

СТРУКТУРНО-ОРИЄНТОВАНИЙ ПОКАЗНИК ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

В статті розглядається показник ефективності автоматизованої системи який базується на структурно-інформативному параметрі оцінки технічного стану. Технічний стан автоматизованої системи є відображенням сукупності показників достовірності і повноти структури (алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності). Формалізація понять операційного середовища обчислювальних процесів здійснюється на основі моделі “мережа однотипних програмно-апаратних засобів”.

Ключові слова: ефективність автоматизованої системи, мережа однотипних програмно-апаратних засобів, технічний об'єкт.

Вступ. На підставі аналізу автоматизованих (інформаційних) систем з типовою організаційно-технічною структурою різного цільового призначення був виділений об'єкт контролю (технічного діагностування), якій утворюється *сукупністю інформаційно-зв'язаних одиниць обчислювальної роботи* (узгоджених за цілями, місцем та часом функцій автоматизованої обробки інформації прикладних задач) програмно-апаратних засобів забезпечення діяльності певної *організаційної структури*. Для послідовних, послідовно-паралельних, паралельно-послідовних систем математичний апарат оцінки ефективності в залежності від технічного стану апаратних елементів достатньо розвинутий і добре апробований [1], але для програмно-апаратних систем, на сьогодні, загальноприйнятого підходу не існує.

Аналіз останніх публікацій. *Автоматизована (інформаційна) система (АІС)* – організаційно-технічна система, в якій реалізується технологія обробки інформації з використанням технічних і програмних засобів. Характерною особливістю об'єкту контролю (технічного діагностування) є наявність обчислювальної складової забезпечення виконання програмно-апаратними засобами функцій автоматизованої обробки інформації у контексті прикладних задач (рис. 1):

- генерування, споживання, обробка інформаційних потоків згідно алгоритмів програмного забезпечення елементів технічного об'єкту;
- своєчасне і безпомилкове транспортування інформаційних потоків фізичними каналами передачі даних передбачених інформаційних напрямків.

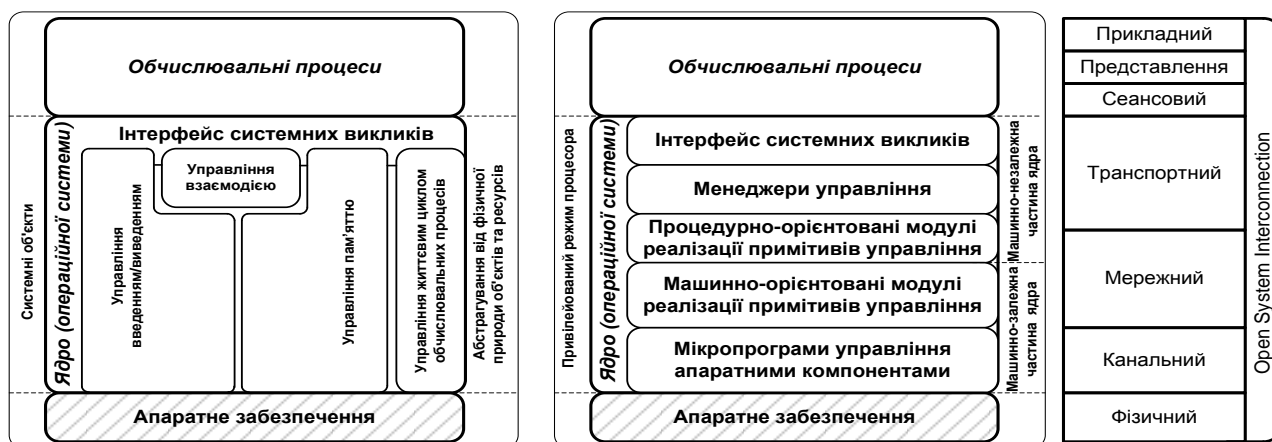


Рис. 1. Ілюстрація принципів типової архітектурної побудови програмно-апаратного засобу

Обчислювальна складова (ОСк) – операційне середовище обчислювальних процесів (далі також – ОСП) – логічний об'єкт, утворений сукупністю обчислювальних процесів, які виконуються під управлінням ядра (операційної системи) програмно-апаратного засобу.

Обчислювальний процес (ОП) – одиниця обчислювальної роботи та суб'єкт доступу при оперуванні системними об'єктами. Системний об'єкт (СО) – логічне представлення ядром (операційної системи) джерела/адресата в операціях читання/запису даних за межами виділеного адресного простору пам'яті ОП. Мережевий інтерфейс (МІ) – СО ядра (операційної системи) який забезпечує функціональність каналного, фізичного рівня моделі *Open System Interconnection (OSI)* передачі даних (ПД) через фізичне середовище [2].

Апаратне забезпечення – апаратна складова (АСк), в свою чергу, поділяється на:

- АСк обчислювальної роботи (АСкОР) – типовий набір апаратних компонентів для організації і забезпечення виконання одиниць обчислювальної роботи (множина ОП, ядро операційної системи програмно-апаратного засобу): процесор, пам'ять, системна шина, система переривань, таймер, системний годинник і т. ін.;

- АСк фізичних каналів передачі даних (АСкПД) – типовий набір пристроїв мережевого введення/виведення для забезпечення каналів ПД через фізичне середовище.

Іншим важливим аспектом слід вважати структурну надлишковість алгоритмічних, інформаційних, фізичних зв'язків, завдяки якій, відмова окремих елементів не призводить до повної відмови досліджуваного технічного об'єкту. Останнє обумовлює пошук науково обґрунтованого параметру оцінки ефективності в процесі функціонування технічного об'єкту даного класу як відображення технічного стану апаратних компонентів, одиниць обчислювальної роботи програмно-апаратних засобів за умови забезпечення алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності його елементів.

Для означення об'єктів даного класу технічних об'єктів запропоновано вживати термін “мережа однотипних програмно-апаратних засобів” який, на думку авторів, підкреслює суттєві науково-методологічні аспекти дослідження. По-перше, “мережа” є найбільш придатним модельним узагальненням взаємно-однозначного відображення структур організаційної, алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності використовуючи понятійний апарат теорії графів (граф, гіперграф, мережа, вузол мережі, ребро, дуга, інцидентність, суміжність, ланцюг, шлях, маршрут, зв'язність, ступінь вузла і т. ін.). По-друге, припущення про “однотипність” прийнято на підставі аналізу об'єктивних сучасних тенденцій практичної реалізації принципів архітектурної побудови (модульність, багаторівневність), типізації (уніфікації, стандартизації) організації взаємодії програмного, апаратного забезпечення програмно-апаратних засобів сучасних АІС у контексті еталонної моделі взаємодії відкритих (від англ. *Open System Interconnection, OSI*).

Постановка завдання. Виходячи з аналізу [1, 3, 4, 5], метою статті є обґрунтування структурно-орієнтованого показника ефективності АІС E , якій базується на структурно-інформативному параметрі технічного стану АІС Q :

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

де E – ефективність АІС, ω – кількість станів АІС, P_k – ймовірність k -го стану функціонування АІС, Q_k – структурно-інформативний параметр технічного стану у k -му стані функціонування АІС, як *кількісна міра* забезпечення узгодженої за цілями, місцем та часом взаємодії ОП АІС у контексті виконання функцій автоматизованої обробки інформації (генерування, передача, споживання, обробка інформаційних потоків) прикладних задач (алгоритмічна зв'язність), $Q_k \in [0,1]$. Забезпечення алгоритмічної зв'язності ОП АІС базується на своєчасному і безпомилковому транспортуванні обумовлених інформаційних потоків. Значення Q_k пропонується розглядати як взаємно-однозначне відображення ефективності АІС у k -му стані функціонування за умови достовірності програмної реалізації алгоритмів ОП (функцій автоматизованої обробки інформації прикладних задач) та ядра (операційної системи) множини програмно-апаратних засобів АІС.

Основна частина. *Мережа однотипних програмно-апаратних засобів* (далі також – МЗ) – логічна модель АІС заснована на взаємно-однозначному відображенні структури відношень між формальними об’єктами ОСП множини програмно-апаратних засобів на множину вузлів, дуг (ребер) мережі у термінах понятійного апарата теорії графів. Формальне подання МЗ (рис. 2):

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

де $V = \{v_i\}$ – множина вузлів МЗ, W, D, L – предикатні символи відношень алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв’язності ОСП i -го і j -го вузла МЗ, $\rho(w_{nb}^{ij}) \subseteq A^i \times A^j$, $\rho(d_{eu}^{ij}) \subseteq O^i \times O^j$, $\rho(l_{hk}^{ij}) \subseteq G^i \times G^j$, $v_i, v_j \in V$, $i, j = \overline{1, |V|}$, $i \neq j$.

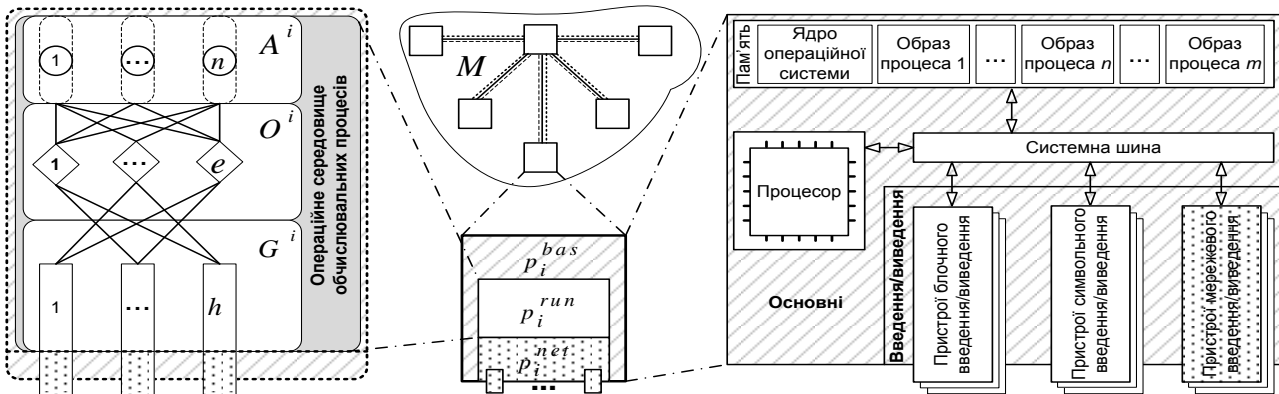


Рис. 2. Ілюстрація формальної моделі “мережа однотипних програмно-апаратних засобів”

Ймовірність працездатності i -го вузла k -го стану функціонування АІС:

$$P_{ik} = P_{ik}^{bas} \cdot P_{ik}^{run} \cdot P_{ik}^{net}, \tag{3}$$

де P_{ik}^{bas} , P_{ik}^{net} , P_{ik}^{run} – ймовірність працездатності АСкОР, АСкПД, ОСП i -го вузла МЗ у k -му стані функціонування АІС.

Операційне середовище обчислювальних процесів i -го вузла МЗ – семантична мережа відношень між типовими наборами елементів логічного об’єкту, утвореного сукупністю ОП які виконуються під управлінням ядра (операційної системи програмно-апаратного засобу) i -го вузла МЗ:

$$v_i = \langle A^i, O^i, G^i, X, Y, Z \rangle. \tag{4}$$

де $A^i = \{a_{nb}^i\}$ – множина ОП ОСП i -го вузла МЗ, $O^i = \{o_{eu}^i\}$ – множина СО (ядра операційної системи програмно-апаратного засобу) ОСП i -го вузла МЗ, $G^i = \{g_{hk}^i\}$ – множина МІ (ядра операційної системи програмно-апаратного засобу) ОСП i -го вузла МЗ, n, e, h – умовні порядкові номери, відповідно, ОП, СО, МІ (співвіднесені з унікальними системними ідентифікаторами), $n = \overline{1, |A^i|}$, $e = \overline{1, |O^i|}$, $h = \overline{1, |G^i|}$, $b \in B$, $u \in U$, $k \in K$, B, U, K – множина типів ОП, СО, МІ, X, Y, Z – предикатні символи відношень (рис. 3):

- $\rho(x_{ne}^{ij}) \subseteq A^i \times O^j$ (доступ ОП до СО);
- $\rho(y_{eh}^{ij}) \subseteq O^i \times G^j$ (трансляція (відображення) операцій ОП щодо СО на операції прийому/передачі даних через МІ);
- $\rho(z_{rj}^i) \subseteq G_r^i \times G_j^i$ (фізичної зв’язності r -го, j -го вузла МЗ при посередництві i -го).

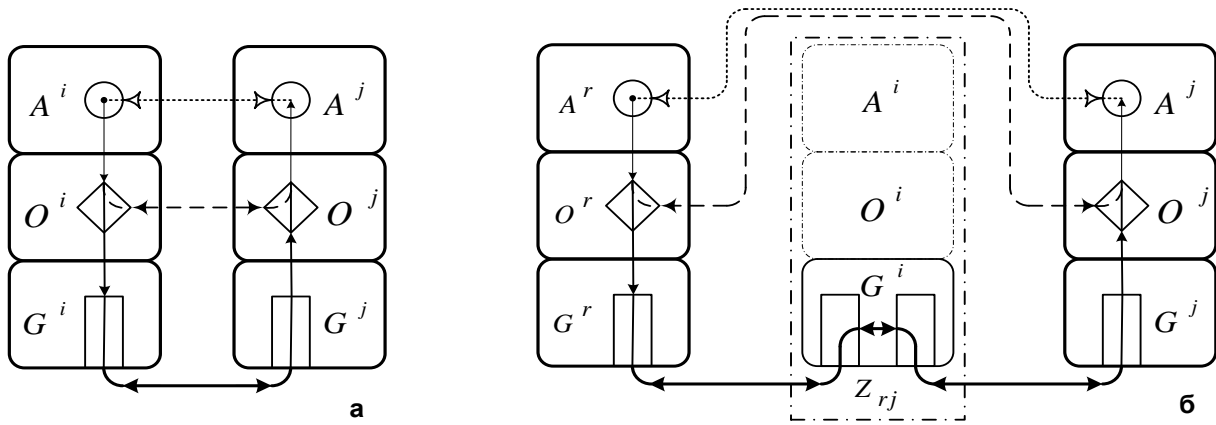


Рис. 3. Відношення функцій операційного середовища обчислювальних процесів при безпосередньому з'єднанні вузлів (а), через вузол-посередник (б)

Ймовірність працездатності ОСП i -го вузла у κ -му стані АІС (3):

$$p_{i\kappa}^{run} = p(F_{ijk}^W) \cdot p(F_{i\kappa}^X) \cdot p(F_{ijk}^D) \cdot p(F_{i\kappa}^Y) \cdot p(F_{i\kappa}^L) \cdot p(F_{i\kappa}^Z), \quad (5)$$

де $p(F_{ijk}^W), p(F_{i\kappa}^X), p(F_{ijk}^D), p(F_{i\kappa}^Y), p(F_{i\kappa}^L), p(F_{i\kappa}^Z)$ – ймовірності працездатності множин функцій ОСП i -го вузла МЗ у κ -му стані функціонування АІС (2, 4):

- алгоритмічної зв'язності ОП i -го та j -х вузлів МЗ;
- доступу ОП до СО i -го вузла МЗ;
- інформаційної зв'язності СО i -го та j -х вузлів МЗ;
- трансляція (відображення) операцій ОП щодо СО на МІ;
- фізичної зв'язності МІ i -го та j -х вузлів МЗ;
- фізичної зв'язності МІ r -го та j -го вузла МЗ при посередництві i -го.

Ймовірність κ -го стану функціонування АІС (1):

$$P_{\kappa} = C_{|V|}^m \cdot p_{i\kappa}^{|V|-m} \cdot q_{i\kappa}^m, \quad (6)$$

де m – кількість непрацездатних програмно-апаратних засобів АІС, $C_{|V|}^m$ – число сполучень з $|V|$ по m , $p_{i\kappa}^{|V|-m}$ – ймовірність працездатності $|V|-m$ вузлів у κ -му стані функціонування АІС, $q_{i\kappa}^m = 1 - p_{i\kappa}$. Структурно-інформативний параметр технічного стану у κ -му стані функціонування АІС (1):

$$Q_{\kappa} = \mathfrak{F}_{\kappa} \cdot \mathfrak{N}_{\kappa} \cdot \mathfrak{R}_{\kappa}, \quad (7)$$

де \mathfrak{F}_{κ} – достовірність структури алгоритмічної зв'язності M , \mathfrak{N}_{κ} – повнота структури інформаційної зв'язності M , \mathfrak{R}_{κ} – повнота структури фізичної зв'язності M :

$$\mathfrak{F}_{\kappa} = \sum_{i=1}^{|V|} \frac{\mathfrak{F}_i^{\kappa}}{|V|}, \quad \mathfrak{N}_{\kappa} = \sum_{i=1}^{|V|} \frac{\mathfrak{N}_i^{\kappa}}{|V|}, \quad \mathfrak{R}_{\kappa} = \sum_{i=1}^{|V|} \frac{\mathfrak{R}_i^{\kappa}}{|V|}, \quad (8)$$

де $\mathfrak{F}_i^{\kappa}, \mathfrak{N}_i^{\kappa}, \mathfrak{R}_i^{\kappa}$ – структурно-інформативні параметри i -го вузла M у κ -му стані функціонування АІС, відповідно, достовірність алгоритмічної, повнота інформаційної, фізичної зв'язності.

Алгоритмічна зв'язність $a_{nb}^i \in A^i$ і $a_{nb}^j \in A^j$ обумовлює необхідність існування характерного інформаційного потоку між i -м та j -м вузлом M у κ -му стані АІС і

працездатність функцій автоматизованої обробки інформації

$$F_{ijk}^W = \{f_{ijk}^W : \langle a_{nb}^i, a_{nb}^j \rangle \in \rho(w_{nb}^{ij})\}.$$

За умови достовірності алгоритмічної зв'язності і працездатності функцій доступу

$$F_i^X = \{f_i^X : \langle a_{nb}^i, o_{eu}^i \rangle \in \rho(x_{ne}^i)\} \quad (\text{у тому числі, за аналогією, для } j\text{-го вузла } M)$$

інформаційна зв'язність $o_{eu}^i \in O^i$ і $o_{eu}^j \in O^j$ обумовлює і вимагає працездатність функцій своєчасного та безпомилкового транспортування інформаційного потоку між i -м та j -м вузлом M у k -му стані АІС $F_{ijk}^D = \{f_{ijk}^D : \langle o_{eu}^i, o_{eu}^j \rangle \in \rho(d_{eu}^{ij})\}$.

Узагальнюючи, структура алгоритмічної зв'язності $a_{nb}^i \in A^i$ і $a_{nb}^j \in A^j$ у k -му стані функціонування АІС є масивом матриць графів відношень $W_k[ij] = \|W_j^{ik}\|$, структура інформаційної зв'язності $o_{eu}^i \in O^i$ і $o_{eu}^j \in O^j$ – $D_k[ij] = \|D_j^{ik}\|$, $i, j = \overline{1, |V|}$, $i \neq j$.

Транспортування інформаційного потоку між $o_{eu}^i \in O^i$ та $o_{eu}^j \in O^j$ у k -му стані АІС, за умови працездатності функцій трансляції (відображення) операцій $F_i^Y = \{f_i^Y : \langle o_{eu}^i, g_{hk}^i \rangle \in \rho(y_{eh}^i)\}$ (у тому числі, за аналогією, для j -го вузла M),

обумовлює фізичну зв'язність $g_{hk}^i \in G^i$ та $g_{hk}^j \in G^j$ у k -му стані функціонування АІС і вимагає працездатність функцій забезпечення каналу передачі даних через фізичне середовище $F_{ijk}^L = \{f_{ijk}^L : \langle g_{hk}^i, g_{hk}^j \rangle \in \rho(l_{hk}^{ij})\}$ (при безпосередньому з'єднанні),

$$F_i^Z = \{f_i^Z : \langle g_{hkr}^i, g_{qkj}^i \rangle \in \rho(z_{rj}^i)\} \quad (\text{при посередництві } i\text{-го вузла}).$$

Структура каналів передачі даних через фізичне середовище між $g_{hk}^i \in G^i$ та $g_{hk}^j \in G^j$ у k -му стані функціонування АІС задається априорно як масив матриць графів відношень $L_k[ij] = \|L_j^{ik}\|$ (сукупність каналів передачі даних організації в інтересах якої розгорнута і експлуатується АІС).

Достовірність алгоритмічної зв'язності i -го вузла у k -му стані АІС:

$$\mathfrak{Z}_i^k = p_{ik}^{run} \cdot \frac{\gamma_i^k}{|A_k^i|}, \quad (9)$$

де γ_i^k – кількість позитивних висновків тестового контролю достовірності програмної реалізації $\forall A_k^i$, $|A_k^i|$ – кількість ОП i -го вузла M A_k^i (потужність множини), $\mathfrak{Z}_k \in [0, 1]$.

Значення $\mathfrak{Z}_k < 1$ свідчить про відсутність повної довіри до $W_k[ij] = \|W_j^{ik}\|$ внаслідок

$$p_{ik}^{run} < 1 \quad (5) \quad \text{або} \quad \gamma_i^k < |A_k^i| \quad (\text{немає всіх висновків про достовірність програмної реалізації}$$

алгоритмів функцій автоматизованої обробки інформації прикладних задач існуючих обчислювальних процесів).

Повнота інформаційної зв'язності i -го вузла у k -му стані АІС:

$$\mathfrak{S}_i^k = \frac{|F_{ijk}^D|}{\chi_i^k}, \quad (10)$$

де χ_i^k – інформаційна степінь i -го вузла M у k -му стані АІС визначена на підставі аналізу $W_k[ij] = \|W_j^{ik}\|$ при побудові $D_k[ij] = \|D_j^{ik}\|$, $|F_{ijk}^D|$ – кількість працездатних функцій F_{ijk}^D (потужність множини), $\mathfrak{S}_k \in [0,1]$.

Повнота фізичної зв'язності i -го вузла у k -му стані АІС:

$$\mathfrak{R}_i^k = \frac{|F_{ijk}^L|}{\eta_i^k}, \quad (11)$$

де η_i^k – фізична степінь i -го вузла M у k -му стані АІС визначена на підставі аналізу $L_k[ij] = \|L_j^{ik}\|$, $|F_{ijk}^L|$ – кількість працездатних функцій F_{ijk}^L (потужність множини), $\mathfrak{R}_k \in [0,1]$.

Виходячи з викладеного, $Q_k \in [0,1]$, $Q_k < 1$ має місце при значенні менше одиниці хоча б одного з $\mathfrak{S}_k, \mathfrak{N}_k, \mathfrak{R}_k$ і свідчить про несправність (ті) АСкОР, АСкПД чи ОСк програмно-апаратного засобу АІС. При цьому, якщо $\mathfrak{S}_k = 1$ результат слід вважати достовірним, в іншому випадку ($\mathfrak{S}_k < 1$) – ні.

Висновки. Представлення АІС у термінах понятійного апарату моделі “мережа однотипних програмно-апаратних засобів” дозволяє ввести науково обґрунтований показник її ефективності зв'язаний зі структурно-інформативним параметром оцінки технічного стану. З'являється можливість визначення фактичного технічного стану АІС на основі аналізу властивостей структури алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності її логічних об'єктів. Подальші дослідження спрямовані на розробку раціональних обчислювальних процедур оперативного одержання складових структурно-інформативного параметра в процесі технічного діагностування АІС.

Список використаної літератури:

1. Жердев М. К. Фізичні основи теорії надійності : підручник / Жердев М. К., Ленков С. В., Креденцер Б. П. та ін.; за ред. Жердева М. К.. – К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2008. – 215 с.
2. Хусаїнов П. В. Основи побудови операційних систем, комплексів та засобів автоматизації управління військами / Хусаїнов П. В., Субач І. Ю., Сілко О. В., Любарський С. В.: Навчальний посібник. – К.: ВІТІ, 2016. – 220 с.
3. Волкович В. Л. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем / Волкович В. Л., Волошин А. Ф., Заславский В. А., Ушаков И. А.; Отв. ред. Михалевич В. С.; АН Украины, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. – Киев: Наук. думка, 1992. – 312 с.
4. Катков Ю. І. Метод прогнозування технічного стану техніки зв'язку на основі математичної моделі динаміки стану техніки в процесі її використання / Ю. І. Катков, В. О. Шуєнкін // Зв'язок. – 2000. – №5. – С.29–30.
5. Катков Ю. І. Основні положення щодо створення служби технічної підтримки засобів телекомунікації та автоматизації для корпоративних інформаційних систем / Ю. І. Катков, Є. С. Захаренко // Зв'язок. – 2001. – №1 – С.42–45.

Надійшла: 15.10.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Вишнівський В.В.