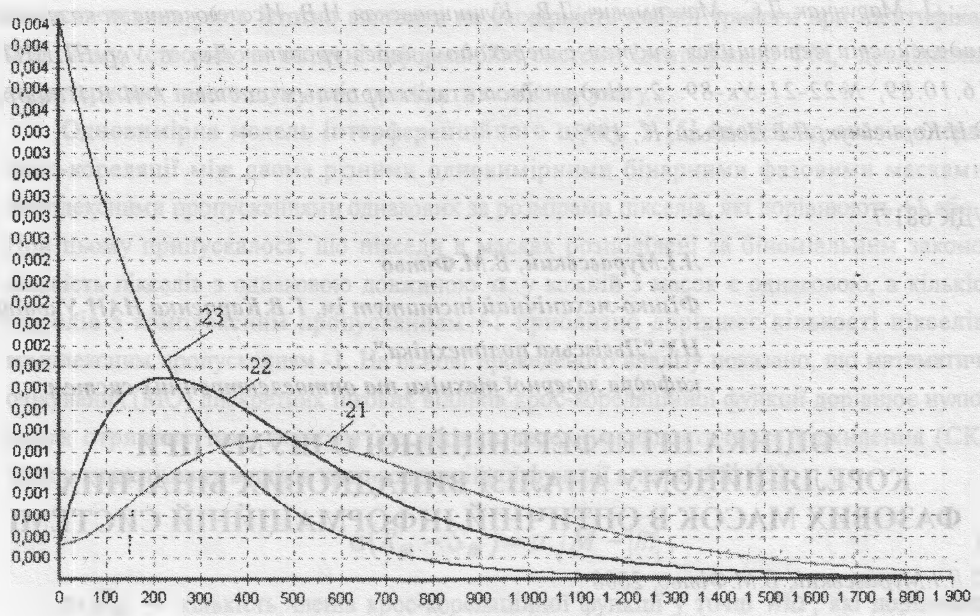

Рис. 8. Функції частоти відмов системи 1 для різних умов готовності

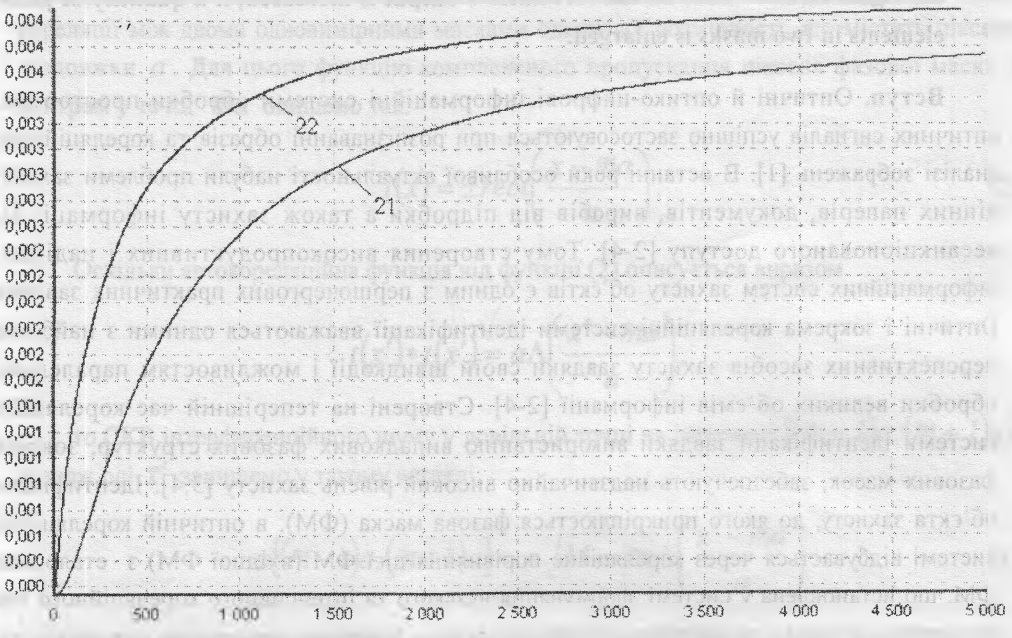

Рис. 9. Функції інтенсивності відмов системи 1 для різних умов готовності

1. Марунчак Д.Є., Максимович Л.В., Кушнировская Н.В. Исследование показателей надежности ветвящихся систем с переходом через уровень. Деп. в Укр.НИИНТИ 16.10.89, №22-21-Ук-89. 2. Надежность электронных систем / И.В.Пацюра, В.И.Корнейчук, Л.В.Довбыш. К., 1997.

УДК 681.7

Л.І.Муравський, В.М.Фітьо

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України

НУ "Львівська політехніка",

кафедра лазерної техніки та оптоелектронних систем

ОЦІНКА ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО ШУМУ ПРИ КОРЕЛЯЦІЙНОМУ АНАЛІЗІ ВИПАДКОВИХ БІНАРНИХ ФАЗОВИХ МАСОК В ОПТИЧНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

© Л.І.Муравський, В.М.Фітьо, 2000

It is considered the models of an interference noise producing as a result of a cross-correlation of two random binary phase masks consisted of phase elements with binomial spatial distribution. The process of an interference noise producing on the first diffraction order of the joint transform correlator is analyzed. It is shown, that the signal-to-noise ratio on the correlator's output is increased, if a quantity of phase elements in two masks is enlarged.

Вступ. Оптичні й оптико-цифрові інформаційні системи обробки просторових оптичних сигналів успішно застосовуються при розпізнаванні образів та кореляційному аналізі зображень [1]. В останні роки особливої актуальності набули проблеми захисту цінних паперів, документів, виробів від підробки а також захисту інформації від несанкціонованого доступу [2-4]. Тому створення високопродуктивних і надійних інформаційних систем захисту об'єктів є одним з першочергових практичних завдань. Оптичні і зокрема кореляційні системи ідентифікації вважаються одними з найбільш перспективних засобів захисту завдяки своїй швидкодії і можливостям паралельної обробки великих об'ємів інформації [2-4]. Створені на теперішній час кореляційні системи ідентифікації завдяки використанню випадкових фазових структур, зокрема фазових масок, забезпечують надзвичайно високий рівень захисту [3,4]. Ідентифікація об'єкта захисту, до якого прикріплюється фазова маска (ФМ), в оптичній кореляційній системі відбувається через кореляційне порівняння цієї ФМ (вхідної ФМ) з еталонною ФМ, що встановлена у системі, формування вузького та інтенсивного кореляційного піка на виході системи і порівняння інтенсивності піка з деякою пороговою інтенсивністю, перевищення якої свідчить про автентичність об'єкта захисту. При формуванні кореляційного піка формується також інтерференційний шум, який виникає внаслідок