

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 654.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/05>**Кононова І.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Некрутенко В.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЬ ШЛЯХУ ІНФОРМАЦІЙНОГО НАПРЯМКУ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З РЕАЛЬНОЮ НАДІЙНІСТЮ ОБЛАДНАННЯ

Розроблено модель, яка встановлює зв'язок між показниками надійності комунікаційного обладнання та якістю функціонування інформаційного шляху мережі зв'язку спеціального призначення. Особливістю запропонованої моделі є сумісне врахування багатофазного обслуговування пакетів та обмеженої надійності комунікаційного обладнання. Запропоновано для оцінки якості обслуговування застосовувати показник ймовірності своєчасної доставки повідомлень по шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку. Визначено умови своєчасної доставки повідомлення розглянутим інформаційним шляхом. У розробленій моделі враховано різноманітне обладнання всіх фаз обслуговування. Функція розподілу часу відновлення обладнання шляху мережі визначається з урахуванням ймовірності виникнення відмов обладнання на кожній фазі обслуговування. Також накладено обмеження на сумарний час передачі заявки на встановлення з'єднання по шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку, що визначає допустимий час затримки. Величина даного обмеження характеризує використовуваний в мережі часовий резерв, що витрачається при обслуговуванні заявки в кожній фазі.

Отримані розрахункові співвідношення для кількісної оцінки показників якості шляхів інформаційних напрямків мережі зв'язку спеціального призначення, які враховують характеристики надійності обладнання мережі зв'язку і резерв часу, який використовується при обслуговуванні заявок у кожній фазі, а також наявність повної або обмеженої інформації про функції розподілу часу обслуговування в кожній фазі.

Ключові слова: комунікаційне обладнання, мережа зв'язку спеціального призначення, надійність, ймовірність своєчасної доставки пакетів.

Постановка проблеми. У процесі функціонування мережі зв'язку спеціального призначення (МЗСП) на них можуть виникати різні екстремальні ситуації, причинами яких є різноманітні зовнішні та внутрішні фактори [1]. У результаті цього, можуть виходити з ладу як окремі елементи, так і цілі ділянки мережі (інформаційні напрямки, шляхи), що приводить до структурно-топологічних змін, тобто порушенню зв'язку між певними пунктами мережі. У результаті цих змін можливе значне зниження значень показників якості обслуговування користувачів мережі [2].

Велика кількість елементів сучасних і перспективних МЗСП навіть при досить високій безвідмовності окремих елементів може призвести до

помітного погіршення показників безвідмовності мережі зв'язку та зниженню якості її функціонування.

Тому актуальним є підхід при якому якість функціонування інформаційного шляху існуючих та перспективних МЗСП оцінюється з урахуванням реальної надійності комунікаційного обладнання. Об'єктом теоретичного дослідження є процес функціонування інформаційного шляху МЗСП в умовах обмеженої надійності комунікаційного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання побудови аналітичних моделей та розвитку методів дослідження процесів функціонування, оптимізації побудови (синтезу), про-

ектування мереж зв'язку розглядалися в роботах вітчизняних та закордонних вчених [3–5]. Дані рішення ґрунтуються на загальних методах дослідження і оптимізації побудови мереж зв'язку, які розроблені в працях [6–8]. В розглянутих наукових працях практично відсутні результати, що стосуються дослідженню впливу обмеженої надійності комунікаційного обладнання на ймовірність своєчасної доставки повідомлень. Крім того, зазначені вище дослідження присвячені вивченню електронних комунікаційних мереж загального призначення і не повною мірою враховують особливості побудови та функціонування мереж зв'язку спеціального призначення.

Тому вибір напрямку дослідження – розробка моделі, яка встановлює зв'язок між показниками надійності комунікаційного обладнання та якістю функціонування інформаційного шляху МЗСП є обґрунтованим та актуальним.

Постановка завдання. Метою роботи є побудова математичної моделі багатофазної мережі зв'язку спеціального призначення з урахуванням реальної надійності комунікаційного обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо шлях інформаційного напрямку мережі зв'язку, фрагмент якої представлено на рис. 1.

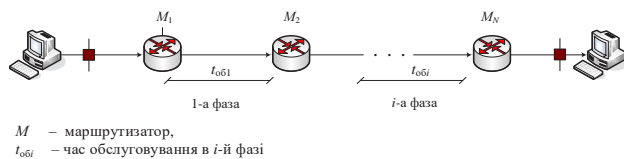


Рис. 1. Фрагмент шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку

Сформулюємо постановку задачі. Нехай на вхід цієї мережі надходить потік повідомлень, який приблизно можна вважати пуасоновським [8]. Вхідний потік другої та наступної фаз вважається згладженим пуасоновським потоком. За інженерними розрахунками можливо вважати, як це відображено у ряді робіт, що вхідний потік у кожен фазу є пуасоновським з параметром $\lambda_{вх}$ [9].

У кожній фазі здійснюється обслуговування повідомлень (заявок, пакетів), зокрема час обслуговування $t_{обi} = t_{об}$ – випадкова величина з довільною ФР $B(t) = P\{t_{об} < t\}$.

Обладнання кожної фази має обмежену надійність, тому в процесі обслуговування заявок в i -й фазі ($i = \overline{1, n}$) можливе виникнення відмови з інтенсивністю λ_i . Сумарна інтенсивність відмов обладнання шляху мережі зв'язку, що складається з обладнання n фаз обслуговування, дорівнює:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (1)$$

При відмові обладнання i -ї фази обслуговування ($i = \overline{1, n}$) здійснюється відновлення працездатності, зокрема час відновлення – випадкова величина з довільною ФР $F_{вi}(t) = P\{t_{вi} < t\}$ і кінцевим математичним очікуванням $\bar{t}_{вi}$. Оскільки обладнання всіх фаз обслуговування різнотипне, то ФР часу відновлення обладнання шляху мережі $F_{вс}(t)$ визначається з урахуванням ймовірності виникнення відмови обладнання i -ї фази, тобто:

$$F_{вс}(t) = P\{t_{вс} < t\} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_c} F_{вi}(t), \quad (2)$$

де λ_c – сумарна інтенсивність відмов обладнання шляху мережі зв'язку (формула (1));

$t_{вс}$ – час відновлення працездатності обладнання шляху мережі зв'язку.

На сумарний час передачі заявки на встановлення з'єднання по шляху інформаційного напрямку $t_{\Sigma об}$ мережі зв'язку накладається обмеження, що визначає допустимий час t_d затримки. Величина даного обмеження характеризує використовуваний в мережі часовий резерв, що витрачається при обслуговуванні заявки в кожній фазі.

Для зазначених вище вихідних умов необхідно отримати розрахункові співвідношення для ймовірності своєчасної доставки повідомлень по розглянутому шляху напрямку мережі зв'язку.

При розв'язанні цієї задачі приймемо наступні обмеження і допущення:

вважається, що час обслуговування заявки в кожній фазі розподілений за експоненціальним або за нормальним законом чи за законом Ерланга k -го порядку [10];

крім того, розглянуто випадок, коли ФР $B(t)$ невідома, а визначені тільки два початкових моменти;

випадкова величина t_{oi} розподілена за експоненціальним законом з параметром λ_i , а час відновлення працездатності обладнання шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку $t_{вс}$ розподілено за довільним законом $F_{вс}(t)$ (формула (2)) з кінцевим математичним очікуванням $\bar{t}_{вс}$;

вхідний потік заявок у кожен фазу є пуасоновським з параметром $\lambda_{вх}$;

відмови обладнання кожної фази обслуговування – події незалежні;

при відмові обладнання i -ї фази мережа припиняє функціонування шляху до моменту відновлення працездатності;

відмови виявляються в момент їхнього виникнення (в мережі передбачений ідеальний (повний,

неперервний, безпомилковий) контроль працездатності);

повідомлення, обслуговування якого переврано внаслідок виникаючої відмови, вважається загубленим.

Для своєчасної доставки повідомлення по даній мережі зв'язку потрібне виконання декількох умов [10]:

1) заявка, що надійшла на обслуговування, застала обладнання шляху мережі зв'язку в працездатному стані;

2) час передачі заявки на встановлення з'єднання в шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку не перевищив допустимого значення t_d ;

3) заявка при надходженні до шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку не отримала відмову в обслуговуванні в жодній з фаз.

Оскільки зазначені вище події є незалежними, то ймовірність своєчасної доставки повідомлення $P_{св}(t_d)$ можна подати у вигляді добутків ймовірностей цих подій, тобто

$$P_{св}(t_d) = P_1 P_2(t_d) P_3, \quad (3)$$

де P_1 – ймовірність застати обладнання шляхів інформаційного напрямку мережі в працездатному стані у довільний момент часу в сталому режимі;

P_2 – ймовірністю того, що сумарний час доставки повідомлення абоненту не буде перевищувати допустимої величини t_d ;

P_3 – ймовірність того, що при надходженні в мережу зв'язку заявка не отримає відмову в обслуговуванні у жодній з фаз.

Ймовірність P_1 представляє собою стаціонарний коефіцієнт готовності обладнання шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку K_r , кількісна оцінка якого визначається за формулою:

$$K_r = \frac{\bar{t}_{ос}}{\bar{t}_{ос} + \bar{t}_{вс}}, \quad (4)$$

де $\bar{t}_{ос}$ та $\bar{t}_{вс}$ – відповідно середнє напрацювання до відмови та середній час відновлення обладнання шляху інформаційного напрямку мережі зв'язку, тобто:

$$\bar{t}_{ос} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad \bar{t}_{вс} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i \bar{t}_{вi}}{\lambda_c}. \quad (5)$$

Ймовірність $P_2(t_d)$ представляє собою ймовірність того, що сумарний час доставки повідомлення абоненту $t_{\Sigma об}$ не буде перевищувати допустимої величини t_d .

Для розрахунку ймовірності $P_2(t_d)$ необхідно визначити ФР сумарного часу доставки пові-

домлення $t_{\Sigma об}$. Цей час визначається сумою n однаково розподілених випадкових величин $t_{об}$, які характеризують час обслуговування заявки в кожній фазі мережі. Тому, ФР випадкової величини $t_{\Sigma об}$ представляє собою n -кратну згортку $B_n(t) = P\{t_{\Sigma об} < t\}$ функції розподілу $B(t)$.

Функція розподілу $B_n(t)$ при експоненціальному розподілі $B(t)$ має вид:

$$B_n(t) = 1 - e^{-\mu_{об} t} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\mu_{об} t)^i}{i!}, \quad (6)$$

при нормальному розподілі $B(t)$ ($\bar{t}_{об} \geq 3\sigma_{об}$)

$$B_n(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{t - n\bar{t}_{об}}{\sigma_{об} \sqrt{n}}\right), \quad (7)$$

при розподілі Ерланга k -го порядку з параметром $\mu_{об} = \frac{k}{\bar{t}_{об}}$

$$B_n(t) = 1 - e^{-\mu_{об} t} \sum_{i=0}^{nk-1} \frac{(\mu_{об} t)^i}{i!}, \quad (8)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{u^2}{2}} du$ – табульована функція Лапласа.

Якщо в ці формули підставити замість t значення t_d , то отримаємо розрахункові співвідношення для ймовірності $P_2(t_d) = P\{t_{\Sigma об} \leq t_d\}$.

Ймовірність P_3 є ймовірність того, що заявка при надходженні у шлях ІН мережі зв'язку не отримала відмову у обслуговуванні в жодній з фаз (вибраний шлях має вільний каналний ресурс, необхідний для обслуговування повідомлення r -го типу). Для визначенні цієї ймовірності застосуємо метод просіяного навантаження [8, 10]. Основна ідея методу полягає в тому, що при визначенні навантаження, яке надходить на деяку фазу, шляху враховується ефект «просіювання» потоку викликів. Стосовно трафіку мультисервісних мереж це означає, що неоднорідний потік повідомлень, який проходить через l -у фазу шляху, утворює сумарне навантаження з інтенсивністю

$$\Lambda_l = \sum_{r \in H_l} b_r \rho_r \prod_{i \in l} (1 - \beta_i),$$

де $\rho_r = \lambda_{вх} h_r$, β_i – ймовірність того, що у довільний момент часу i -а фаза шляху ІН мережі зв'язку не має вільний ресурс для надання обслуговування повідомлення l -го типу. Тоді відповідно з апроксимацією Келі [10] ймовірність того, що в довільний момент часу усі ресурси середовища передачі на l -й фазі мережі зайняті, можна наближено визначити за допомогою першої формули Ерланга:

$$\beta_l = E(V_l, \Lambda_l).$$

Згідно з [9] система рівнянь β , має єдине рішення, яке буде знайдено за допомогою іте-

раційної процедури (метод підстановки). Після цього розраховується ймовірність того, що повідомлення r -го типу не отримують відмову в обслуговуванні

$$P_3 = \prod_{l \in \mu} (1 - \beta_l). \quad (9)$$

Підставляючи отримані вирази для ймовірностей P_1 , $P_2(t_d)$, P_3 в формулу (3), остаточно отримуємо розрахункові співвідношення для прийнятого показника якості функціонування мережі зв'язку: при експоненціальному розподілі $B(t)$ часу обслуговування заявки в одній фазі мережі

$$P_{св}(t_d) = \frac{\bar{t}_{oc} \left(1 - e^{-\mu_{об} t_d} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\mu_{об} t_d)^i}{i!} \right) \prod_{l \in \mu} (1 - \beta_l)}{\bar{t}_{oc} + \bar{t}_{вс}}, \quad (10)$$

при нормальному розподілі $B(t)$ з параметрами $\bar{t}_{об}$ та $\sigma_{об}$ ($\bar{t}_{об} \geq 3\sigma_{об}$)

$$P_{св}(t_d) = \frac{\bar{t}_{oc} \prod_{l \in \mu} (1 - \beta_l)}{\bar{t}_{oc} + \bar{t}_{вс}} \left[0,5 + \Phi \left(\frac{t_d - n \bar{t}_{об}}{\sigma_{об} \sqrt{n}} \right) \right], \quad (11)$$

при розподілі $B(t)$ за законом Ерланга з параметрами k та $\mu_{об} = k/\bar{t}_{об}$

$$P_{св}(t_d) = \frac{\bar{t}_{oc} \left(1 - e^{-\mu_{об} t_d} \sum_{i=0}^{nk-1} \frac{(\mu_{об} t_d)^i}{i!} \right) \prod_{l \in \mu} (1 - \beta_l)}{\bar{t}_{oc} + \bar{t}_{вс}}, \quad (12)$$

$$\text{де } \bar{t}_{oc} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}; \quad \bar{t}_{вс} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i \bar{t}_{вi}}{\lambda_c};$$

Відзначимо, що наведені вище формули для кількісної оцінки ймовірності своєчасної доставки повідомлення враховують характеристики надійності обладнання мережі зв'язку і резерв часу, який використовується при обслуговуванні заявок у кожній фазі.

Розглянемо випадок, коли точний вид ФР $B_n(t)$ невідомий, а визначені тільки два початкових моменти

$$u_1 = \int_0^{\infty} t dB_n(t),$$

$$u_2 = \int_0^{\infty} t^2 dB_n(t),$$

причому $0 < u_1^2 < u_2 < \infty$. Неважко побачити, що функціонал

$$I(B_n) = B_n(t_d) = P_2(t_d) = \int_0^{t_d} dB_n(t)$$

з точністю до позначень збігається з функціоналом $I_1(F_b)$ [10]. Тому можна записати обмежені значення ймовірності $P_2(t_d)$, таким чином:

$$\min P_2(t_d) = \begin{cases} \frac{t_d - u_1}{t_d}, & u_1 \leq t_d < \frac{u_2}{u_1}, \\ \frac{(t_d - u_1)^2}{u_2 - 2u_1 t_d + t_d^2}, & t_d \geq \frac{u_2}{u_1}, \end{cases} \quad (13)$$

$$\max P_2(t_d) = 1, \quad t_d \geq u_1. \quad (14)$$

Графіки залежності ймовірності $P_2(t_d)$ від величини $\frac{t_d}{n \bar{t}_{об}}$ при $n = 1, 2, 3$ для випадків експоненціальної та нормальної ФР $B(t)$ зображені на рис. 1 і рис. 2.

У табл. 1 наведені значення ймовірності $P_2(t_d)$ при повній та обмеженій інформації про ФР часу обслуговування $B(t)$, при цьому значення початкових моментів u_1 і u_2 відповідають моментам при нормальному розподілі та розподілі Ерланга.

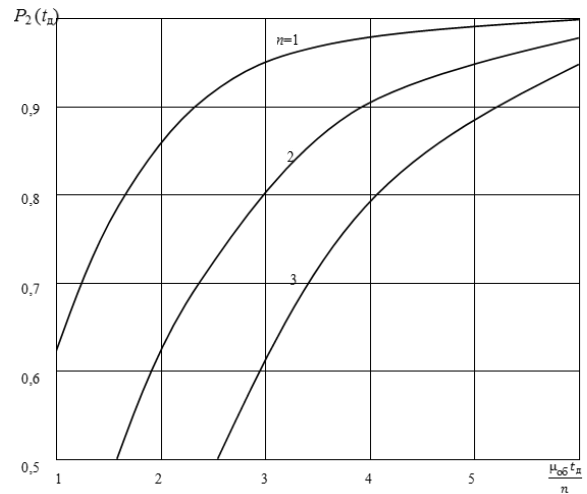


Рис. 1. Графіки залежності $P_2(t_d)$ від відносної величини допустимого часу t_d для n фаз обслуговування ($n=1, 2, 3$) при експоненціальній ФР $B(t)$

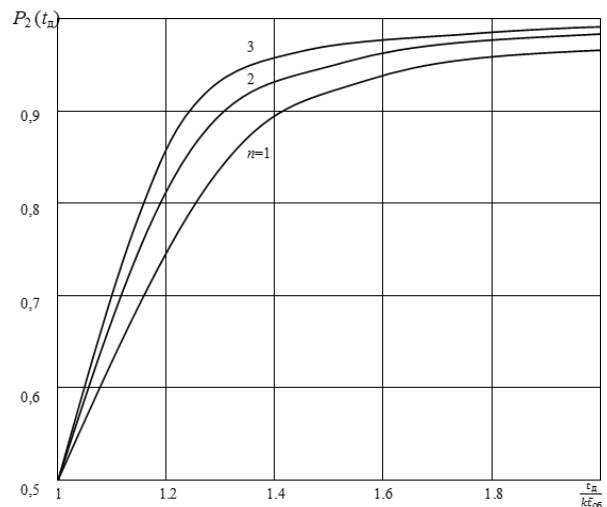


Рис. 2. Графіки залежності $P_2(t_d)$ від відносної величини допустимого часу t_d для n фаз обслуговування ($n=1, 2, 3$) при нормальній ФР $B(t)$

Таблиця 1

Значення ймовірності $P_2(t_d)$ при повній та обмеженій інформації про ФР часу обслуговування $B(t)$

Вид ФР $B(t)$	Відомо два початкових моменти u_1 та u_2 ФР $B(t)$		Відомо вид ФР $B(t)$
	$\min P_2(t_d)$	$\max P_2(t_d)$	
Ерланга при $n=2$ та $(\mu_{об}t_d) / n=6$	0,98	1,0	0,983
Ерланга при $n=3$ та $(\mu_{об}t_d) / n=9$	0,994	1,0	0,995
Нормальна при $n = 1$ та $t_d / (n\bar{t}_{об}) = 2,2$	0,93	1,0	0,999
Нормальна при $n = 2$ та $t_d / (n\bar{t}_{об}) = 2$	0,95	1,0	0,9998
Нормальна при $n = 3$ та $t_d / (n\bar{t}_{об}) = 1,8$	0,96	1,0	0,9999

З таблиці видно, що при обмеженій вихідній інформації про ФР $B(t)$ точне невідоме нам значення ймовірності $P_2(t_d)$, лежить у середині інтервалу, обмеженого двосторонніми оцінками $\min P_2(t_d)$ та $\max P_2(t_d)$, отриманими при відомих початкових моментах u_1 і u_2 .

Після підстановки формул для ймовірностей P_1 , $\min P_2(t_d)$, $\max P_2(t_d)$ і P_3 в формулу (3) отримуємо двосторонні оцінки ймовірності своєчасної доставки повідомлення у випадку обмеженої інформації про ФР $B(t)$:

$$\min P_{св}(t_d) = \begin{cases} \frac{\bar{t}_{ос} \prod_{l \in \mu} (1 - \beta_l)(t_d - u_1)}{(\bar{t}_{ос} + \bar{t}_{вс})t_d}, & \text{при } u_1 \leq t_d < \frac{u_2}{u_1}, \\ \frac{\bar{t}_{ос} \prod_{l \in \mu} (1 - \beta_l)(t_d - u_1)^2}{(\bar{t}_{ос} + \bar{t}_{вс})(u_2 - 2u_1t_d + t_d^2)}, & \text{при } t_d \geq \frac{u_2}{u_1}, \end{cases} \quad (15)$$

$$\max P_{св}(t_d) = \frac{\bar{t}_{ос} \prod_{l \in \mu} (1 - \beta_l)}{\bar{t}_{ос} + \bar{t}_{вс}}, \quad t_d \geq u_1. \quad (16)$$

Таким чином, розроблені моделі та отримані розрахункові співвідношення для оцінки показників якості шляхів інформаційних напрямків МЗСП, які враховують реальну надійність обладнання, а також наявність повної або обмеженої інформації про ФР часу обслуговування в кожній фазі.

Наведемо деякі результати теоретичного дослідження отриманих розрахункових співвідношень. Розглянемо трифазний ($n = 3$) шлях інформаційного напрямку МЗСП, який характеризується наступними даними: $\lambda_i = \lambda = 10^{-3}$ 1/год; $\bar{t}_{вi} = \bar{t}_в = 1,0$ год; $\bar{t}_{обi} = \bar{t}_{об} = 1/\mu_{об} = 3$ с, $i = \overline{1,3}$; $\bar{t}_д \geq 3\bar{t}_{об}$; $P_3 = 0,95$; $u_1 = 9$ с; $u_2 = 90$ с². Побудуємо графіки залежності ймовірності $P_{св}(t_d)$ від допустимого часу t_d для двох випадків розподілу $B(t)$ часу обслуговування заявки в одній фазі: експоненціального з параметром $\mu_{об}$ та нормального з параметром $\bar{t}_{обi} = 1/\mu_{об}$ й $\sigma_{об} = \bar{t}_{об}/3$, а також для випадку, коли ФР $B(t)$ невідома, а отримані тільки два початкових моменти u_1 і u_2 . При розрахунках скористаємося формулами (10), (11), (15), (16) та наведеними вище вихідними даними.

Результати розрахунків представлені на рис. 3 та 4.

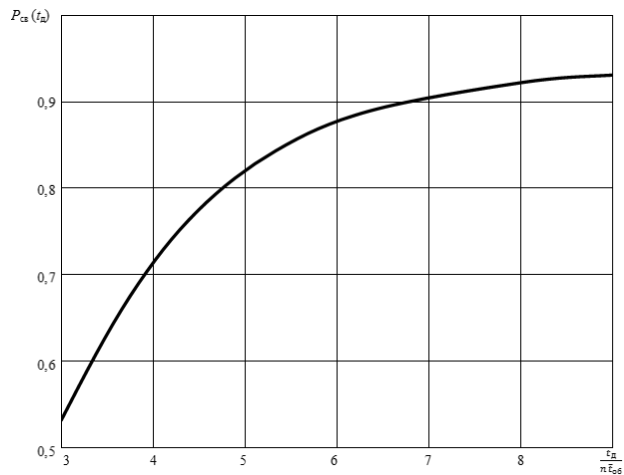


Рис. 3. Залежність ймовірності своєчасної доставки повідомлення від відносної величини допустимого часу при експоненціальній ФР часу обслуговування в одній фазі

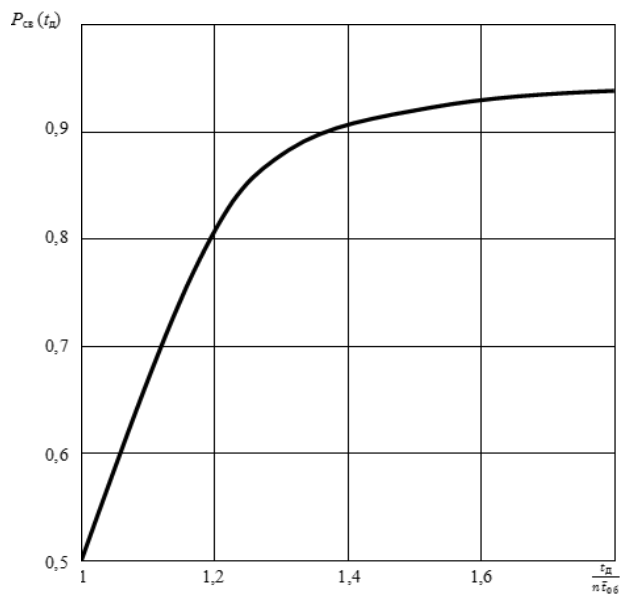


Рис. 4. Залежність ймовірності своєчасної доставки повідомлення від відносної величини допустимого часу при нормальній ФР часу обслуговування в одній фазі

Висновки. Таким чином, отримані розрахункові співвідношення для ймовірності своєчасної доставки повідомлень по інформаційному шляху МЗСП з урахуванням обмеженої надійності комунікаційного обладнання.

Аналіз отриманих виразів та побудованих на їх основі графіків дозволяє обґрунтувати величину резервного (допустимого) часу для забезпечення потрібного (заданого) значення $P_{cb}(t_d)$. Зокрема, для досягнення $P_{cb}(t_d) = 0,9$ (рис. 3) при експоненціальному законі обслуговування пакетів в кожній

фазі трифазової ($n = 3$) мережі необхідно збільшити резервний час t_d у 7 разів порівняно з середнім часом обслуговування $n\bar{t}_{об}$. При нормальному законі обслуговування пакетів в кожній фазі трифазної мережі (рис. 4) для досягнення того ж значення $P_{cb}(t_d) = 0,9$ необхідно збільшити резервний час t_d в 1,35 рази порівняно з $n\bar{t}_{об}$. При відомих двох початкових моментах ФР $B(t)$ необхідне значення $P_{cb}(t_d) = 0,9$ буде знаходитися в середині інтервалу, обмеженого значеннями $\min P_{cb}(t_d)$ та $\max P_{cb}(t_d)$ при $t_d = 2,5u_1 = 22,5$ с.

Список літератури:

1. Фещенко А.Б., Загора О.В., Борисова Л.В. Удосконалення імовірнісної моделі типового фрагмента відомчої цифрової телекомунікаційної мережі ДСНС. С. 120 – 132. *Problems of Emergency Situations*. 2020. № 1(31). Р. 34–43. DOI: 10.5281/zenodo.3901945.
2. Yakovyna V.S., Seniv M.M., Symets I.I. Sambir Algorithms and software suite for reliability assessment of complex technical systems. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020, vol. 4. Р. 163–177. DOI:10.15588/1607-3274-2020-4-16.
3. Єременко О.С., Мерсні А. Підвищення відмовостійкості елементів сучасних інфокомунікаційних мереж із застосуванням протоколів резервування шлюзу за замовчуванням. *Проблеми телекомунікацій*. 2020. № 2(27). С. 68–81. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2020.2.06>.
4. Князева Н. Ненов О. Оцінка структурної надійності телекомунікаційних мереж невизначеної топології на основі імітаційного моделювання. *Вісник Університету «Україна» Серія Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика*. 2021. 2(23). URL: <https://visn-it.uu.edu.ua/index.php/visnicct/article/view/54>.
5. Kim Y., Song K., Pham H., Chang I. A Software Reliability Model with Dependent Failure and Optimal Release Time. *Symmetry*. 2022. vol. 14 (2). DOI:10.3390/sym14020343.
6. Raghuvanshi K., Agarwal A., Jain K. A time-variant fault detection software reliability model, *SN Appl. Sci*. 2021. № 3 (18). DOI:10.1007/s42452-020-04015-z.
7. Борисова Л. В., Загора О. В., Фещенко А. Б. Розробка імовірнісної моделі елементарного фрагмента відомчої інформаційно-телекомунікаційної мережі. *Problems of Emergency Situations*. 2020. № 1 (31). Р. 34–43. DOI:10.5281/zenodo.3901945.
8. Mogylyevych D., Kononova I., Klymovych O., Mohylevych V. The method of comprehensive assessment of the reliability of telecommunication equipment of communication networks. *Military and technical collection 2020*. № 23. Р. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020.50-57>.
9. Mogylyevych D., Kononova I., Kredentser B., Karadschow I. Comprehensive Reliability Assessment Technique of Telecommunication Networks Equipment with Reducible Structure. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка*. 2020. № 80. С. 39–47.
10. Креденцер Б., Міночкін А., Могилевич І. Надійність систем з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація: монографія. Київ: Фенікс, 2013. 342 с.

Kononova I.V., Nekrutenko V.I. MODEL OF THE INFORMATION PATH OF A SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORK WITH REAL EQUIPMENT RELIABILITY

A model has been developed that establishes a link between the reliability indicators of communication equipment and the quality of functioning of the information path of a special-purpose communication network. A feature of the proposed model is the joint consideration of multiphase packet service and limited reliability of communication equipment. It is proposed to use an indicator of the probability of timely delivery of messages along the path of the information direction of the communication network to assess the quality of service. The conditions for timely delivery of messages along the considered information path are determined. The developed model takes into account different types of equipment of all phases of service. The distribution function of the network path equipment recovery time is determined taking into account the probability of equipment failures at each service phase. Also, a restriction is imposed on the total time of transmission of a connection request along the path of the information direction of the communication network, which determines the permissible delay time. The value of this limitation characterizes the time reserve used in the network, which is spent on servicing the application in each phase.

The calculation relations for quantifying the quality indicators of the paths of information directions of a special-purpose communication network are obtained, which take into account the reliability characteristics of the communication network equipment and the time reserve used in servicing applications in each phase, as well as the availability of complete or limited information about the functions of service time distribution in each phase.

Key words: communication equipment, special-purpose communication network, reliability, probability of timely delivery of packets.