

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДІЙНОСТІ СИМЕТРИЧНИХ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

© Павлюк О., 2017

Запропоновано програмний модуль для розрахунку основних характеристик надійності симетричних ієрархічних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами з галуженням до 1-го рівня. Здійснено прогнозування характеристик надійності за допомогою неітераційної штучної нейронної мережі радіального типу. Розраховано середньоквадратичну приведену до діапазону значень похибку навчання і прогнозу, а також оцінено час навчання та прогнозування ШНМ.

Ключові слова: ієрархічна розгалужена система, штучна нейронна мережа, прогнозування, неітераційне навчання ШНМ, старіючі вихідні елементи.

A software module for the calculation of the basic characteristics of reliability the symmetric hierarchical distributed systems with a deprecated outgoing elements with branching till the level 1. The prediction of reliability characteristics is done using the artificial neural network of the non iterative radial type. The reduced to the mean value range errors of the ANN learning and forecasting are calculated as well as the time estimations for the ANN learning and forecasting.

Key words: hierarchical branched system, artificial neural network forecasting non-iterational training ANN, deprecated outgoing elements.

Вступ

В умовах стрімкого розвитку науки та техніки, забезпечення показників надійності на усіх етапах життєвого циклу технічних систем є надзвичайно важливим аспектом. Також особливого змісту набуває підвищення якості та економічної ефективності функціонування системи. Одним із ключових показників якості є надійність, яка безпосередньо впливає на економічну ефективність. Підвищення відповідальності та складності сучасних систем накладає жорсткі вимоги до оцінювання та забезпечення показників надійності. Ефективне функціонування елементів гарантує високі якісні показники надійності системи.

На світовому ринку систем розрахунку надійності існують програмно-апаратні комплекси та продукти, призначені для розрахунку характеристик надійності систем. Такими програмними засобами є: Арбітр; автоматизоване робоче місце Надійності; АСОНІКА-К; AnyGraph; CRISS; BlockSim; ITEM Software; RAM Commander; Relex та RiskSpectrum; ReliabilityWorkbench; Windchill. Недоліки цих систем полягають у тому, що: для ймовірнісно-часових розрахунків використовується тільки експонентний закон розподілу часу безвідмовної роботи; вони розраховані для АСУ, одним з елементів яких є людина; визначають характеристики надійності систем на межі стійкості для виявлення вузьких місць у системі, тобто нестандартних ситуацій. Тому для розрахунку характеристик надійності локальних комп'ютерних систем зі старіючими вихідними елементами ці програмні засоби можна використати лише зі значними обмеженнями.

Більшість існуючих систем можна описати ієрархічною деревоподібною розгалуженою структурою. Деякі локальні комп'ютерні мережі мають розгалужену ієрархічну структуру, причому на вихідному рівні таких систем розташовані пристрої, які механічно зношуються (принтери, клавіатури, дисководи). Іншим прикладом розгалужених ієрархічних систем зі старіючими вихідними елементами є інформаційно-вимірювальні системи, вихідними елементами яких є давачі,

що піддаються зношуванню. Старіння елементів означає, що ймовірнісні характеристики надійності погіршуються з часом. Наприклад, старіння певного пристрою може означати зростання з часом інтенсивності відмов або зменшення середнього значення залишкового часу роботи залежно від того, скільки часу пристрій уже пропрацював [1].

Ієрархічні розгалужені системи (ІРС) є окремим класом складних технічних систем, принцип роботи яких суттєво відрізняється від традиційних систем. У таких системах немає однозначного стану роботи чи відмови. Натомість є достатньо велика кількість можливих станів системи, і впродовж своєї роботи системи переходять з одного працездатного стану до іншого. Прогнозування параметрів надійності ІРС на етапах проектування дає змогу визначити ймовірнісні і часові характеристики надійності систем, порівнювати можливі варіанти структури систем з надійності залежно від вимог технологічного процесу.

Актуальність дослідження полягає у тому, що без розроблення ефективних методів і засобів для розрахунку характеристик надійності систем неможливо або дуже важко вирішити низку питань проектування й експлуатації систем. Це вибір структури і раціонального резервування, організація системи контролю і профілактики, вирішення питань технології виробництва і виробничого контролю, проектування систем поповнення запасними виробами, організація випробувань системи.

Опис алгоритму

Наведемо розрахункові формули для обчислення основних характеристик надійності симетричної ІРС розгалуженої до 1-го рівня із старіючими елементами на вихідному рівні [2, 3]. Через P_0, q_0, P_1, q_1 позначено ймовірності роботи і відмови елементів системи для нульового і першого рівнів відповідно. Позначимо через a_1 – коефіцієнт галуження для першого рівня.

$P_1(x_1)$ ймовірність того, що працюють x_1 вихідних елементів системи. Якщо $0 < x_1 \leq a_1$, то отримаємо формулу (1). Якщо $x_1 = 0$, то до формули (1) додають ще q_0 .

$$P_1(x_1) = P_0 C_{a_1}^{x_1} P_1^{x_1} q_1^{a_1 - x_1} \quad (1)$$

Нульовий рівень такої системи підпорядковуються експоненційному закону розподілу, а вихідний – Релея. Тоді $P_1(x_1, t)$ ймовірність того, що працюють x_1 вихідних елементів системи набуде такого вигляду:

$$P_1(x_1, t) = e^{-\lambda_0 t} C_{a_1}^{x_1} e^{-\frac{x_1 t^2}{2\delta^2}} \left(1 - e^{-\frac{t^2}{2\delta^2}}\right)^{a_1 - x_1} \quad (2)$$

Коефіцієнт готовності обчислюють за формулою 3.

$$K_{r1}(k, t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_1=k}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\frac{x_1 t^2}{2\delta^2}} \left(1 - e^{-\frac{t^2}{2\delta^2}}\right)^{a_1 - x_1} \quad (3)$$

Першу часову характеристику – тривалість перебування системи у кожному з можливих працездатних станів – обчислюємо за формулами (4) та (5):

$$T_1(x_1, t) = C_{a_1}^{x_1} \sum_{j=0}^{a_1 - x_1} C_{a_1 - x_1}^j (-1)^j \frac{\delta \sqrt{\pi}}{\sqrt{2(x_1 + j)}} e^{\frac{\lambda_0 \delta^2}{2(x_1 + j)}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda_0 \delta}{\sqrt{2(x_1 + j)}}\right) \quad (4)$$

Додатковий інтеграл ймовірностей обчислюємо так:

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-t^2} dt \quad (5)$$

Для розрахунку другої часової характеристики – тривалості перебування системи у заданому стані готовності до попередньої формули – додаємо умову готовності системи:

$$T_1(x_1, t) = \sum_{x_1=k}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} \sum_{j=0}^{a_1 - x_1} C_{a_1 - x_1}^j (-1)^j \frac{\delta \sqrt{\pi}}{\sqrt{2(x_1 + j)}} e^{\frac{\lambda_0 \delta^2}{2(x_1 + j)}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda_0 \delta}{\sqrt{2(x_1 + j)}}\right) \quad (6)$$

Ймовірність відмови системи за заданого стану готовності обчислюємо наступним чином:

$$Q_1(k, t) = 1 - e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_1=k}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\frac{x_1 t^2}{2\delta^2}} (1 - e^{-\frac{t^2}{2\delta^2}})^{a_1-x_1} \quad (7)$$

Частоту відмов системи за заданого стану готовності вираховуємо як похідну від коефіцієнта готовності взятого з протилежним знаком.

$$a_1(k, t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{x_1=k}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} (-1)^j \left(\frac{(x_1 + j)}{\delta^2} t + \lambda_0 \right) e^{-\frac{x_1 + j}{2\delta^2} t^2} \quad (8)$$

Інтенсивність відмов системи за заданого стану готовності розраховуємо, поділивши частоту за заданого стану готовності на коефіцієнт готовності системи.

$$\lambda_1(k, t) = \frac{\sum_{x_1=k}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} (-1)^j \left(\frac{(x_1 + j)}{\delta^2} t + \lambda_0 \right) e^{-\frac{x_1 + j}{2\delta^2} t^2}}{\sum_{x_1=k}^{a_1} C_{a_1}^{x_1} e^{-\frac{x_1 t^2}{2\delta^2}} (1 - e^{-\frac{t^2}{2\delta^2}})^{a_1-x_1}} \quad (9)$$

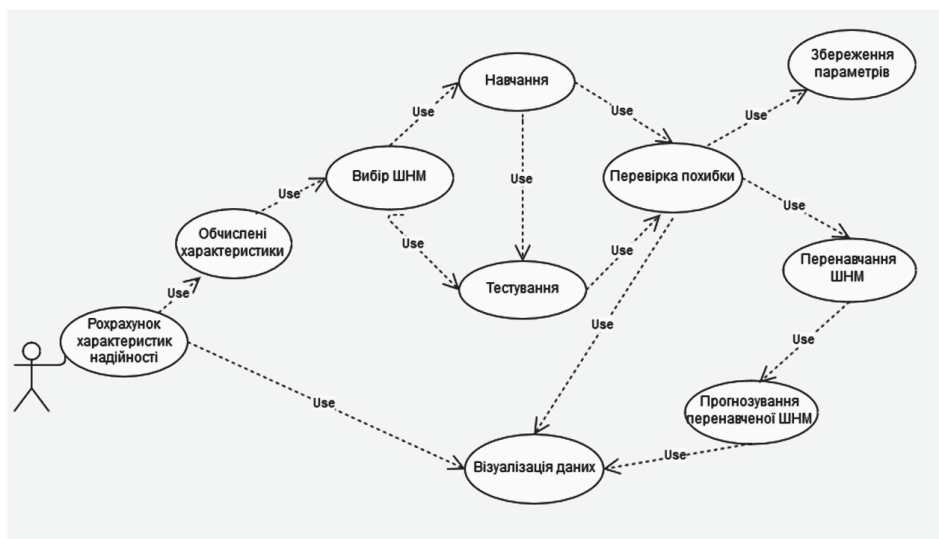


Рис 1. Діаграма прецедентів

Щоб описати роботу системи, розроблено діаграму прецедентів для розрахунку та прогнозування основних характеристик надійності симетричної ІРС. На ній проєктовану систему подано у вигляді безлічі сутностей чи акторів, що взаємодіють із системою за допомогою так званих варіантів використання для опису послуг, які система надає

актору. Тобто кожен варіант використання визначає деякий набір дій, який виконує система під час діалогу з актором. При цьому нічого не говориться про те, як буде реалізовано взаємодію акторів із системою.

Опис прецедентів:

- Користувач – може внести дані.
- Перевірка коректності – прецедент, який перевіряє, чи коректні дані внесено.
- Навчання ШНМ – прецедент для навчання ШНМ.
- Тестування ШНМ – прецедент, який тестує ШНМ, тобто здійснює прогноз.
- Перевірка похибки – прецедент для перевірки похибки прогнозу.
- Збереження параметрів – прецедент, який зберігає параметри ШНМ.
- Візуалізація – відображення опрацьованих даних.

Для створення інтерфейсу застосунку для прогнозування основних характеристик надійності симетричних ІРС було використано середовище Eclipse Neon та мову програмування Java. Інтерфейс програми складається з: головного меню, поля введення даних, поля візуалізації результатів. Поле для внесення даних складається з таких налаштувань: рівнів, розрахунків значень, побудови графіків (рис. 3).

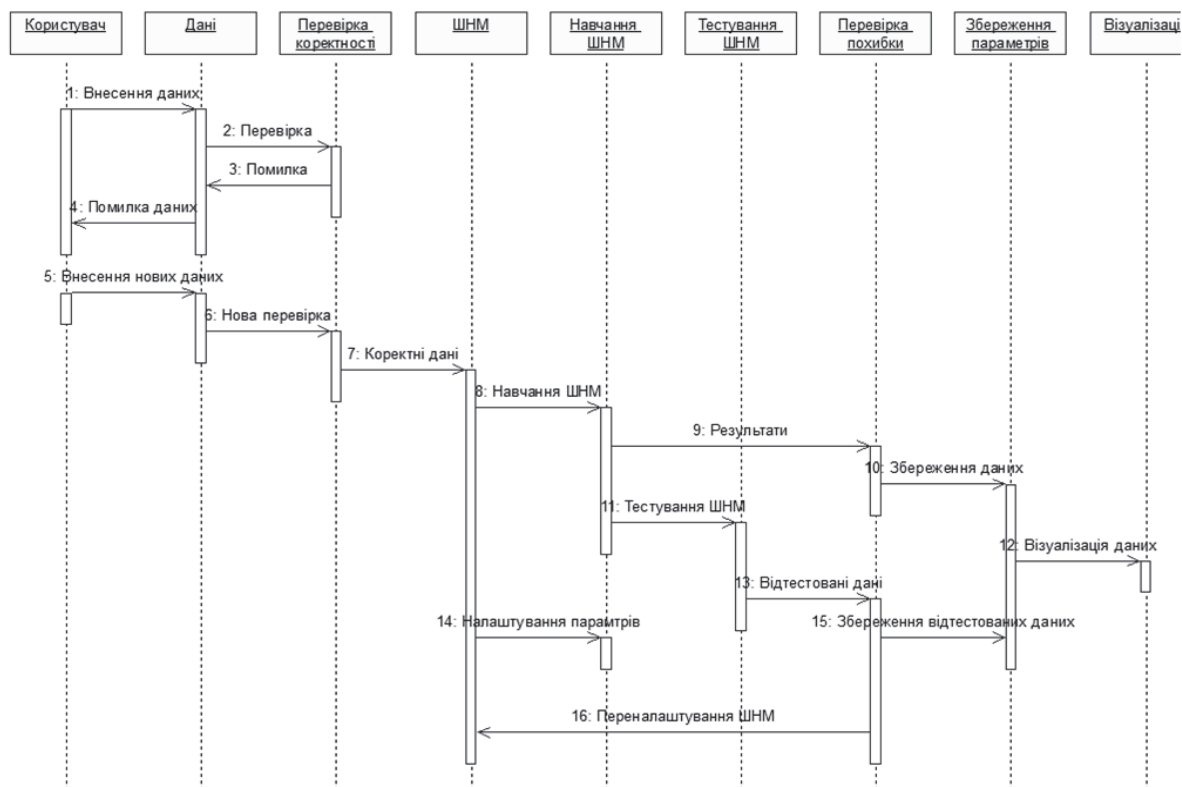


Рис 2. Діаграма послідовності

На розробленій діаграмі послідовності (рис. 2) показано взаємодії об'єктів, впорядковані за часом їх прояву. За допомогою діаграми послідовності представлено взаємодію елементів моделі як своєрідний часовий графік “життя” всієї сукупності об'єктів, пов'язаних між собою для реалізації варіанта використання програмної системи, досягнення бізнес-мети.

Розрахунок параметрів надійності симетричних систем

Файл Виконання Інформація

Налаштування рівнів Налаштування розрахунків точ. знач. Налаштування побудови графіків

Введіть кількість рівнів 2

N рівня	Коефіцієнт розгалуження	Закон	Параметр закону	Beta (тільки для Вуйбула)
0	0	Exponential law	0.000500	
1	4	Rayleigh law	10000	

Розрахунок параметрів надійності симетричних систем

Файл Виконання Інформація

Налаштування рівнів Налаштування розрахунків точ. знач. Налаштування побудови графіків

Параметри для знаходження точних значень характеристик системи

Характеристики	N	Точне значення	Вхідні параметри для розрахунків
Розподіл імовірностей числа вхідних працюючих елементів	1.1	☒ x	10 t 1200
Коефіцієнт готовності системи	1.2	☒ k	5 t 1200
Тривалість перебування системи в кожному з можливих станів	2.1	☒ x	10
Тривалість перебування системи в заданому стані готовності	2.2	☒ k	5
Імовірність відмови системи	3.1	☒ k	5 t 1200
Густина відмов	3.2	☒ k	5 t 1200
Щільність відмов	3.3	☒ k	5 t 1200

Розрахунок параметрів надійності симетричних систем

Файл Виконання Інформація

Налаштування рівнів Налаштування розрахунків точ. знач. Налаштування побудови графіків

Параметри для побудови графіків характеристик системи

Характеристики	N	Графік	Вхідні параметри для розрахунків
Розподіл імовірностей числа вхідних працюючих елементів	1.1	☒ x	від t 1 крок 10 до t 1200
Коефіцієнт готовності системи	1.2	☒ k	від t 1 крок 10 до t 1200
Тривалість перебування системи в кожному з можливих станів	2.1	☒	від x 1 крок 1 до x 10
Тривалість перебування системи в заданому стані готовності	2.2	☒	від k 1 крок 1 до k 5
Імовірність відмови системи	3.1	☒ k	від t 1 крок 10 до t 1200
Густина відмов	3.2	☒ k	від t 1 крок 10 до t 1200
Щільність відмов	3.3	☒ k	від t 1 крок 10 до t 1200

Рис. 3. Поля для внесення даних

Спочатку користувач запускає програмний застосунок і в полі вводить кількість рангів та переходить до поля “коефіцієнт розгалуження”. Задавши значення, користувач вибирає в полі “Параметри закону” закон розподілу серед експоненційного, Вейбула, Релея.

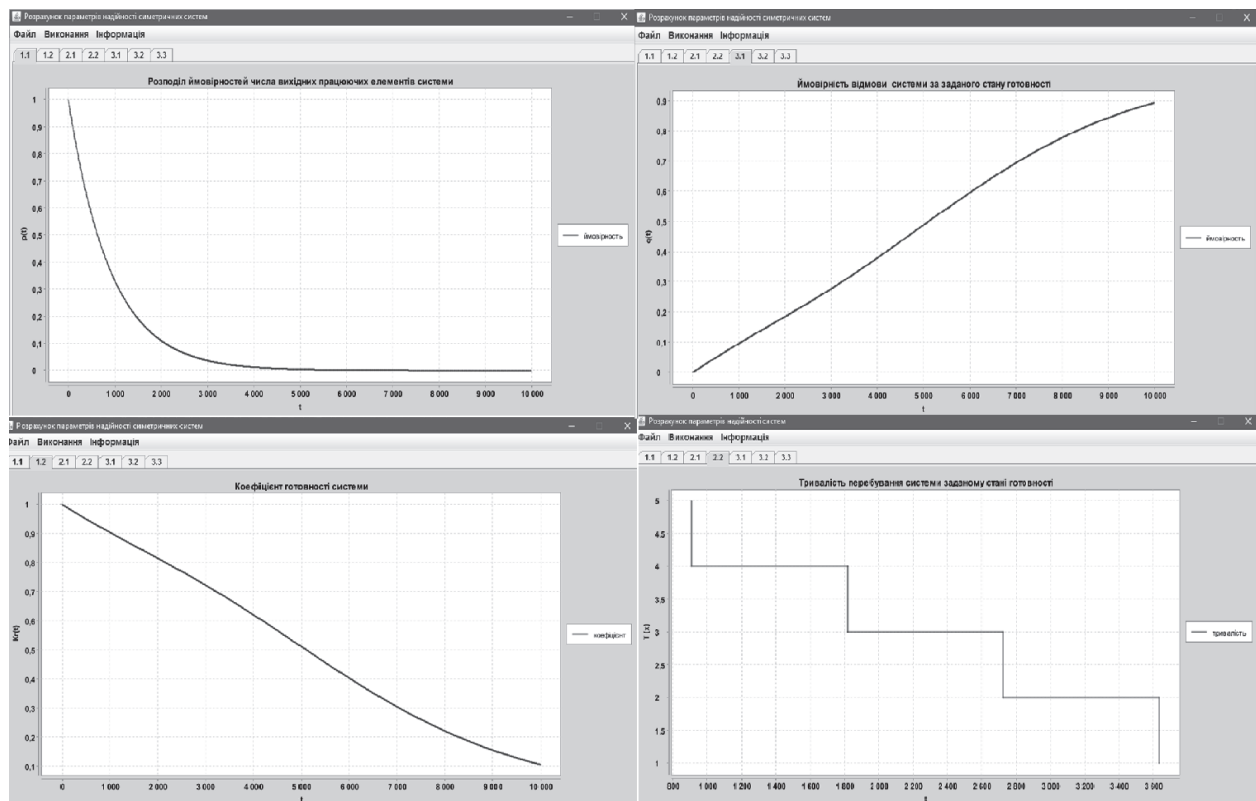


Рис. 4. Графічне представлення результатів розрахунку основних характеристик надійності ІРС

Відкривши пункт “Розрахунки”, можна побачити значення розрахованих параметрів надійності, а також їхнє графічне представлення (див. рис. 4). В них вказано дані ймовірнісних характеристик надійності систем і з відображенням результатів за пунктами:

1. Розподіл ймовірностей числа вихідних працюючих елементів системи;
2. Коефіцієнт готовності системи;
3. Тривалість перебування системи у кожному з можливих працездатних станів;
4. Тривалість перебування системи у заданому стані готовності;
5. Ймовірність відмови системи за заданого стану готовності;
6. Частота відмов системи за заданого стану готовності;
7. Інтенсивність відмов системи за заданому стану готовності.

За завчасністю методи прогнозування основних показників надійності симетричних ІРС можна поділити на календарні і некалендарні. Залежно від періоду випередження усі прогнози поділено на: короткотермінові прогнози до 15 точок; середньотермінові прогнози від 15 до 80 точок; довготермінові прогнози від 80 точок [4, 5].

Для прогнозування основних характеристик надійності ІРС вибрано неітераційну нейромережу з радіальними базовими функціями [6, 7]. Здійснено короткотермінове прогнозування основних характеристик надійності ієрархічних розгалужених систем. Особливістю є прогнозування до 15 точок за однією характеристикою надійності симетричної ІРС, наприклад, ймовірності відмови системи. Для цього задають такі параметри: кількість входів – 5, кількість виходів – 1, кількість нейронів на прихованому прошарку – 5, кількість блоків функціонального розширення – 0, степінь поліномів – 3, кількість навчальних векторів – 19, кількість векторів для передбачення – 24. Далі вказуємо файли даних для навчальної вибірки і контрольної вибірки. Після цього навчають та тестують нейронну мережу. За результатами експерименту можна побачити, що середньоквадратична приведена до діапазону значень похибка прогнозу становила 0.24 %, а максимальна – 0.65 %.

Здійснено середньотермінове прогнозування основних характеристик надійності ієрархічних розгалужених систем. Здійснено прогнозування з випередженням на 29 точок за трьома характеристиками: ймовірності відмови, частоті відмов та інтенсивності відмов елементів ІРС. Кількість входів – 3, кількість виходів – 1, кількість нейронів на прихованому прошарку – 5, кількість блоків функціонального розширення – 0, степінь поліномів – 2, кількість навчальних векторів – 14, кількість векторів для передбачення – 43. У результаті отримано середньоквадратичну приведену до діапазону значень похибку прогнозу – 0.57 %, а максимальну – 1.08 %.

Здійснено довготермінове прогнозування основних характеристик надійності ієрархічних розгалужених систем. Особливістю є прогнозування понад 80 точок за трьома характеристиками: частотою відмов, ймовірністю відмови та інтенсивністю відмови елементів ІРС. За даними експерименту можна побачити, що середньоквадратична приведена до діапазону значень похибка прогнозу становила 0.39 %, а максимальна – 0.66 %.

Висновки

1. Відомі традиційні методи аналізу й оцінювання надійності систем здебільшого орієнтовані на прості об'єкти й не можуть повною мірою задовольнити потреби аналізу надійності ІРС з великою кількістю елементів.

2. Аналіз отриманих результатів показує, що використання нейромереж для прогнозування характеристик надійності симетричних ІРС дає задовільні результати. Для досягнення найбільшої швидкості навчання нейромережі із задовільною точністю прогнозу слід використовувати неітераційні ШНМ, зокрема з радіальними базовими функціями.

3. Особлива роль використання розробленого ужитку полягає у прогнозуванні характеристик надійності комп'ютерних мереж зі старіючими вихідними елементами для подальшого планування технічних оглядів та профілактичних ремонтів локальний комп'ютерних мереж.

4. У галузі освіти розроблений застосунок для розрахунку та прогнозування основних характеристик надійності ІРС зі старіючими вихідними елементами може бути одночасно корисний двом групам користувачів: студентам, які зможуть перевірити себе щодо правильності виконання завдань з навчальної дисципліни “Надійність систем”, та викладачам, яким буде легше перевіряти роботи студентів.

1. Щербовських С. В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження: монографія / С. В. Щербовських. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 296 с. 2. Марунчак Д. Є., Сидор А. Р. Розрахунок надійності ієрархічних розгалужених систем зі старіючими вихідними елементами: навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – 72 с. 3. Павлюк О. “Прогнозування ймовірності роботи та відмови за заданої умови готовності симетричних ієрархічних систем, галужених до 4-го рівня, за допомогою штучних нейронних мереж” / О. Павлюк // Вісник Національного ун-ту “Львівська політехніка”. – 2014. – № 800: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 72–77. 4. Ткаченко Р. О. Штучна нейронна мережа таблично-алгоритмічного типу // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”. – 1999. – № 351. – С. 91–93. 5. Ткаченко Р. О., Павлюк О. М., Козут Р. М. Лінеаризація задач передбачення шляхом фазифікації // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”. – 2004. – № 521. – С. 214–219. 6. Ткаченко Р. О., Павлюк О. М., Ткаченко П. Р. Особливості тренування нейромереж прямого поширення за методом “К найближчих сусідів” // Відбір і обробка інформації. – 2004. – № 20(96). – С. 121–126. 7. Метод надвисокої роздільної здатності зображень на основі моделі геометричних перетворень / І. В. Ізонін, Р. О. Ткаченко, Д. Д. Пелешко, Д. А. Батюк // “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту”: зб. міжнар. наук. конф.: Аналіз та моделювання складних систем і процесів. Теоретичні і прикладні аспекти систем прийняття рішень. Обчислювальний інтелект та індуктивне моделювання, 25–28 травня 2015 р., Залізний порт. – Херсон: ХНТУ, 2015. – С. 284–286.