

УДК 681.327.8:658.012.011.56

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.022127

Ю. В. МЕЛЬНИК, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник;

В. Л. ПАРХОМЕНКО, канд. техн. наук, доцент;

В. В. ПАРХОМЕНКО, ст. викладач;

А. С. ЩЕПАК, здобувач;

С. А. МРОЖИК, магістр,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДОСТАВЛЯННЯ ІНФОРМАЦІЇ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

**Важливою умовою своєчасного доставляння інформації до споживача у високонавантажених системах є існування певного резерву приладів та вчасне їх підімкнення до мережі у разі відмови основних. Надмірна кількість запасних частин, як і їх нестача, призводять до негативних наслідків, тому важливо мати можливість розрахувати оптимальну пропорцію основних та резервних засобів. Особливої актуальності ця тема набуває з огляду на збільшення вимог до надійності системи загалом на фоні зростання кількості її окремих елементів.**

**Ключові слова:** надійність доставляння інформації; телекомунікаційна мережа.

### Вступ

Розв'язання завдання щодо побудови систем оброблення інформації з мінімальними витратами на її реалізацію та експлуатацію потребує системного підходу у процесі визначення параметрів вірогідності, надійності, оперативності передавання та оброблення інформації в кожній із підсистем згаданої системи [2]. Доволі часто на об'єктах значної площі контроль над певними показниками здійснюють через розміщення великої кількості автоматизованих приладів, проектуючи їх місцезнаходження згідно з прийнятими санітарними, пожежними або іншими вимогами. Державні стандарти регламентують, наприклад, кількість приладів на одиницю площі чи приміщень. Отже, створюється ситуація, коли велика кількість приладів має відсилати інформацію до одного контрольного пункту. При цьому надзвичайно важливим є безвідмовність цих приладів та каналів зв'язку як основних, так і резервних. Зважаючи на зазначені фактори, стає очевидним необхідність створення надійних систем для нагромадження даних, механізмів аналізу їх відповідності заявленим вимогам. Оскільки нема як повністю уникнути можливості помилки для будь-якого з приладів під час їх роботи, на етапі проектування розраховують та використовують у подальшому додаткові, резервні прилади, що можуть дублювати роботу основних у разі, якщо позаштатна ситуація з одним із компонентів несе загрозу роботі цілої системи.

### Основна частина

Відома обмежена кількість робіт, в яких зроблено спробу формалізувати процес розрахунків задачі вибору комплексу технічних засобів інформаційних систем [5]. Проте існує багато методів для зменшення відсотку збоїв у роботі розподілених систем. До них належать: збільшення індивідуальної надійності кожного приладу, дублювання каналів зв'язку (проводовий та радіозв'язок), дублювання каналів спостереження (відео, передавачі). Проте зазначені методи потребують внесення змін у систему, яка може бути вже встановлена на підприємстві. Це призводить до значних витрат часу, коштів, а навіть іноді просто не є можливим. Також немає впевненості, що якийсь із цих способів гарантовано значно зменшить вірогідність негативного сценарію для комплексу приладів.

Оскільки для виробництв із високим класом безпеки зволікання на незначний проміжок часу може стати причиною вагомих матеріальних та фінансових втрат, до систем збору та передавання даних, які на них використовуються, висуваються підвищені вимоги. Для більшості подібних програмно-технічних засобів є обов'язковим контроль не менш ніж раз на рік. Також прилад має автоматично здійснювати самостійне тестування мінімум раз на місяць.

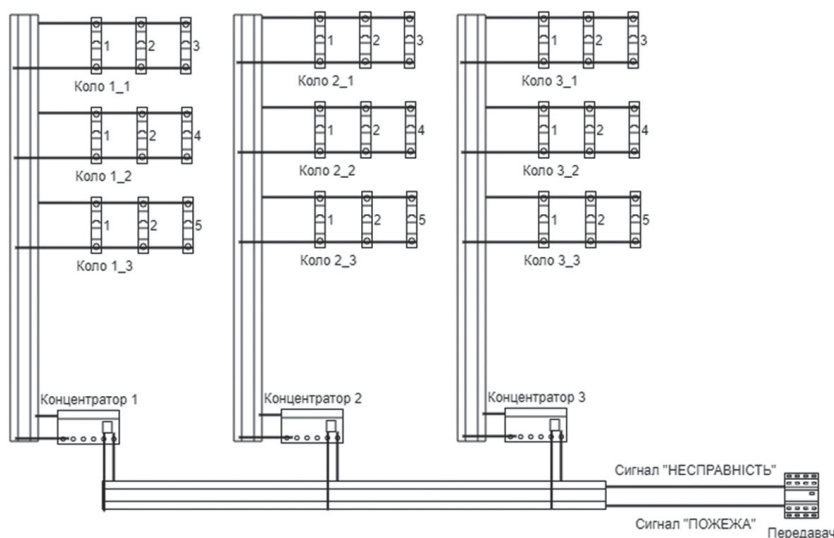
Ключовою характеристикою системи є час оброблення інформації, що напряму залежить від кількості відмов у роботі приладів системи за одиницю часу. Другим важливим показником є швидкість (час) ремонту приладів. Для максимально ефективної протидії відмовам у роботі системи потрібно раціонально її спроектувати. Наперед неможливо визначити кількість збоїв та час, необхідний для налагодження нормальної роботи, на етапі проектування береться до уваги наближене значення. Замовником устанавлюється деяка константа  $\epsilon$ , що дорівнює можливим втратам на виробництві через несвоєчасне

доставляння інформації. Показником можливості системи протистояти неплановим відмовам її елементів є величина  $\eta$  (імовірність доставляння інформації споживачу в установлені технологічним процесом терміни) із попередньо заданим мінімальним рівнем.

Припустимо, об'єкт підвищеної небезпеки складається з трьох виробничих підрозділів: сировинного складу, робочого приміщення та місця зберігання готової продукції. У кожному підрозділі встановлено засоби контролю за певними показниками, деяку кількість із них об'єднано в одне послідовне коло для кожного, далі кожне із замкнених кіл під'єднано до центрального приладу збору та передавання інформації. Зазначені прилади підімкнено до центрального радіопередавача, через який підтримується зв'язок зі станцією контролю (пожежної охорони). У разі надзвичайної ситуації на об'єкті можливі значні збитки, як матеріальні, так і нематеріальні. Інформація має бути доставлена на станцію контролю швидко та в повному обсязі, оскільки за надзвичайної ситуації витрачений час призведе до значного збільшення збитків. Наприклад, для розрізнення тліючого горіння та пилового забруднення інформація збирається та порівнюється за певний проміжок часу (зазвичай 5-10 хв), щоб не пропустити можливе виникнення надзвичайного стану, але і щоб зменшити кількість помилково позитивних аварійних сигналів.

Константа  $\epsilon$  має досить велику вагу під час визначення капітальних та експлуатаційних витрат на створення і забезпечення працездатності інформаційної системи. Може знадобитись деяка кількість резервних приладів для забезпечення здатності системи протистояти неплановим відмовам її елементів. Вони можуть бути застосовані як у «гарячому», так і «холодному» режимі. У першому випадку прилад працює як додатковий поруч з оригінальним у місці розміщення передавача, а в разі його відмови просто замінює собою. Це дає можливість рідше здійснювати заміну приладів, що відпрацювали свій життєвий цикл, проте значно збільшує точність роботи системи. Також із кожним додатковим передавачем вірогідність безвідмовної роботи зростає. Цей підхід задовольняє принцип, коли проектувальник системи намагається створити її з максимальними параметрами вірогідності, надійності і оперативності оброблення інформації, при цьому використовуючи обмежені фінансові та інші ресурси [2]. У другому випадку резервний прилад починає працювати лише в разі неспрацювання зворотного зв'язку під час контролю головного приладу.

Велика кількість приладів різних типів, що збирають і обробляють первинні дані, передають їх до концентраторів, тим самим зменшуючи кількість звернень до пристрою передавання сигналу. Поява забороненої комбінації на пункті приймання інформації свідчить про наявність помилки [3]. Упровадження цифрових систем вимагає від передавачів вищих якісних характеристик порівняно з аналоговими [4]. Відповідно до цифрового передавача сигналу застосовуються підвищені вимоги. План-схему розміщення складових сигналізації — передавачів, пристроїв для концентрації сигналу та приладів для передавання інформації у виробних приміщеннях, унаочнює рис. 1.



**Рис. 1. План-схема сигналізації виробничих приміщень**

До складу інформаційної системи (див. рис. 1) входять передавачі та концентратори, об'єднані в три умовні кола, кожне з яких обслуговує певну виробничу територію. Під номером 1 на рисунку позначено сповіщувачі димові адресні, під номером 2 — сповіщувачі теплові адресні, під номером 3 — сповіщувачі теплові для від'ємних температур повітря, під номером 4 — сповіщувачі ручні адресні, під номером

5 — сповіщувачі ручні. Концентратори використовуються для об'єднання приладів у колі, для з'єднання — кабель вита пара.

У статті досліджується метод забезпечення надійності доставляння інформації розглядуваною системою, визначення оптимальної кількості приладів передавання інформації із використанням формалізованого розрахунку її надійності.

Залежно від значення показника  $\epsilon$  вимоги надійності доставляння інформації можуть призвести до необхідності застосування більшої кількості приладів, ніж цього вимагають державні норми. Проте надмірна кількість пристроїв спричинює збільшення споживання електроенергії, підвищення фінансового навантаження як на етапі їх придбання, так і під час обслуговування, а також може негативно впливати на оперативність оброблення інформації [3]. Отже, оптимальними є кількість  $m$  працюючих приладів та кількість  $r$  приладів резерву, при яких рівняння

$$\eta \geq 1 - \epsilon \quad (1)$$

є істинне, а при кількості приладів  $r - 1$  вже хибне. Розрахунок кількості приладів, що задовольняє ці умови, є критично важливим.

Із зазначеного можливо дійти висновку, що одним із методів забезпечення надійності передавання інформації кінцевому споживачу телекомунікаційних систем є додавання під час проектування додаткових пристроїв з аналогічними властивостями. Зараз цей спосіб широко поширено і використовується як у промисловості, так і в інформаційних системах із високими вимогами до рівня їх надійності [1].

У виробничих умовах повторюється цикл: нормальна робота, збій, ремонт, нормальна робота. Основним показником, що розглядається для вимірювання кількості збоїв, є потік відмов, який характеризується за такими змінними: ординарність, стаціонарність і відсутність післядії. Ординарний потік визначає те, що вірогідність двох чи більше відмов в один і той самий проміжок часу істотно менша за ймовірність одного виходу з ладу. Стаціонарний потік демонструє постійність середньої кількості відмов за рівний проміжок часу. Проте це не виключає випадковості процесу.

Розглянемо основні припущення під час побудови системи з резервом приладів. Система складається з  $N$  послідовно діючих груп приладів. В  $i$ -й групі всі прилади працюють незалежно, кількість працюючих паралельно діючих приладів  $m_i$ , резервних  $r_i$ . Потік аварійних відмов приладів  $i$ -ї групи пуассонівський із параметром  $\lambda_i$ . Час відновлення роботи кожного приладу  $i$ -ї групи  $\tau_i$ . Величина  $\tau_i$  розподілена за показниковим законом із параметром  $E\tau^{(i)} = \frac{1}{\mu_i}$ .

Якщо пристрої  $m_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ , уможливають передавання необхідного обсягу інформації за час  $T$ , то виконання рівняння (1) вимагає наявності резервних приладів, що дасть змогу весь час мати  $m_i$  працюючих пристроїв під час передавання інформації. Прилади, які в одиницю часу працюють у кількості  $m_i$ , у сумі дають потік відмов  $\lambda_i m_i$ .

Кількість довільних елементів системи, що за певний проміжок часу  $t$  втратили працездатність, можна подати функцією  $\xi_i(t)$ , тоді у разі виконання умови

$$\lambda_i m_i / \mu_i = \rho_i < 1 \quad (2)$$

марковський процес  $\xi_i(t)$  буде мати єдине стаціонарне розподілення [4]. Його можна описати за формулою

$$P_0^i = 1 - \rho_i, \quad P_k^i = \rho_i^k (1 - \rho_i), \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (3)$$

де  $P_k^i = P\{\xi_i(t) = k\}$ .

Отже, резерв пристроїв  $r_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , має бути вибрано так, щоб був вірним вираз

$$\prod_{i=1}^N P\left\{\max_{0 \leq t \leq t_i} \xi_i(t) \leq r_i\right\} \geq 1 - \epsilon, \quad (4)$$

де  $t_i = \frac{V}{m_i c_i}$ ;  $c_i$  — швидкість оброблення інформації пристроєм.

Час перемикання для всіх приладів і вимог задається однаковим і дорівнює  $\Delta T$  [7]. Таким чином, доводимо до задачі визначення поширення випадкових величин  $\max \xi_i(t)$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ . Для цієї задачі є два відомі методи розв'язання. У першому випадку потрібно вирішити систему лінійних диференціальних рівнянь із великою кількістю невідомих, а в другому — необхідно розв'язати алгебраїчні рівняння високого ступеня. Скористаємось другим методом.

Із (3) випливає, що

$$P\left\{\max_{0 \leq t \leq t_i} \xi_i(t) \leq r_i\right\} = \sum_{k=0}^{r_i} \rho_i^k (1 - \rho_i) \times P\left\{\max_{0 \leq t \leq t_i} \xi_i(t) \leq r_i \mid \xi_i(0) = k\right\} = (1 - \rho_i) \sum_{k=0}^{r_i} \rho_i^k P(\theta_{k, r_i+1}^i > t_i), \quad (5)$$

де  $\theta_{k, l}^i$  при  $k < l$  дорівнює моменту першого досягнення рівня  $l$  процесом  $\xi_i(t)$ , що виходить зі стану  $k$ . Задача зводиться до відшукування на всьому проміжку  $k = 1, 2, 3, \dots, r_i$  розподілення випадкової величини  $\theta_{k, r_i+1}^i$ ,  $k = 0, 1, \dots, r_i$ .

Для подальших розрахунків індекс  $i$ , що визначає порядковий номер групи пристроїв, доцільно опустити. Проведемо перетворення Лапласа для величини  $\theta_{k,r_i+1}$ :

$$\varphi_k^{(r+1)}(s) = Ee^{-s\theta_{k,r+1}}, \quad k = 0, 1, \dots, r.$$

Відомо, що за  $\varphi_k^{(r+1)}(s)$  однозначно відновлюється функція розподілення випадкової величини  $\theta_{k,r+1}$ . А отже, виходячи з її визначення, можна вивести, що функції  $\varphi_k^{(r+1)}(s)$ ,  $k = 0, 1, \dots, r$ , задовольняють наступне рівняння при  $r = 0$ :

$$\varphi_0^{(1)}(s) = \frac{m\lambda}{m\lambda + s}; \tag{6}$$

при  $r \geq 1$ :

$$\varphi_0^{(r+1)}(s) = \frac{m\lambda}{m\lambda + s} \varphi_1^{(r+1)}(s), \quad \varphi_k^{(r+1)}(s) = \frac{m\lambda}{m\lambda + s + \mu} \varphi_{k+1}^{(r+1)}(s) + \frac{\mu}{m\lambda + s + \mu} \varphi_{k-1}^{(r+1)}(s), \quad k = 1, 2, \dots, r-1, \tag{7}$$

$$\varphi_k^{(r+1)}(s) = \frac{m\lambda}{m\lambda + s + \mu} + \frac{\mu}{m\lambda + s + \mu} \varphi_{r-1}^{(r+1)}(s).$$

Після розв'язання системи рівнянь (7), дістанемо:

$$\varphi_k^{(r+1)} = \frac{\Delta_k^{(r+1)}}{\Delta^{(r+1)}}, \quad r = 0, 1, \dots, \quad k = 0, 1, \dots, r, \tag{8}$$

де  $\Delta_k^{(r+1)}(s)$ ,  $\Delta^{(r+1)}(s)$  — поліном ступеня  $r$ ,  $r+1$ . Нехай  $\Delta^{(r+1)}(s) = \alpha_0 \prod_{l=1}^L (s - s_l^{\alpha_l})$ , де  $s_l$ ,  $l = 0, 1, \dots, L$  — корені, що можуть бути комплексні, полінома  $\Delta^{(r+1)}(s)$ ;  $\alpha_l$ ,  $l = 0, 1, \dots, L$  — кратності відповідних коренів. Тоді перетворення Лапласа функції  $\varphi_k^{(r+1)}(s)$  набирає вигляду

$$f_k^{(r+1)}(t) = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^{\alpha_l} H_{l,j}^{(r+1),k} t^{\alpha_l-j} e^{s_l t}, \quad t \geq 0, \tag{9}$$

де

$$H_{l,j}^{(r+1),k} = \frac{1}{(j-1)!(\alpha_l - j)!} \frac{d^{j-1}}{ds^{j-1}} \times \left[ \frac{(s - s_l)^{\alpha_l} \Delta_k^{(r+1)}(s)}{\Delta^{(r+1)}(s)} \right]_{s=s_l}.$$

Це дає змогу формулу (5) переписати у вигляді:

$$P \left\{ \max_{0 \leq t \leq T} \xi(t) \leq r \right\} = (1 - \rho) \sum_{k=0}^r \rho^k \int_t^{\infty} f_k^{(r+1)}(t) dt. \tag{10}$$

У подальшому для  $r = 0$  дістанемо:

$$P \left\{ \max_{0 \leq t \leq T} \xi(t) \leq 0 \right\} = \left( 1 - \frac{\lambda m}{\mu} \right) e^{-m\lambda T} \geq 1 - \varepsilon, \tag{11}$$

де  $T = \frac{V}{m\epsilon}$ .

Для  $r = 1$ :

$$P \left\{ \max_{0 \leq t \leq T} \xi(t) \leq 1 \right\} = \left( 1 - \frac{\lambda m}{\mu} \right) \left( F_0^{(2)}(T) + \frac{\lambda m}{\mu} F_1^{(2)}(T) \right) \geq 1 - \varepsilon, \tag{12}$$

де

$$F_0^{(2)}(T) = \frac{\lambda^2 m^2}{s_2 - s_1} \left( \frac{1}{s_1} e^{s_1 T} - \frac{1}{s_2} e^{s_2 T} \right), \quad F_1^{(2)}(T) = \frac{\lambda m}{s_2 - s_1} \left( \frac{s_1 + m\lambda}{s_1} e^{s_1 T} - \frac{s_2 + m\lambda}{s_2} e^{s_2 T} \right),$$

$$s_1 = - \left( m\lambda + \frac{\mu}{2} \right) + \sqrt{\mu m\lambda + \frac{\mu^2}{4}}, \quad s_2 = - \left( m\lambda + \frac{\mu}{2} \right) - \sqrt{\mu m\lambda + \frac{\mu^2}{4}}.$$

Розглянемо систему з певною кількістю резервних приладів. Припустимо, що всі прилади мають однакові властивості надійності. Тоді згідно з формулою (4) стає очевидним збільшення загальної надійності системи через збільшення кількості ввімкнених резервних приладів.

Для своєчасного збору, оброблення та зберігання значних обсягів інформації про стан об'єкта розглядуваної технології прилади використовують у високонавантажених мережах. Одним із приладів у такій системі має бути передавач, оскільки сигнали з усіх приладів — давачів — надходять до нього, а він постійно зв'язується з центральною службою організації робіт із безпеки. Надійність роботи передавача є критичною вимогою для системи, а отже, і її розрахунок та задоволення початкових умов — ключове завдання на етапі проектування. Результати розрахунків надійності системи без використання резервних приладів та з додаванням одного запасного при кількості основних передавачів від одного до трьох наведено на рис. 2–7.

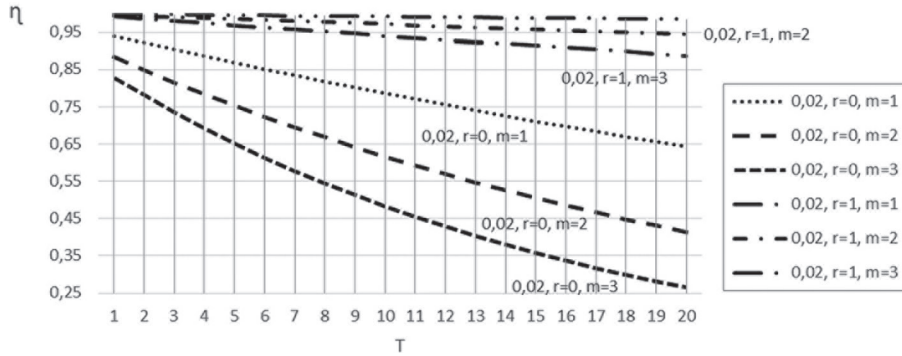


Рис. 2. Показники надійності залежно від  $r$ ,  $\lambda = 0,02$ ;  $\mu = 0,5$

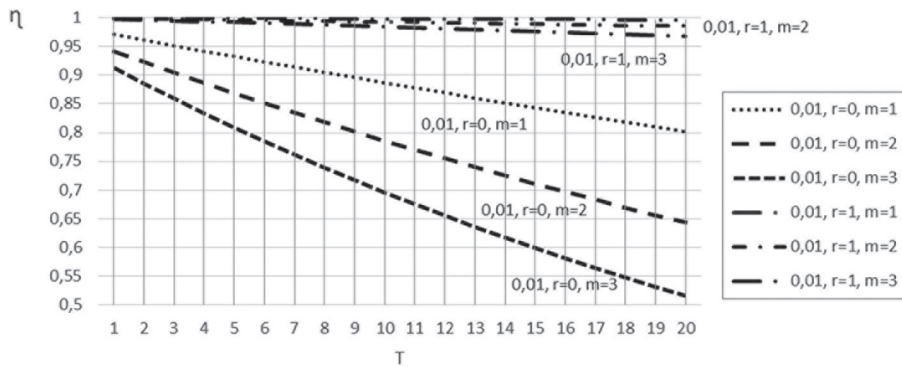


Рис. 3. Показники надійності залежно від  $r$ ,  $\lambda = 0,01$ ;  $\mu = 0,5$

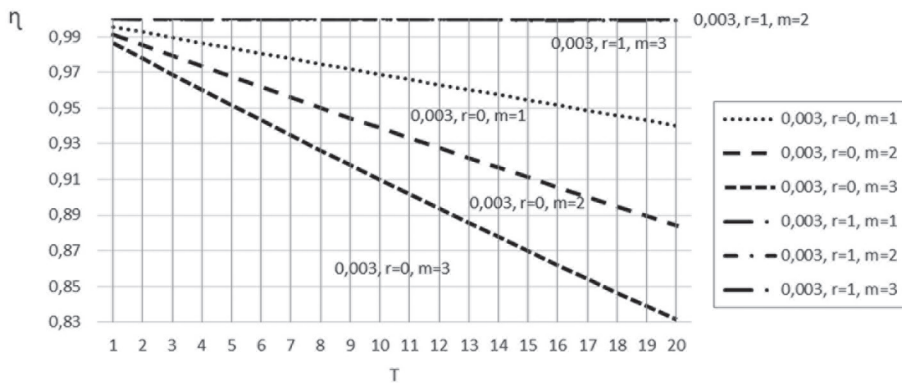


Рис. 4. Показники надійності залежно від  $r$ ,  $\lambda = 0,003$ ;  $\mu = 2$

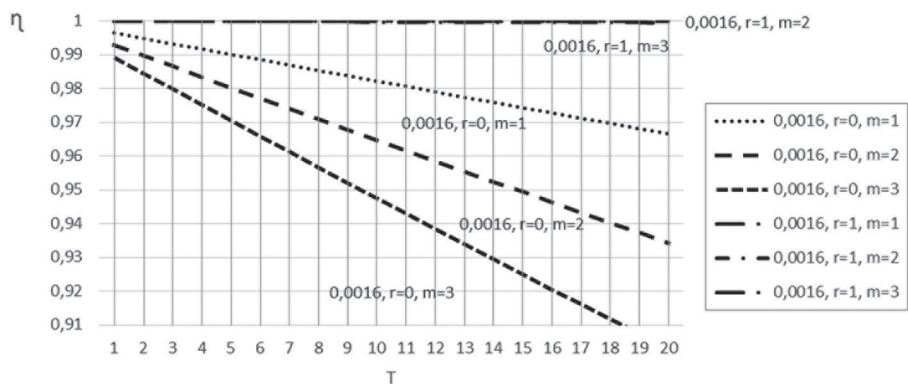


Рис. 5. Показники надійності залежно від  $r$ ,  $\lambda = 0,0016$ ;  $\mu = 0,8$



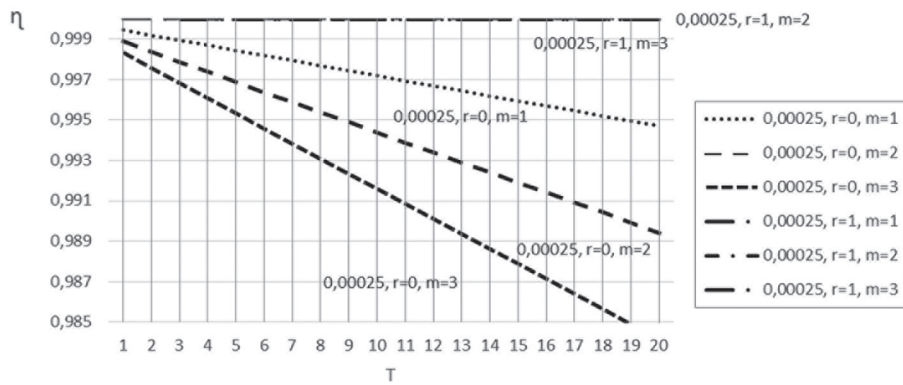


Рис. 6. Показники надійності залежно від  $\lambda$  та  $r$ ,  $\mu = 0,8$

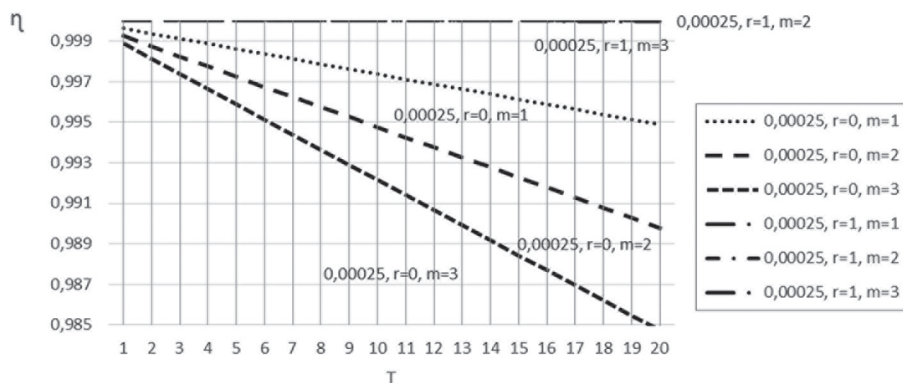


Рис. 7. Показники надійності залежно від  $r$ ,  $\lambda = 0,00025$ ;  $\mu = 2$

З огляду на здобуті результати можна дійти висновку, що при значенні  $\lambda = 0,00025$  та  $\mu = 2$  рівень надійності системи зберігається на рівні понад 0,999 при кількості основних передавачів від одного до трьох у разі наявності одного резерву.

### Висновки

Результати розрахунків показників надійності, проведених для приладів приймання від об'єктних приймачальних та контрольних пристроїв сигналів тривоги (пожежа, аварія, несправність), а також подальше їх передавання на центральні пульти спостереження (ПП-1  $\{\lambda = 0,02, \mu = 0,5\}$ ; ПП-2  $\{\lambda = 0,01, \mu = 0,5\}$ ; ПП-3  $\{\lambda = 0,003, \mu = 2\}$ ; ПП-4  $\{\lambda = 0,0016, \mu = 0,8\}$ ; ПП-5  $\{\lambda = 0,00025, \mu = 2\}$ ), наведено на рис. 2–7. Аналіз здобутих результатів дає можливість дійти висновку, що для пристрою С112У (ПП-5) при кількості основних передавачів від 1 до 3 та з додаванням мінімального резерву  $r = 1$  рівень надійності зростає на два порядки, що дає змогу забезпечити вірогідність своєчасного передавання інформації споживачу понад 0,9995 упродовж часу, достатнього для передавання інформаційного повідомлення. Попередньо створені номограми корисні під час проектування телекомунікаційних систем та уможливають проведення оцінювання пристроїв передавання інформації, не вдаючись до складних розрахунків.

Застосування викладеного на етапі проектування дає змогу значно зекономити виробничі ресурси та кошти під час монтажу й обслуговування такої системи, а також мінімізувати потенційні випадки негативних наслідків її відмови. Окрім того, не створюється зайва кількість приладів, що негативно вплинуло б на інформаційну надмірність, енерговитрати та вартість системи.

### Список використаної літератури

1. Мельник Ю. В., Пархоменко В. Л., Пархоменко В. В. Обмеження на достовірність обробки інформації в телекомунікаційній системі, критерій для порівняння конкурентоздатних варіантів // Зв'язок. 2018. №4(134). С. 11–16.
2. Мельник Ю. В., Пархоменко В. Л., Пархоменко В. В. Метод моделювання процесів обробки інформації для побудови раціональної телекомунікаційної системи // Веснік сувязі. Мінск, Республіка Беларусь. 2019. № 2(154). С. 53–57.

3. Мельник Ю. В., Пархоменко В. Л., Пархоменко В. В. Вплив методів введення інформаційної надмірності на обмеження за достовірністю і оперативністю обробки інформації у телекомунікаційній системі // *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2018. №3(60). С. 55–63.

4. Дослідження побудови та методу розрахунку передвихідного каскаду цифрового передавача / В. Л. Пархоменко, М. С. Ільєнко, В. В. Пархоменко [та ін.] // *Зв'язок*. 2018. №6(136). С. 49–53.

5. Мельник Ю. В., Пархоменко В. Л., Пархоменко В. В. Формалізована задача побудови раціональної телекомунікаційної системи // *Наукові записки Україн. наук.-дослід. ін-ту зв'язку*. 2018. № 4(52). С. 34–39.

6. Мельник Ю. В., Пархоменко В. Л., Пархоменко В. В. Обмеження на оперативність обробки інформації та надійність функціональних перетворювачів телекомунікаційної системи // *Наукові записки Україн. наук.-дослід. ін-ту зв'язку*. 2019. № 1(53). С. 12–23.

7. Мельник Ю. В., Пархоменко В. Л., Пархоменко В. В. Планування роботи функціональних перетворювачів у телекомунікаційній системі // *Наукові записки Україн. наук.-дослід. ін-ту зв'язку*. 2019. № 2(54). С. 19–30.

Ю. В. Мельник, В. Л. Пархоменко, В. В. Пархоменко, А. С. Щепак, С. А. Мрожик

#### МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДОСТАВКИ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Важным условием своевременной доставки информации к потребителю в высоконагруженных системах является существование определенного резерва устройств и своевременное их подключение к сети в случае отказа основных. Излишнее количество запасных частей, как и их недостача, ведут к негативным последствиям, поэтому важно иметь возможность рассчитать оптимальную пропорцию основных и резервных устройств. Особенной актуальности данная тема приобретает в связи с увеличением требований к надежности системы в целом на фоне возрастания количества отдельных ее элементов.

**Ключевые слова:** надежность доставки информации; телекоммуникационная сеть.

Yu. V. Melnyk, V. L. Parkhomenko, V. V. Parkhomenko, A. S. Shchepak, S. A. Mrozyk

#### METHOD FOR ENSURING THE RELIABILITY OF INFORMATION DELIVERY IN A TELECOMMUNICATION SYSTEM

Telecommunication systems play one of the most important roles for the exchange of information in the modern world. In addition to the Internet, radio and television, they are widely used in objects of critical infrastructure for signal transmission in conditions of need for high speed of information delivery and reliability of the system as a whole. Often a signal of a certain frequency is used to transmit data from sensors to a control point in places where wired communication is not possible. The high number of such transmitting nodes adds another requirement to the systems — it must work with highly loaded networks.

An important condition for the timely delivery of information to the consumer in highly loaded systems is the existence of a certain reserve of devices and their timely connection to the network in the event of a major failure. An excessive number of spare parts, as well as a lack thereof, lead to negative consequences, therefore it is important to be able to calculate the optimal proportion of primary and backup devices. This topic is especially relevant in connection with an increase in the requirements for the reliability of the system as a whole against the background of an increase in the number of its individual elements.

A high density of devices, including spare ones, is an important but not sufficient condition for the acceptable operation of highly loaded networks. It is also necessary to take into account the time of replacement of damaged elements of the circuit and the possibility of redirecting traffic at the time of repair work must satisfy the tasks and requirements of both the individual structure and the chain as a whole.

This work allows us to calculate, subject to all other conditions, a sufficient number of spare devices when designing the system, which in the future significantly reduces financial costs for the implementation and maintenance of the project, and also allows you to satisfy all the requirements for the system, while not making it excessively redundant.

**Keywords:** reliability of information delivery; telecommunication network.