

УДК 681.35

**В.В. Кузавков,**

доктор технічних наук, професор, начальник кафедри  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації,  
м. Київ,

**П.В. Хусаїнов,**

кандидат технічних наук, доцент, докторант  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації,  
м. Київ

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕРЕЖІ ОДНОТИПНИХ ПРОГРАМНО- АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

*Розглянуто новий об'єкт технічного діагностування – мережу однотипних програмно-апаратних засобів. Типізація та формалізація функцій операційного середовища обчислювальних процесів подається в контексті забезпечення алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності вузлів мережі однотипних програмно-апаратних засобів. Запропоновані параметри мають мультиплікативний характер. Цей підхід започатковує формування нового термінологічного, понятійного базису методології діагностування стану технічного об'єкта.*

**Ключові слова:** *технічне діагностування, мережа програмно-технічних засобів.*

*Рассмотрен новый класс объектов технической диагностики – сеть однотипных программно-аппаратных средств. Типизация и формализация функций операционной среды вычислительных процессов подается в контексте обеспечения алгоритмической, информационной, физической связности узлов сети однотипных программно-аппаратных средств. Предложенные параметры имеют мультипликативный характер. Данный подход формирует новый терминологический, понятийный базис методологии диагностирования сложного технического объекта.*

**Ключевые слова:** *техническая диагностика, сеть однотипных программно-аппаратных средств.*

*A new class of technical diagnostic objects was defined – “same type firmware network”. Typification and formalization of functions of the processes operating runtime environment in case of algorithmic, information, physical connectivity nodes of the same type of firmware network are proposed. The assumed parameters have a multiplicative character. This approach forms a new terminological and conceptual basis for the complex technical objects diagnosing methodology – “same type firmware network”. Monitoring and evaluation of the state of a complex technical object is the initial step in the decision-making of the diagnostic operator.*

**Keywords:** *technical diagnostics, same type firmware network.*

### Вступ

В [1–2] визначений новий об'єкт технічного діагностування, який утворюється сукупністю інформаційно-взаємодіючих (на певному часовому інтервалі

експлуатації) *одиниць обчислювальної роботи* (зумовлених виконанням узгоджених за цілями, місцем та часом функцій автоматизованої обробки інформації прикладних задач) *множини програмно-апаратних засобів* (забезпечення діяльності організаційної структури). Для означення об'єктів цього класу запропоновано вживати термін “мережа однотипних програмно-апаратних засобів”, який, на нашу думку, підкреслює суттєві науково-методологічні аспекти цього технічного об'єкта. По-перше, “мережа” є найбільш придатним модельним узагальненням взаємно-однозначного відображення структур організаційних, алгоритмічних, інформаційних та фізичних зв'язків у поняттях формальних об'єктів теорії графів (граф, гіперграф, мережа, вузол мережі, ребро, дуга, інцидентність, суміжність, ланцюг, шлях, маршрут, зв'язність, ступінь вузла і т. ін.). По-друге, “однотипність” – об'єктивна сучасна тенденція типізації (уніфікації, стандартизації) взаємодії різноманітних програмно-апаратних засобів на рівні програмних, апаратних інтерфейсів у контексті еталонної моделі взаємодії відкритих (від англ. *Open System Interconnection, OSI*).

Актуальність виділення мережі однотипних програмно-апаратних засобів як нового об'єкта технічного діагностування зумовлена наявністю відповідних ознак у багатьох сучасних технічних систем: інформаційно-телекомунікаційна система; радіомережа персональних мобільних комунікаційних пристроїв і т. ін. Формалізація технічного стану є одним з основних питань організації технічного діагностування (контроль і оцінка технічного стану, пошук і локалізація несправностей) мережі однотипних програмно-апаратних засобів.

**Аналіз останніх публікацій**

З позиції системного підходу технічна система типу “мережа однотипних програмно-апаратних засобів” повинна мати інтерпретацію як цілісну сукупність взаємодіючих однотипних елементів. *Програмно-апаратний засіб* – типовий елемент як цілісна комбінація (типових, стандартизованих) апаратних компонентів обчислювальної техніки та *обчислювальної складової організації* і забезпечення виконання алгоритмів програмного забезпечення функцій автоматизованої обробки інформації прикладних задач організації (рис. 1):

- генерування, споживання, обробка інформаційних потоків;
- своєчасне, безпомилкове транспортування (відповідно до технічних умов) інформаційних потоків.



Рис. 1. Обчислювальна складова типового програмно-апаратного засобу

*Обчислювальний процес* (ОП) – одиниця обчислювальної роботи та суб'єкт доступу при оперуванні системними об'єктами. *Системний об'єкт* – логічне представлення джерела/адресата в операціях ОП щодо читання/запису даних за межами виділеного адресного простору пам'яті, приховуючи технологічні особливості і абстрагуючись від фізичної природи запам'ятовуючого середовища. Абстрагування від фізичної природи системних об'єктів досягається широким застосуванням принципу багаторівневості. Це дозволяє забезпечити принаймні кілька етапів поступової деталізації (наближення) від програмної реалізації системних викликів оперування системними об'єктами до рівня мікропрограм управління компонентами апаратного забезпечення.

Множина системних об'єктів утворює структурований простір їх імен (ідентифікаторів) в адресному просторі ядра. Організація взаємодії обчислювальних процесів здійснюється виключно на основі і при посередництві системних об'єктів.

*Ядро* (операційної системи) – основний компонент системного програмного забезпечення програмно-апаратного засобу, який у ході свого нормального функціонування забезпечує виконання основних функціональних складових організації обчислювальної роботи [3–4].

Структура є найбільш інформативною інтегративною характеристикою у просторі і часі. Вона дозволяє наочно охопити, уявити та визначити взаємодію, вплив елементів у ході функціонування (принаймні у двох цікавих для дослідника аспектах). Перший розглядає структуру як інваріантну (незмінну в часі) форму представлення складових частин об'єкта, розподіл функцій за елементами і т. ін., другий – не вимагає безумовної інваріантності (змінюється в часі) і може розглядатися як *відображення поточного стану системи*. Основним теоретико-методологічним базисом наочного представлення, дослідження структур є теорія графів, для формалізації різнотипних відношень, взаємозалежності однотипних об'єктів предметної області – методи представлення знань, математичної логіки [5–8].

#### **Постановка завдання**

Одним із підходів до оцінки ефективності складних систем є введення адитивного результируючого показника добутку ймовірності технічного стану з нормованим для нього параметром ефективності. Так, ефективність мережі однотипних програмно-апаратних засобів:

$$E = \sum_{k=1}^{\omega} P_k \cdot Q_k, \quad (1)$$

де  $P_k$  – ймовірність  $k$ -го технічного стану,  $Q_k$  – структурно-інформативний параметр, який характеризує структуру алгоритмічних, інформаційних, фізичних зв'язків між елементами у  $k$ -му стані,  $\omega$  – кількість технічних станів.

Виходячи з викладеного, *дано*:  $M$  – мережа однотипних програмно-апаратних засобів. *Необхідно знайти*: формальне представлення структурно-інформативного параметру  $Q_k$ , придатного для опису технічного стану  $M$ .

#### **Основна частина**

*Мережа однотипних програмно-апаратних засобів* (далі також – МЗ) – логічна модель, заснована на взаємно-однозначному відображенні структури

відношень між операційними середовищами обчислювальних процесів вузлів МЗ (однотипні програмно-апаратні засоби) на множину формальних об'єктів та відношень між ними, а саме (рис. 1):

- *алгоритмічна зв'язність* – організація взаємодії обчислювальних процесів, зумовлених виконанням узгоджених за цілями, місцем та часом функцій автоматизованої обробки інформації прикладних задач;
- *інформаційна зв'язність* – сукупність напрямків своєчасного та правильного (безпомилкового) транспортування інформаційних потоків каналами передачі даних через фізичне середовище (в контексті алгоритмічної зв'язності організаційної структури взаємодії обчислювальних процесів);

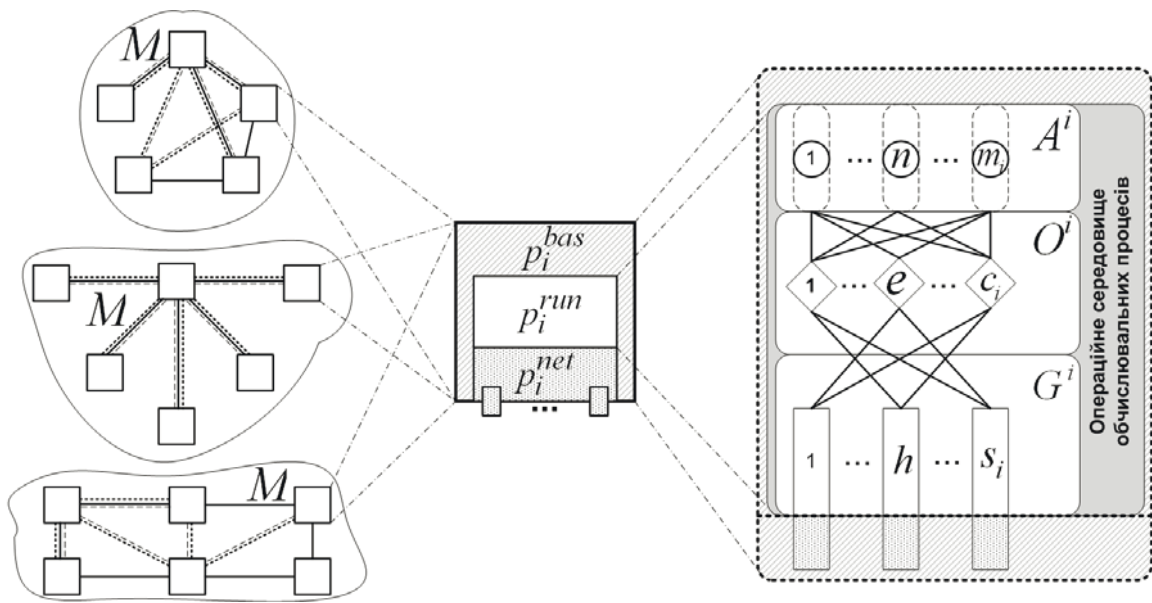


Рис. 2. Технічний об'єкт “мережа однотипних програмно-апаратних засобів” (точкова, штрихова, безперервна лінія позначає, відповідно, алгоритмічну, інформаційну, фізичну зв'язність вузлів)

- *фізична зв'язність* – канали передачі даних (ПД) через фізичне середовище як технологічна основа транспортування інформаційних потоків.

Формальне подання логічної моделі МЗ:

$$M = \langle V, W, D, L \rangle, \tag{2}$$

де  $V = \{v_i\}$  – множина операційних середовищ обчислювальних процесів вузлів МЗ,  $W, D, L$  – предикати відношень, відповідно, алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності формальних об'єктів операційного середовища обчислювальних процесів  $i$ -го і  $j$ -го вузла МЗ,  $v_i, v_j \in V, i, j = 1, |V|, i \neq j$ ,

$$W = \begin{cases} 1, & \langle a_{nb}^i, a_{nb}^j \rangle \in \rho(w_{nb}^{ij}), \\ 0, & \langle a_{nb}^i, a_{nb}^j \rangle \notin \rho(w_{nb}^{ij}), \end{cases} \tag{3}$$

$$D = \begin{cases} 1, & \langle o_{eu}^i, o_{eu}^j \rangle \in \rho(d_{eu}^{ij}), \\ 0, & \langle o_{eu}^i, o_{eu}^j \rangle \notin \rho(d_{eu}^{ij}), \end{cases} \quad (4)$$

$$L = \begin{cases} 1, & \langle g_{hk}^i, g_{hk}^j \rangle \in \rho(l_{hk}^{ij}), \\ 0, & \langle g_{hk}^i, g_{hk}^j \rangle \notin \rho(l_{hk}^{ij}). \end{cases} \quad (5)$$

де  $\rho(w_{nb}^{ij}) \subseteq A^i \times A^j$  (алгоритмічна зв'язність)  $\rho(d_{eu}^{ij}) \subseteq O^i \times O^j$  (інформаційна зв'язність),  $\rho(l_{hk}^{ij}) \subseteq G^i \times G^j$  (фізична зв'язність) – відношення відповідних формальних об'єктів операційного середовища обчислювальних процесів  $i$ -го і  $j$ -го вузла МЗ.

*Вузол МЗ* – з точки зору авторів, це сукупність (взаємодіючих, незалежних) апаратної та обчислювальної функціональної складової програмно-апаратного засобу технічного об'єкта МЗ (рис. 2):

– апаратна складова (АС) розподілена на: *АС обчислювальної роботи* – обов'язкові (основні) функціональні (апаратні) компоненти для організації і забезпечення виконання одиниць обчислювальної роботи вузла МЗ (процесор, пам'ять, системна шина, система переривань, таймер, системний годинник і т. ін.); *АС фізичних каналів ПД* – пристрої мережевого введення/виведення для організації і забезпечення каналів ПД через фізичне середовище (за умови працездатності АС обчислювальної роботи);

– обчислювальна складова – *операційне середовище обчислювальних процесів* – логічний об'єкт, утворений сукупністю обчислювальних процесів, працюють під управлінням ядра (операційної системи) вузла МЗ (за умови працездатності АС обчислювальної роботи).

*Операційне середовище обчислювальних процесів (ОСП)*  $i$ -го вузла МЗ – семантична мережа відношень між обчислювальними процесами, системними об'єктами та мережевими інтерфейсами ОСП  $i$ -го вузла МЗ:

$$v_i = \langle A^i, O^i, G^i, X, Y \rangle, \quad (6)$$

де  $A^i = \{a_{nb}^i\}$  – множина обчислювальних процесів  $i$ -го вузла МЗ,  $n$  – умовний порядковий номер (співвіднесений з унікальним системним ідентифікатором) обчислювального процесу,  $n = 1, m_i$ ,  $m_i$  – кількість обчислювальних процесів  $i$ -го вузла МЗ,  $b \in B$ ,  $B$  – множина типів обчислювальних процесів;  $O^i = \{o_{eu}^i\}$  – множина системних об'єктів  $i$ -го вузла МЗ,  $e$  – умовний порядковий номер (співвіднесений з унікальним системним ідентифікатором) системного об'єкта,  $e = 1, c_i$ ,  $c_i$  – кількість системних об'єктів  $i$ -го вузла МЗ,  $u \in U$ ,  $U$  – множина типів системних об'єктів;  $G^i = \{g_{hk}^i\}$  – множина мережових інтерфейсів  $i$ -го вузла МЗ,  $h$  – умовний порядковий номер (співвіднесений з унікальним системним ідентифікатором) мережевого інтерфейсу,  $h = 1, s_i$ ,  $s_i$  – кількість мережових інтерфейсів  $i$ -го вузла МЗ,  $k \in K$ ,  $K$  – множина типів мережових інтерфейсів,  $X, Y$  – предикати відношень “доступ  $a_{nb}^i \in A^i$  обчислювального процесу до  $o_{eu}^i \in O^i$  системного об'єкта” та “трансляція (відображення) операцій з  $o_{eu}^i \in O^i$  системним об'єктом на операції прийому/передачі даних через  $g_{hk}^i \in G^i$  мережевий інтерфейс”:



$$X = \begin{cases} 1, & \langle a_{nb}^i, o_{eu}^i \rangle \in \rho(x_{ne}^i), \\ 0, & \langle a_{nb}^i, o_{eu}^i \rangle \notin \rho(x_{ne}^i), \end{cases} \quad (7)$$

$$Y = \begin{cases} 1, & \langle o_{eu}^i, g_{hk}^i \rangle \in \rho(y_{eh}^i), \\ 0, & \langle o_{eu}^i, g_{hk}^i \rangle \notin \rho(y_{eh}^i), \end{cases} \quad (8)$$

де  $\rho(x_{ne}^{ij}) \subseteq A^i \times O^i$  (доступ),  $\rho(y_{eh}^{ij}) \subseteq O^i \times G^i$  (трансляція операцій) – відношення відповідних формальних об'єктів ОСП  $i$ -го і  $j$ -го вузла МЗ.

На підставі (2–8), алгоритмічна зв'язність обчислювальних процесів  $i$ -го,  $j$ -го вузла у  $k$ -му стані функціонування МЗ зумовлює необхідність своєчасного і достовірного (безпомилкового) транспортування інформаційного потоку між відповідними системними об'єктами (інформаційна зв'язність). Транспортування інформаційного потоку здійснюється при посередництві мережевих інтерфейсів фізичних каналів ПД вузлів МЗ, безпосередньо або через вузли МЗ, які забезпечують його транзит (рис. 2, 3).

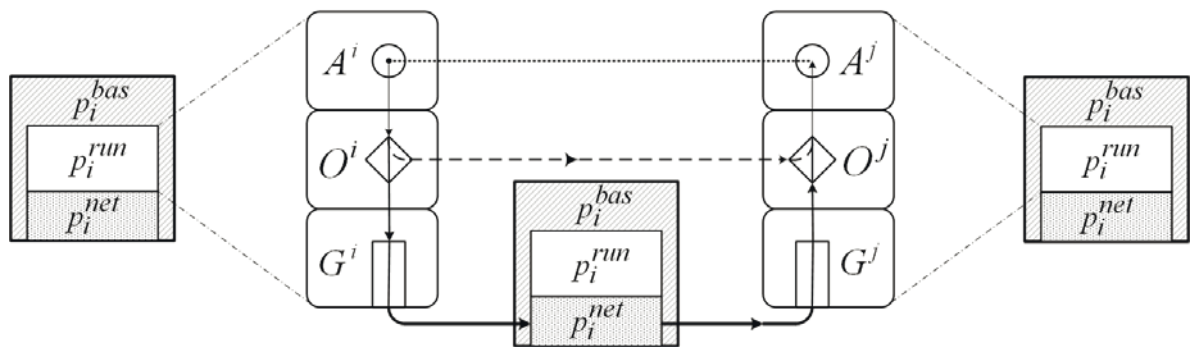


Рис. 3. Роль і місце обчислювальної складової в контексті організації і забезпечення алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності вузлів МЗ

Виходячи з викладеного, ймовірність  $k$ -го стану МЗ як добуток незалежних подій працездатності апаратної та обчислювальної складової множини вузлів МЗ (1, рис. 2):

$$P_k = \prod_{i=1}^{|V|} p_{ik}^{bas} \cdot p_{ik}^{run} \cdot p_{ik}^{net} \quad (9)$$

Працездатність АС обчислювальної роботи  $i$ -го вузла у  $k$ -му стані МЗ:

$$p_{ik}^{bas} = \prod_{q=1}^z p_{qik}^{bas} \quad (10)$$

де  $z$  – кількість типових апаратних компонентів АС обчислювальної роботи  $i$ -го вузла МЗ,  $q$  – порядковий номер апаратного компоненту.

Працездатність АС фізичних каналів ПД  $i$ -го вузла у  $k$ -му стані МЗ:

$$p_{ik}^{net} = \prod_{h=1}^{s_i} p_{hik}^{net}, \quad (11)$$

де  $s_i$  – кількість типових пристроїв мережевого введення/виведення (організації і забезпечення каналів ПД через фізичне середовище)  $i$ -го вузла МЗ.

Працездатність ОСП  $i$ -го вузла у  $k$ -му стані МЗ як добуток незалежних, але сумісних подій у контексті забезпечення алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності:

$$p_{ik}^{run} = p(F_{ik}^W) \cdot p(F_{ik}^D) \cdot p(F_{ik}^L) \cdot p(F_{ik}^X) \cdot p(F_{ik}^Y), \quad (12)$$

де  $p(F_{ik}^W)$ ,  $p(F_{ik}^D)$ ,  $p(F_{ik}^L)$ ,  $p(F_{ik}^X)$ ,  $p(F_{ik}^Y)$  – працездатність множини функцій ОСП  $i$ -го вузла у  $k$ -му стані МЗ:

– алгоритмічної зв'язності обчислювальних процесів (3):

$$F_{ik}^W = \{f_{ijk}^W : \langle a_{nb}^{ik} \in A_k^i, a_{nb}^{jk} \in A_k^j \rangle\}, \quad (13)$$

– інформаційної зв'язності системних об'єктів (4):

$$F_{ik}^D = \{f_{ijk}^D : \langle o_{eu}^i \in O_k^i, o_{eu}^j \in O_k^j \rangle\}, \quad (14)$$

– фізичної зв'язності мережевих інтерфейсів (5):

$$F_{ik}^L = \{f_{ijk}^L : \langle g_{hk}^i \in G_k^i, g_{hk}^j \in G_k^j \rangle\}, \quad (15)$$

– доступу обчислювальних процесів до системних об'єктів (7):

$$F_{ik}^X = \{f_{nek}^X : \langle a_{nb}^i \in A_k^i, o_{eu}^i \in O_k^i \rangle\}, \quad (16)$$

– трансляції (відображення) операцій обчислювального процесу з системним об'єктом на мережевий інтерфейс (8):

$$F_{ik}^Y = \{f_{ehk}^Y : \langle o_{eu}^i \in O_k^i, g_{hk}^i \in G_k^i \rangle\}. \quad (17)$$

Повертаючись до (1), *структурно-інформативний параметр структури алгоритмічних, інформаційних, фізичних зв'язків у к-му стані МЗ:*

$$Q_k = \mathfrak{Z}_k \cdot \mathfrak{N}_k \cdot \mathfrak{R}_k, \quad (18)$$

де  $\mathfrak{Z}_k$  – достовірність обчислювальної роботи програмної реалізації алгоритмів ОСП вузлів у к-му стані МЗ (19),  $\mathfrak{N}_k$  – повнота інформаційної зв'язності вузлів у к-му стані МЗ (20),  $\mathfrak{R}_k$  – повнота фізичної зв'язності вузлів у к-му стані МЗ (21).

*Достовірність обчислювальної роботи програмної реалізації алгоритмів ОСП вузлів у к-му стані МЗ (9):*

$$\mathfrak{Z}_k = \sum_{i=1}^{|V|} p_{ik}^{run} \cdot \left( \frac{\gamma_i^k}{|A_k^i|} \right), \quad (19)$$

де  $\gamma_i^k$  – кількість позитивних висновків про достовірність (цілісність) програмної реалізації кожного з множини обчислювальних процесів  $A_k^i$ ,  $|A_k^i|$  – потужність множини  $A_k^i$  або кількість обчислювальних процесів  $i$ -го вузла у к-му стані МЗ.

*Повнота інформаційної зв'язності вузлів у к-му стані МЗ:*

$$\mathfrak{N}_k = \sum_{i=1}^{|V|} \left( \frac{|F_{ik}^D|}{\chi_i^k} \right), \quad (20)$$

де  $\chi_i^k$  – інформаційний ступінь вузла  $i$ -го вузла в к-му стані МЗ, визначений на підставі апріорного аналізу алгоритмічної зв'язності обчислювальних процесів,  $|F_{ik}^D|$  – кількість (потужність множини  $F_{ik}^D$ ) ініційованих функцій ОСП (4) для забезпечення своєчасного та достовірного (безпомилкового) транспортування інформаційних потоків від  $i$ -го вузла у к-му стані МЗ.

*Повнота фізичної зв'язності вузлів у к-му стані МЗ:*

$$\mathfrak{R}_k = \sum_{i=1}^{|V|} \left( \frac{|F_{ik}^L|}{\eta_i^k} \right), \quad (21)$$

де  $\eta_i^k$  – фізичний ступінь вузла  $i$ -го вузла у к-му стані МЗ, визначений на підставі аналізу структури фізичних каналів ПД, передбаченої для транспортування



інформаційних потоків організації при введенні МЗ в експлуатацію,  $|F_{ik}^L|$  – кількість (потужність множини  $F_{ik}^L$ ) ініційованих функцій ОСП (5) для забезпечення фізичного каналу ПД від  $i$ -го вузла у  $k$ -му стані МЗ.

### Висновки

Запропонована формалізація параметрів оцінки технічного стану мережі однотипних програмно-апаратних засобів започатковує формування нового термінологічного, понятійного базису методології діагностування складних технічних об'єктів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузавков В.В., Хусаїнов П.В. Оцінка технічного стану мережі однотипних програмно-апаратних засобів. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. 2017. № 5. С. 36–43 .
2. Кузавков В.В., Хусаїнов П.В., Гайдур Г.І. Постановка задачі синтезу автономної автоматизованої системи діагностування мережі однотипних програмно-апаратних засобів. Сучасний захист інформації. 2017. № 2 (130). С. 61–67.
3. Хусаїнов П.В., Субач І.Ю., Сілко О.В., та ін. Основи побудови операційних систем, комплексів та засобів автоматизації управління військами: навчальний посібник. Київ: ВІТІ, 2016. 220 с.
4. Таненбаум Э. Современные операционные системы. 3-е изд. Санкт-Петербург.: Питер, 2012. 1120 с.: ил. (Серия “Классика computer science”).
5. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. 199 с.
6. Оре О. Теория графов. 2-е изд. Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. 336 с.
7. Головач Ю., Олемской О., К. фон Фербер та ін. Складні мережі. Журнал фізичних досліджень. Т. 10, № 4 (2006). Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2006. С. 247–289.
8. Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник; под ред. Д.А. Поспелова. Москва: Радио и связь, 1990. 304 с.

Отримано 01.12.2017

Рецензент Єрохін В.Ф., д.т.н., проф.