

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІИ

УДК 004.7:519.87 (043)

ОЦІНКА РІВНЯ ДОСТУПНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

МАЧАЛІН І. О., ТЕРЕНТЬЄВА І. Є.

Пропонується метод побудови моделі з використанням логіко-лінгвістичного підходу та теорії нечітких множин. На основі запропонованого методу проводиться оцінка рівня надійності та доступності інформаційно-телекомунікаційних систем. Показується, що даний метод доцільно використовувати, коли немає достатньої статистичної інформації для отримання імовірнісних показників оцінки доступності вищезначених систем.

Ключові слова: доступність інформаційно-телекомунікаційних систем, нечітка модель, логіко-лінгвістичний підхід.

Key words: infotelecommunication systems accessibility, fuzzy model, logical-linguistic approach.

1. Вступ

Основними характеристиками будь-якої інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТКС) є її доступність, цілісність та захищеність. Доступність сучасної ІТКС розглядається як імовірність того, що система буде функціонувати в будь-який момент часу, коли користувачеві необхідно буде отримати інформацію або послуги.

На даний час існує ряд імовірнісних методів, які дозволяють оцінити доступність інформаційно-телекомунікаційних систем [1-5]. Однак ймовірнісні показники не дозволяють оцінити можливість прояву всіх ситуацій і функціональних відмов (ФВ), можливих в процесі експлуатації ІТКС. Прикладами таких ФВ є відмови обладнання, помилки систем контролю, обриви в кабельних системах. Тому в подібних випадках і за відсутністю статистичної інформації про відмови ІТКС доцільно використовувати логіко-лінгвістичний підхід, який дозволяє на основі нечітких множин оцінити вплив цих ситуацій на рівень доступності ІТКС.

2. Постановка мети дослідження

З урахуванням стандарту ТІА-942 [6] можемо запропонувати таку класифікацію ІТКС залежно від часу простою через ФВ, яку наведено в табл. 1. Як видно з табл. 1, провести математичну оцінку ймовірності подібних подій досить складно, тому в такому випадку доцільно використовувати логіко-лінгвістичний підхід з використанням теорії нечітких множин. Таким чи-

ном, завданням дааного дослідження є розробка нечіткої моделі для оцінки рівня доступності ІТКС.

Таблиця 1

Класифікація ІТКС залежно від часу простою через ФВ

Номер ситуації	Час простою за рік	Рівень доступності
X_1	$T > 8,5$ год	Низький рівень доступності ($D < 0,99$)
X_2	$T = 8,5$ год	Звичайний рівень ($D = 0,99$)
X_3	$3,5$ год $< T < 8,5$ год	Середній рівень ($0,999 > D > 0,99$)
X_4	$T = 3,5$ год	Надійна ІТКС ($D = 0,999$)
X_5	$1,0$ год $< T < 3,5$ год	Високий рівень надійності та доступності ($0,9999 > D > 0,999$)
X_6	$T = 1,0$ год	Відмовостійка ІТКС ($0,99999 > D > 0,9999$)
X_7	$T < 5$ хв	Безвідмовна ІТКС ($D < 0,99999$)

3. Основна частина дослідження

При використанні логіко-лінгвістичного підходу необхідно провести аналіз можливих ситуацій, до яких призводить ФВ, сформувати експертний запит, провести експертну оцінку всіх наслідків і оцінити загальний рівень впливу даної ФВ на рівень доступності. На підставі цього в сукупності з ймовірнісними оцінками (якщо вони є) прийняти рішення про віднесення ІТКС до відповідного рівня. Пропонований підхід складається з декількох етапів, які включають в себе обробку результатів експертних оцінок. Розглянемо ці етапи більш детально.

Аналіз можливих ситуацій, до яких може привести ФВ. На цьому етапі експертами здійснюється аналіз можливих ситуацій $X_i (i = \overline{1, N})$, де N – кількість ситуацій. Інтерпретація цих ситуацій наведена в табл. 2. Далі аналізується їхній вплив на раніше визначені характеристики ІТКС. Множина цих ситуацій служить вхідною інформацією для формування експертних запитів.

Формування базового експертного запиту. Базовий експертний запит – це оціночний запит експерта, характерний для певної системи. Він визначає рівень впливу відмови на рівень доступності ІТКС щодо заданої множини характеристик. На підставі кожної сформульованої ситуації формуються масиви вхідних даних $Z_{11} \dots Z_{1k}, Z_{21} \dots Z_{2m}, \dots, Z_{i1} \dots Z_{ip}$, де i – кількість ситуацій в сформованій вище множині; k, m і p – кількість складових запиту першої, другої та i -ї ситуації

відповідно, які є компонентами вектора запиту [4–6].

Таблиця 2
Можливі ситуації, до яких може привести ФВ

Номер ситуації	Опис ситуації
X_1	Переважають виникають критичні, суттєві та незначні ФВ (відмова охолоджувальної системи, відмова блоку живлення)
X_2	Переважають виникають критичні та суттєві ФВ (зупинка роботи сервісної консолі, конфлікт IP-адрес)
X_3	Переважають виникають критичні та незначні ФВ (переривання зв'язку між блоком розподілу електроенергії і платою, яка ним керує; датчик навколишнього середовища виявляє високу температуру системи)
X_4	Переважають виникають суттєві та незначні ФВ (під час операції вимірювання продуктивності переривається зв'язок між процесом вимірювання продуктивності і базою даних)
X_5	Переважають виникають суттєві ФВ (обладнання не працює; обсяг пам'яті перевищує поріг перевантаження)
X_6	Переважають виникають незначні ФВ (вологість середовища перевищує максимальний поріг вологості для запущеної системи)
X_7	Переважають виникають незначні ФВ та попередження (кількість пакетів, отриманих зовнішнім портом Ethernet за п'ять секунд, перевищує порогове значення)

Ранжування вихідних даних і побудова функції належності. Для побудови функції приналежності будемо використовувати метод кількісного парного порівняння. Нехай A – нечітка підмножина з функцією n елементів такого вигляду:

$$A = \{ \mu_A(x_1) / x_1, \mu_A(x_2) / x_2, \dots, \mu_A(x_n) / x_n \}.$$

Ступінь належності елементів множині визначається за допомогою парних порівнянь, а кількість запитань до експерта становить $n(n-1)/2$. За його оцінкою формується матриця парних порівнянь:

$$A = \|a_{ij}\|, \quad (1)$$

де значення a_{ij} вибирається з табл. 3. Оцінка елемента x_i порівнюється з x_j за властивостями A .

Спрощенням процедури формування функції належності є визначення вагових коефіцієнтів через розрахунок середнього геометричного із співвідношення

$$\mu_A(x_i) = \omega_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}; j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де a_{ij} – коефіцієнти матриці парних порівнянь, а вхідні дані представляють собою сформовану на основі експертного опитування матрицю парних порівнянь.

Таблиця 3
Шкала для побудови матриці порівнянь

Оцінка значущості	Якісна оцінка	Властивості альтернатив
1	Однакова значущість	Альтернативи мають однаковий ранг
3	Слабка перевага	Перевага однієї альтернативи перед іншою малопереконлива
5	Сильна (або важлива) перевага	Є надійні докази істотної переваги однієї альтернативи над іншою
7	Явна перевага	Існують переконливі свідчення на користь однієї альтернативи
9	Абсолютна перевага	Свідчення на користь переваги однієї альтернативи над іншою з найбільшою мірою переконливості
2, 4, 6, 8	Проміжні значення	Використовуються, якщо необхідний компроміс

Складові базового експертного запиту далі упорядковуються за ступенем важливості ситуацій. Ранжування виконується через обчислення коефіцієнтів важливості KB_1, \dots, KB_n (де n – кількість компонентів експертного запиту), які використовуються для реалізації нечітких моделей.

Формування лінгвістичних змінних і термів [7-9]. Під лінгвістичною змінною будемо розуміти таку нечітку множину, якій присвоєно деяку назву і ця змінна визначена кортежем $\langle A, X, A \rangle$, де A – ідентифікатор непарних змінних (НЗ), $X = \{x\}$ – область її визначення, а

$$A = \bigcup_{x \in X} \mu_x / x$$

– нечітка множина на X , яка задає обмеження на набори числових значень нечіткої підмножини A .

Для формалізації суб'єктивного змісту якісних показників і побудови функції належності необхідно використовувати такі вхідні дані: назва параметра, $x_i, i = \overline{1, n}$; діапазон зміни параметра x_i ; кількість термів, які застосовуються для лінгвістичного опису параметра x_i ; назва кожного терма лінгвістичної змінної.

Для визначення лінгвістичної змінної «Як впливає ФВ на рівень доступності», відповідної кортежу $\langle D, T_D, X_D \rangle$, необхідно задати її базову терм-множину $T_D = \{T_i\} (i = \overline{1, L})$, де L – кількість термів, які використовуються як нечіткі еталони оцінюваних параметрів). Базову терм-

множину такої лінгвістичної змінної визначимо п'ятьма термами: $T_D = \bigcup_{i=1}^5 T_{D_i} = \{\text{«НИЗЬКА» (Н), «НИЖЧЕ СЕРЕДНЬОГО» (НС), «СЕРЕДНЯ» (С), «ВИЩЕ СЕРЕДНЬОГО» (ВС), «ВИСОКА» (В)}\}$. Після визначення термів необхідно задати універсальну множину X_D , на якій будуть задані ці нечіткі еталони, а потім побудувати їхні функції належності.

Вибір методу обробки нечітких чисел. Використовуємо максимінний метод, базою для якого є максимінна композиція (ММК). Ґрунтуючись на принципі узагальнення, ММК реалізується двома процедурами, перша з яких виконується за формулою:

$$Z = \underline{X} \overset{\circledast}{\circledast} \underline{Y} = \bigcup_{i=1}^n \{\mu_X(x_i)/x_i\} \overset{\circledast}{\circledast} \bigcup_{j=1}^m \{\mu_Y(y_j)/y_j\} = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^m \{(\mu_X(x_i) \wedge \mu_Y(y_j)/x_i \overset{\circledast}{\circledast} y_j)\},$$

де \underline{X} і \underline{Y} – нечіткі числа, які містять відповідно n і m компонентів; знаками $\overset{\circledast}{\circledast}$ та $\overset{\circledast}{\circledast}$ позначено одну з арифметичних операцій $+$, $-$, \cdot , $:$ і одну з нечітких арифметичних операцій $\overset{\sim}{+}$, $\overset{\sim}{-}$, $\overset{\sim}{\cdot}$, $\overset{\sim}{:}$ відповідно.

Під час другої процедури здійснюється поглинання декількох компонентів $\mu_Z(z_k)/z_k$, $k = \overline{1, r}$ (r – кількість компонентів з рівнозначними носіями) одним за виразом

$$\mu_Z(z_s)/z_s : \mu_Z(z_s) = \max(\mu_Z(z_k)).$$

Обчислення та інтерпретація рівня впливу ФВ на доступність. Рівень впливу ФВ на доступність будемо оцінювати на основі нечіткої моделі з бальною шкалою, яка реалізує безпосередньо кількісну оцінку на безперервній варіативній N -бальній шкалі. На підставі нечіткої моделі та вхідних даних (\underline{L}_i або X_i , $i = \overline{1, n}$), одержаних після опитування користувачів ІТКС (представників експлуатанта), визначається показник рівня впливу ФВ на рівень доступності (\underline{L}_S або μ_S).

Отриманий результат інтерпретується через визначення відповідності розрахованого рівня доступності еталонних значень, одержаних на етапі формування лінгвістичних термів. Вихідні дані представляються як в лінгвістичній формі, так і в числовій у вигляді нечіткого числа та рівнів. Суть оцінки відповідно до цієї моделі така. Користувач відповідає на попередньо ранжовані запитання (компоненти експертного запиту)

за складеною експертом N -бальною шкалою. Діапазон шкали може варіюватися і залежить від складності оцінки ситуацій.

Визначення рівня доступності реалізується за результатами опитування користувачів системи відповідно до складеного експертами запиту, компоненти якого попередньо ранжуються через визначення КВ P_j ($j = \overline{1, n}$), де n – кількість компонент. Для ранжування будемо використовувати метод на основі перетвореної матриці $A' = (a'_{vw})$, отриманої на підставі матриці парних порівнянь $A = (a_{ij})$ (див. табл. 2). Елемент перетвореної матриці визначається як

$$a'_{ij} = \begin{cases} 100 / (a_{ij} + 1) * a_{ij}, & \forall i < j: v = i, w = j; \\ 1, & \forall i < j: v = w = i = j; \\ 100 / (a_{ij} + 1), & \forall i < j: v = j, w = i, \end{cases} \quad (3)$$

де $i = j = \overline{1, n}$. Значення КВ P_i ($i = \overline{1, n}$) для кожного з питань експертного запиту обчислюємо за формулою

$$P_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij}, \quad \forall i \neq j.$$

Після визначення КВ здійснюється їхня нормалізація за виразом $PN_i = P_i / \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)$ таким чином, щоб виконувалася умова $\sum_{i=1}^n PN_i = 1$.

Діапазон $[\underline{X}_j, \overline{X}_j]$ ($\underline{X}_j = 0$, $\overline{X}_j = N_j$) зміни параметра X_j^* , ($j = \overline{1, n}$) (N_j – максимально можлива кількість балів по кожному питанню) відображається на універсальну множину еталонних нечітких чисел $U = [0, L-1]$ (L – кількість еталонів), для чого фіксоване значення $X_j^* \in \underline{X}_j, \overline{X}_j$ перераховується у відповідний елемент за формулою [10]:

$$U_j^* = (L-1) \frac{X_j^* - \underline{X}_j}{\overline{X}_j - \underline{X}_j}. \quad (4)$$

При цьому функція належності $\mu_i^j(U_j^*)$, $i = \overline{1, L}$ нечіткого терму з i -м номером обчислюється за допомогою формули

$$\mu_i^j(U_j^*) = \left[\frac{1}{1 + (U_j^* - i + 1)^2} \right]^{PN_j \cdot n}, \quad (5)$$

де PN_j ($j = \overline{1, n}$) – КВ, обчислені за оцінками експертів для кожного компонента наведеного вище експертного запиту. На завершальній стадії визначається показник рівня впливу на доступність за наступним логічним виразом:

$$\mu_S(X_j^*) = \bigvee_{i=1}^L \bigwedge_{j=1}^n \mu_i^j, \quad (6)$$

де $i = \overline{1, L}$ – номер терму із базової термножини T , $j = \overline{1, n}$ – номер компонента експертного запиту.

Далі для прийняття рішення вибирається відповідний нечіткий терм, назва якого і визначає рівень впливу ФВ на доступність, згідно з табл.1.

4. Визначення рівня доступності ІТКС із використанням нечіткої моделі

Нехай $X = \{X_1, \dots, X_7\}$ – множина, яка визначає ситуації, до яких призводить відповідна ФВ. Інтерпретація цих ситуацій наведена в табл. 2, а матриця парних порівнянь ситуацій (1), пронумерованих в порядку представлення у множині X , складеної на підставі табл. 3, має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 7 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 5 & 5 & 5 & 3 & 7 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1 & 3 & 7 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1 & 3 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 5 \\ 1/9 & 1/7 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}.$$

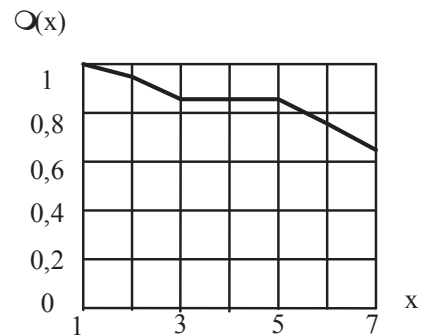
Необхідно побудувати нечітку підмножину A , яка формалізує поняття «ФВ даної ІТКС призводить до відповідного рівня доступності». Вагові коефіцієнти відповідно до формули (2) визначаються так:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \sqrt[7]{1 \times 3 \times 5 \times 7 \times 7 \times 7 \times 9} = 1,688; \\ \omega_2 &= \sqrt[7]{1/3 \times 1 \times 5 \times 5 \times 5 \times 3 \times 7} = 1,596; \\ \omega_3 &= \sqrt[7]{1/5 \times 1/5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3 \times 7} = 1,449; \\ \omega_4 &= \sqrt[7]{1/7 \times 1/5 \times 1 \times 1 \times 3 \times 3 \times 5} = 1,448; \\ \omega_5 &= \sqrt[7]{1/7 \times 1/5 \times 1 \times 1/3 \times 1 \times 3 \times 5} = 1,403; \\ \omega_6 &= \sqrt[7]{1/7 \times 1/3 \times 1/3 \times 1/3 \times 1/3 \times 1 \times 5} = 1,333; \\ \omega_7 &= \sqrt[7]{1/9 \times 1/7 \times 1/7 \times 1/5 \times 1/5 \times 1/5 \times 1} = 1,104. \end{aligned}$$

Після нормалізації отримаємо:

$$\begin{aligned} \mu_A(x_1) &= 1; \mu_A(x_2) = 0,945; \mu_A(x_3) = 0,858; \\ \mu_A(x_4) &= 0,857; \mu_A(x_5) = 0,831; \mu_A(x_6) = 0,790; \\ \mu_A(x_7) &= 0,654. \end{aligned}$$

Отримане нечітке число представлено на рисунку. Як видно з рисунку, його функція належності має спадаючий характер.



Нечітке число, оцінююче ступінь впливу ФВ

Елементи перетвореної матриці відповідно до виразу (3) матимуть такі значення:

$$A' = (a'_{ij}) = \begin{pmatrix} 1 & 75 & 83,3 & 87,5 & 87,5 & 87,5 & 90 \\ 25 & 1 & 83,3 & 83,3 & 83,3 & 75 & 87,5 \\ 16,7 & 16,7 & 1 & 50 & 501 & 75 & 87,5 \\ 12,5 & 16,7 & 50 & 1 & 75 & 75 & 83,3 \\ 12,5 & 16,7 & 50 & 25 & 1 & 75 & 83,3 \\ 12,5 & 25 & 25 & 25 & 25 & 1 & 83,3 \\ 90 & 12,5 & 12,5 & 16,7 & 16,7 & 16,7 & 1 \end{pmatrix}.$$

Межі зміни діапазону шкали відповідей задає експерт для кожного компонента окремо. Нехай, наприклад, для всіх компонент межі однакові $[0; 5]$, хоча практично вони можуть бути і різні. Використовуючи матрицю парних порівнянь A і перетворену матрицю A' , обчислимо КВ для кожного компонента експертного запиту. Занесямо в табл. 4 результати обчислення КВ для всіх компонентів P_j ($j = \overline{1, 7}$), нормалізовані КВ PN_j ($j = \overline{1, 7}$) і відповіді користувачів. Використовуючи вирази (4) і (5), визначаємо U_j^* , ($j = \overline{1, 7}$) і $\mu_i^j(U_j^*)$, $i = \overline{1, 5}$, а результати обчислень заносимо в табл. 5.

Відповідно до виразу (6) знаходимо показник рівня впливу ФВ на рівень доступності:

$$\mu_S(X_j^*) = \bigvee_{i=1}^L \bigwedge_{j=1}^n \mu_i^j = 0,182.$$

Таблиця 4
Результати опитування користувачів та експертів

Номер компонента (j)	$P_j (j = \overline{1,7})$	PN_j $j = \overline{1,7}$	Відповіді (у балах) X_j^* , $j = \overline{1,7}$
1	$75+83,3+3 \cdot 87,5+90=511,5$	0,266	1
2	$25+3 \cdot 83,3+75+87,5=437,4$	0,228	2
3	$2 \cdot 16,7+2 \cdot 50+2 \cdot 75+87,5=370,9$	0,193	1
4	$12,5+16,7+50+2 \cdot 75+83,3=312,5$	0,162	3
5	$12,5+16,7+50+25+75+83,3=262$	0,136	3
6	$12,5+4 \cdot 25+83,3=195,8$	0,102	4
7	$90+12,5+12,5+3 \cdot 16,7=165,1$	0,086	5

Таблиця 5
Результати обчислень

j	U_j^* , $j = \overline{1,4}$	$\mu_1^j(U_j^*)$	$\mu_2^j(U_j^*)$	$\mu_3^j(U_j^*)$	$\mu_4^j(U_j^*)$	$\mu_5^j(U_j^*)$
1	1,2	0,190	0,930	0,398	0,068	0,017
2	2,4	0,047	0,177	0,789	0,612	0,132
3	1,2	0,300	0,948	0,513	0,142	0,053
4	3,6	0,050	0,098	0,237	0,706	0,846
5	3,6	0,082	0,142	0,299	0,746	0,868
6	4,8	0,103	0,142	0,211	0,357	0,702
7	6,0	0,114	0,141	0,182	0,250	0,380

Із табл. 5 видно, що обчислене значення $\mu_s = \mu_3$ (тобто $i = 3$), тому для прийняття рішення обирається нечіткий терм T_3 , назва якого «Середній», що і визначає рівень впливу ФВ на рівень доступності. На основі цього твердження та імовірнісних характеристик, описаних вище, можна прийняти рішення про віднесення ФВ ІТКС до відповідного класу особливих ситуацій.

5. Висновки

- Запропоновано класифікацію ІТКС відповідно до їхнього рівня надійності та доступності та з урахуванням часу простою таких систем унаслідок функціональних відмов. Визначено функціональні відмови, які призводять до відповідних рівнів ситуацій.
- Розроблено метод побудови нечіткої моделі з використанням логіко-лінгвістичного підходу та теорії нечітких множин. Наведені математичні вирази для визначення функції належності, матриці парних порівнянь ситуацій та показника рівня впливу на доступність.
- Проведено оцінку рівня доступності ІТКС за допомогою розробленого методу та показано його

го універсальність для отримання імовірнісних показників оцінки доступності та готовності ІТКС у випадку, коли немає достатньої статистичної інформації про параметри функціональних відмов.

4. Розроблений метод нечіткої моделі рекомендовано використовувати на різних етапах експлуатації та проектування ІТКС.

Література: 1. *Ulansky V., Terentyeva I.*, Availability modeling of a digital electronic system with intermittent failures and continuous testing. *Engineering Letters*. 2017. Vol. 25, № 2. P. 104-111. 2. *Уланський В. В., Терентьєва І. Є., Мачалін І. О.* Оцінка готовності телекомунікаційних систем з різними видами відмов. *Наукоємні технології*. 2019. № 1 (41), 2019. С. 95–100. 3. *Prasad V. B.* “Computer networks reliability evaluations and intermittent faults”, in *Proc. of 1990 IEEE 33th Midwest Symp on Circuits and Systems*, vol. 1 Calgary, Alta, 1990, pp. 327-330. 4. *Prasad V. B.*, “Digital systems with intermittent faults and Markovian models”, in *Proc. of 1992 IEEE 35th Midwest Symp on Circuits and Systems*, vol. 1, Washington, 1992, pp. 195-198. 5. *Nakagava T.* Advanced reliability models and maintenance policies. London: Springer, 2008, 234 p. 6. *Документ SP-3-0092:* (Стандарт ТІА-942, редакція 7.0, февраль 2005). – NY. 230 с. 7. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М. Мир, 1976. 166 с. 8. *Корченко А.* Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения. К. МК-Прогресс. 2006. 320 с. 9. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. Радио и связь. 1993. 320 с. 10. *Bussmann J., Schmidt T., Bauer A.* Proactive event management in the supply chain of aircraft spare parts. *Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. 2007. P. 65–82.

Транслітерований список літератури:

- Ulansky V., Terentyeva I.*, Availability modeling of a digital electronic system with intermittent failures and continuous testing. *Engineering Letters*. 2017. Vol. 25, № 2. P. 104-111.
- Уланський В. В., Терент'єва І. Є., Мачалін І. О.* Оцінка готовності телекомунікаційних систем з різними видами відмов. *Наукоємні технології*. 2019. № 1 (41), 2019. С. 95–100.
- Prasad V. B.* Computer networks reliability evaluations and intermittent faults // *Proc. of 1990 IEEE 33th Midwest Symp. on Circuits and Systems*, vol. 1 Calgary, Alta, 1990, pp. 327-330.
- V. B. Prasad*, “Digital systems with intermittent faults and Markovian models”, in *Proc. of 1992 IEEE 35th Midwest Symp on Circuits and Systems*, vol. 1, Washington, 1992, pp. 195-198.
- Nakagava T.* Advanced reliability models and maintenance policies. London: Springer, 2008, 234 p.

6. *Dokument SP-3-0092*: (Standart TIA-942, redakcyja 7.0, fevral' 2005). NY. 230 s.
7. *Zade L.* Poryjatye lyngvystycheskoj peremenoj y ee pryumenenye k pryjatyju pryblzhennyh reshenyj. M. Myr, 1976. 166 s.
8. *Korchenko A.* Postroenye system zashhyty ynformacyu na nechetykh mnozhestvah. Teoryja y praktycheskye reshenyja. K. MK-Progress. 2006. 320 s.
9. *Saaty T.* Prynjatye reshenyj. Metod analiza yerarhyj. M. Radyo y svjaz'. 1993. 320 s
10. *Bussmann J., Schmidt T., Bauer A.* Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. 2007. P. 65–82.

Надійшла до редколегії 04.03.2019

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Бараннік В.В.

Мачалін Ігор Олексійович, д-р техн. наук, проф., декан Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: експлуатація та проектування інформаційно-телекомунікаційних систем. Хобі: музика. Адреса: Україна, 03054, Київ, пр. Космонавта Комарова, 1, e-mail: igor.machalin@ukr.net

Терентьєва Ірина Євгенівна, канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: моделювання експлуатаційної надійності інформаційно-телекомунікаційних та радіотехнічних систем. Хобі: музика, бадмінтон, більярд. Адреса: Україна, 03054, Київ, пр. Космонавта Комарова, 1, e-mail: i.terentyeva@ukr.net

Machalin Igor Alekseevich, DSc (Eng), Prof., Dean of the Faculty of Aeronavigation, Electronics and Telecommunications at the National Aviation University. Research interests: operation and design of information and telecommunication systems. Hobby: music. Address: Ukraine, 03054, Kyiv, Cosmonaut Komarov Ave., 1, e-mail: igor.machalin@ukr.net

Terentieva Iryna Yevhenivna, PhD, Associate Professor of the Department of Telecommunication Systems of the the Faculty of Aeronavigation, Electronics and Telecommunications at the National Aviation University. Research interests: operation and maintenance modeling of information, telecommunication and radio engineering systems. Hobby: music, badminton, billiards. Address: Ukraine, 03054, Kyiv, Cosmonaut Komarov Ave., 1, e-mail: i.terentyeva@ukr.net