

УДК 004.891

І.В. ШОСТАК

*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна***ПРОБЛЕМА СИНТЕЗУ ІНТЕГРОВАНИХ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

Проаналізовано проблему створення єдиного інформаційного простору в рамках складного об'єкту прийняття рішення на основі інтегрованої експертної системи підтримки прийняття рішень, яка складається з ієрархічно впорядкованих типових блоків, між якими встановлено горизонтальні зв'язки. В рамках проблеми виділено низку теоретичних та практичних задач та показано, що найбільш значущою з них є створення формальної моделі системи за допомогою засобів теорії категорій. Наведено опис узагальненої структури зазначеної системи та методу її синтезу.

складний організаційно-технічний об'єкт, категорна модель, інтелектуальна інтегрована система підтримки прийняття рішень, блок підтримки прийняття рішень, гетерархія, горизонтальна декомпозиція, ієрархічна багаторівнева система

Вступ

Процес переходу від індустріального до інформаційного суспільства як загальносвітова тенденція, що має місце і в Україні, обумовлює широке використання інформаційних технологій в різних сферах громадського життя. При цьому вдосконалення інформаційної інфраструктури сприяє задоволенню національних інтересів, підвищенню ефективності управління економікою, поліпшенню продуктивності праці, розвитку промислового виробництва, зменшенню рівня ризиків виникнення катастроф й ін. В рамках Національної програми інформатизації в теперішній час проводяться інтенсивні роботи в галузі прогресивних інформаційних технологій, для забезпечення комп'ютеризованого доступу до актуальної, достовірної та адекватної інформації.

Аналіз вітчизняних і закордонних джерел [1 – 5] показав, що дослідження в цьому напрямку, зокрема розробки експертних систем (ЕС), недостатньо ефективні, не відповідають повною мірою сучасним вимогам до інформаційних технологій інтеграції знань, бо не надають шляхи побудови єдиного інформаційного простору в межах складного, топологічно розподіленого об'єкту через природну закритість

ЕС. У зв'язку з цим виникає необхідність створення комплексного системного підходу до розв'язання проблеми інтеграції і координації окремих ЕС як складових частин центрів прийняття рішень щодо управління складним об'єктом, розробки ефективних моделей інтеграції і координації експертних систем підтримки прийняття рішень (ЕСППР), методів й інструментальних засобів проектування та експлуатації інтегрованих ЕСППР. Ці питання складають сутність досліджень, що проведені в рамках даної роботи.

Мета статті полягає у викладенні підходів до синтезу інтегрованих експертних систем підтримки прийняття рішень (ІЕСППР) щодо управління складними організаційно-технічними об'єктами (СОТО), які дозволяють підвищити ефективність управління такими об'єктами шляхом інтеграції ЕС та створення єдиного інформаційного простору в рамках об'єкту прийняття рішень.

1. Загальний опис проблеми

На даний момент інтеграція інформаційних ресурсів, в тому числі і експертних систем, на рівні єдиного інформаційного простору складних органі-

заційно-технічних об'єктів, є стратегічним напрямком в галузі розвитку управляючих систем (УС) такими об'єктами. Особливості, які притаманні СОТО, потребують розробки спеціальної архітектури УС. Ця архітектура дозволить досягти необхідного рівня гнучкості, відкритості і продуктивності за рахунок розподіленої обробки знань в експертних системах, поєднаних в рамках УС СОТО. Проведений аналіз [10] підходів до створення УС СОТО в формі інтегрованої експертної системи підтримки прийняття рішень надав змогу сформулювати низку наступних теоретичних задач [1]:

1. Виділення та дослідження класу СОТО засобами концептуального класифікаційного моделювання.

2. Розробка та обґрунтування архітектури УС СОТО:

- ієрархічної частини структури УС СОТО з використанням методів вертикальної декомпозиції теорії ієрархічних багаторівневих систем (ІБС);

- гетерархічної частини структури УС СОТО на основі теорії холонічних систем (ХС).

3. Моделювання типових холонів та їхніх сукупностей засобами теорії категорій і концептуального проектування.

Реалізація зазначених теоретичних положень у вигляді спеціального комп'ютерного середовища потребує вирішення комплексу наступних прикладних задач [1], що утворює епістемологічну базу теорії УС СОТО:

4. Створення онтології структури управління СОТО як гетерархії, яка ідентична структурі УС СОТО, при цьому кожний елемент онтологічної системи виступає, відповідно його функціям, предметною онтологією.

5. Вибір числення теорії УС СОТО як набору формальних процедур подання та маніпулюванню знаннями для забезпечення колективної взаємодії різних центрів обробки знань ЕСППР в УС СОТО на основі концепції мультиагентних систем.

6. Опис системи обмежень на управлінські рішення у вигляді мікротеорій, що являють собою часткові моделі СОТО та подані засобами псевдофізичних логік (часової (темпоральної), просторової та причинно-наслідкової (каузальної)).

Задачі 1 – 3 є центральними у проблемі створення методологічних основ синтезу УС СОТО, саме на їхнє вирішення спрямоване дане дослідження. Задачі ж 4 – 6 носять підпорядкований характер, їхня реалізація безпосередньо потрібна для створення інформаційної технології синтезу і експлуатації УС СОТО.

2. Формування узагальненої структури складного організаційно-технічного об'єкту на основі принципів вертикальної та горизонтальної декомпозицій

Аналіз властивостей СОТО за відомими в теорії класифікації ознаками дозволив за допомогою засобів концептуального моделювання розробити узагальнену структуру УС СОТО та типового блоку у її складі. При цьому основою побудови узагальненої структури УС СОТО виступає поєднання принципів вертикальної декомпозиції, що передбачають виділення шарів, ешелонів та страт з горизонтальною декомпозицією [7 – 9].

За допомогою методів природної класифікації можна сформувати клас СОТО згідно низки критеріїв природності (ієрархічності, монізму, системності, властивостей, зв'язності). Застосування цих критеріїв забезпечує параметричність класифікації СОТО в єдиному класифікаційному полі. Мовою теорії категорій [9] класифікація СОТО формується як задача синтезу та дослідження класифікаційної моделі (КМ) СОТО, що задовольняє наступним умовам:

- єдності універсуму, тобто існування в деякій категорії \mathfrak{R} , що описує класифікацію СОТО, єдиного ініціального об'єкта, що відповідає поняттю „над-система-клас”:

$$\exists! a \perp \in \text{Ob}\mathfrak{R} \quad \forall a \in \text{Ob}\mathfrak{R};$$

$$\exists a_a \in \text{Mor}\mathfrak{R}_{a_a} : a \perp \rightarrow a \text{ Mor}\mathfrak{R}(a \perp, a) = \{\alpha_a\},$$

де $\text{Mor}\mathfrak{R}(a)$ – множина всіх морфізмів, початком яких є об'єкт a ;

- ієрархічності, тобто кожний об'єкт категорії \mathfrak{R} , що описує класифікацію СОТО, є вершиною конусу і, крім того, для кожного об'єкта категорії \mathfrak{R} існує деяка підкатегорія, для якої він є ініціальним об'єктом:

$$\forall a \in \text{Ob}\mathfrak{R} \exists \text{Mor}\mathfrak{R}(a) \neq \emptyset;$$

$$\forall a \in \text{Ob}\mathfrak{R} \exists a \subseteq \mathfrak{R}_{.a} \in \text{Ob}\mathfrak{R}_a;$$

- параметричності, тобто в деякій категорії \mathfrak{R} , що описує класифікацію СОТО, існує підкатегорія $\mathfrak{R}_{\text{св}}$, що описує властивості будь-яких елементів предметної галузі, яка класифікується: $\exists \mathfrak{R}_{\text{св}} \subset \mathfrak{R}$.

Зроблено порівняльний аналіз зовнішнього і внутрішнього шляхів прояву системності щодо СОТО, виходячи з принципів цілісності, системності, ієрархічності та розвитку, що є головними принципами будь-якого різновиду системного підходу. Обґрунтовано, що відношення частина-ціле і род-вид являють собою гносеологічні різновиди існуючого в онтології відношення підтримки функціональної спроможності цілого. Вивчення співвідношення видів систем показало, що конкретизацією категорії сутності є саме зовнішня система (система-клас).

Досліджені й обґрунтовані головні особливості СОТО як ієрархічної системи понять з єдиною вершиною, яка задовольняє названим умовам, відбиває системність реальної дійсності та включає властивості усіх своїх елементів. Побудовано класифікаційну модель СОТО у вигляді графа, що задовольняє названим закономірностям.

Як змістовну основу формального опису класифікації СОТО використано варіант опису системи понять у вигляді графа, що задовольняє наведеним вище критеріям природності. При цьому за вихідні прийнято критерії ієрархічності та монізму. Забезпечено також параметричність класифікації шляхом заданого поділу універсуму (кате-

горії буття (онтології)) на підкласи, що відповідають поняттям знання (епістемологія) і сприйняття знань (когнітивність).

Подання блоку підтримки прийняття рішень (БППР) доцільно реалізувати у вигляді ієрархічної тривірневої структури, де за умов реалізації інтелектуальної технології нижчий рівень (вибору) має когнітивну природу, середній (адаптації) – епістемологічну, а верхній рівень – онтологічну природу. Розроблена категорна модель БППР у такому вигляді [6].

Розглянемо категорію A . Клас ObA є кінцевою множиною з розбивкою:

$ObA = \bigcup_{i=0}^n A_i$, де $A_i = \{a_m^i\}_{m=1}^{k_i}$ – множина об'єктів, що відповідають системам-класам i -го рівня ієрархії ($k_0 = 1$, тобто на нульовому (верхньому) рівні ієрархії знаходиться тільки один об'єкт a_1^0 (онтологічна система-клас), $k_1 = 2, 3$, тобто на першому та другому рівнях ієрархії знаходяться тільки два об'єкти a_1^1 і a_2^1 (два системи-класи – епістемологічна і когнітивна відповідно), $k_2 \geq 2i$ $k_{i+1} \geq 2k_i$ ($i = \overline{2, n-1}$)).

Клас $\text{Mor}A$ може бути описаний у такий спосіб. Для двох елементів

$$\begin{aligned} a_{m_1}^i, a_{m_2}^i \quad (i = \overline{1, n}) \quad \text{Mor}(a_{m_1}^i, a_{m_2}^i) = \\ = \begin{cases} \emptyset & \text{і } \delta \delta \quad m_1 \neq m_2; \\ \left\{ \begin{matrix} 1 \\ a_{m_1}^i \end{matrix} \right\} & \text{і } \delta \delta \quad m_1 = m_2. \end{cases} \end{aligned}$$

Для довільної пари

$$(a_s^{i+1}, a_r^i) : \text{Mor}(a_s^{i+1}, a_r^i) = \emptyset,$$

де $i = \overline{0, n-1}$, $r = \overline{1, k_i}$, $s = \overline{1, k_{i+1}}$.

Для будь-якого елемента

$$\begin{aligned} a_r^i \in A_i \quad (i = \overline{1, n}) : \text{Mor}(a_s^{i-1}, a_r^i) = \\ = \begin{cases} \left\{ \begin{matrix} a_{s,r}^{i-1,i} \end{matrix} \right\} & \text{і } \delta \delta \quad s = s_r; \\ \emptyset & \text{і } \delta \delta \quad s \neq s_r. \end{cases} \end{aligned}$$

Для елемента a_1^0 підмножини

$$A_0 : \text{Mor}(a_1^0, a_1^0) = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ a_1^0 \end{matrix} \right\}.$$

Для довільної пари

$$(a_2^1, a_r^i) : Mor(a_2^1, a_r^i) = \emptyset, \text{ де } i = \overline{2, n}, r = \overline{1, k_i}.$$

Крім того, $MorA$ містить у собі морфізми, що є добутком описаних морфізмів. Вони відповідають зв'язкам родової системи-класу зі своїми все більш глибокими підсистемами (виду – із своїми усе більш віддаленими родами).

Морфізми категорії A як зв'язки між її об'єктами описують родо-видові зв'язки між відповідними системами-класами. Після побудови категорії A будь-якому об'єкту будь-якого рівня відповідає єдиний морфізм і єдиний об'єкт верхнього рівня, який пов'язано із цим об'єктом за допомогою даного морфізму:

$$A_i \ni a_r^i \leftrightarrow a_{s_r}^{i-1} \in A_{i-1};$$

$$a_r^i \leftrightarrow a_{s_r, r}^{i-1, i} \in Mor(a_{s_r}^{i-1}, a_r^i), i = \overline{1, n}.$$

Для об'єкта $a_1^0 \in A_0$ таким морфізмом є $1_{a_1^0}$,

який далі будемо позначати $a_{1,1}^{0,0} = 1_{a_1^0}$.

Тому що між множиною морфізмів, що належать парам об'єктів сусідніх рівнів, і множиною об'єктів, що є кінцями цих морфізмів, існує взаємоднозначна відповідність, то об'єкти категорії A^* можна описати таким способом $ObA^* = \bigcup_{i=0}^n A_i^*$, де

$$A_i^* = \left\{ a_{s_m, m}^{i-1, i} \right\}_{m=1}^{k_i} - \text{множина об'єктів, що відповідають зв'язкам систем-класів } (i = \overline{1, n}), \text{ а } A_0^* = \left\{ a_{1,1}^{0,0} \right\} - \text{множина, що містить об'єкт, який відповідає зв'язку гранично широкої системи-класу (онтологія) із нею самою. Зокрема, об'єкт відповідає } a_{1,1}^{0,1} \text{ зв'язку системи-класу онтологія із системою-класом знання, об'єкт } a_{1,2}^{0,1} - \text{ зв'язку системи-класу знання із системою-класом сприйняття знань.}$$

Дослідимо клас $MorA^*$. За правилом побудови категорії морфізмів над категорією A морфізмом об'єкта $a_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i} : a_{m_1}^{i-1} \rightarrow a_{m_1}^i$ в об'єкт $a_{s_{m_2}, m_2}^{i-1, i} : a_{m_2}^{i-1} \rightarrow a_{m_2}^i$ є довільна пара морфізмів

(ϕ, Ψ) , де $\phi : a_{s_{m_1}}^{i-1} \rightarrow a_{s_{m_2}}^{i-1}$ і $\psi : a_{m_1}^{i-1} \rightarrow a_{m_2}^{i-1}$, така, що

$$a_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i} \quad \phi = \Psi \quad a_{s_{m_2}, m_2}^{i-1, i}.$$

Тому

$$MorA^* \left(a_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i}, a_{s_{m_2}, m_2}^{i-1, i} \right) = \begin{cases} \emptyset & \text{при } m_1 \neq m_2; \\ \left\{ \left(1_{a_{s_{m_1}}^{i-1}}, 1_{a_{m_1}^i} \right) \right\} & \text{при } m_1 = m_2; \end{cases}$$

$$MorA^* \left(a_{s_q, q}^{i, i+1}, a_{s_p, p}^{i-1, i} \right) = \emptyset; \quad MorA^* \left(a_{s_p, p}^{i-1, i}, a_{1,1}^{0,0} \right) = \emptyset;$$

$$MorA^* \left(a_{r_s, s}^{i-2, i-1}, a_{s_p, p}^{i-1, i} \right) = \emptyset;$$

$$\begin{cases} 0, & \text{нпу } r_s \neq r_{s_p} \text{ у } s \neq s_p, \\ \left\{ \left(\alpha_{r_s, s_p}^{i-2, i-1}, \alpha_{s_p, p}^{i-1, i} \right) \right\}; & \\ 0, & \text{нпу } r_s = r_{s_p} \text{ у } s = s_p. \end{cases}$$

$$MorA^* \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,1} \right) = \left\{ \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,1} \right) \right\};$$

$$MorA^* \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,2}^{0,1} \right) = \left\{ \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,2}^{0,1} \right) \right\};$$

$$MorA^* \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0} \right) = \left\{ \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0} \right) \right\};$$

Аналогічно формується множина

$$MorA^* \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0} \right) = \left\{ \left(\alpha_{r_s, r}^{j-1, j}, \alpha_{s_p, p}^{i-1, i} \right) \right\}.$$

Таким чином, можна стверджувати, що категорії A і A^* ізоморфні, і цей ізоморфізм визначається коваріантним функтором $F : A \rightarrow A^*$.

Зв'язки між системами-класами, як було відзначено вище, відповідають їхнім властивостям. Отже, на основі категорії A^* можна описати структуру властивостей систем-класів, що відповідають об'єктам категорії A , тобто побудувати категорію B , ізоморфну категорії A^* .

Цей ізоморфізм визначається коваріантним функтором $G : A^* \rightarrow B$, таким, що на об'єктах категорії A^* функтор G задається таким чином:

$$G \left(\alpha_{s_m, m}^{i-1, i} \right) = b_m^i \quad (i = \overline{1, n}),$$

де b_m^i – об'єкт, що відповідає системі-класу i -го рівня ієрархії;

$$G(\alpha_{1,1}^{0,0}) = b_1^0,$$

де b_1^0 – об'єкт, що відповідає властивості-класу системи-класу *онтологія*, для одержання якого використовувався морфізм $\alpha_{1,1}^{0,0}$:

$$G(1_{\alpha_{s_m, m}^{i-1, i}}) = 1_{b_m^i}; \quad G(1_{\alpha_{1,1}^{0,0}}) = 1_{b_1^0};$$

$$G((\alpha_{r_{s_m, s_m}^{j-1, j}}, \alpha_{s_p, m}^{j, i})) = \beta_{s_m, m}^{j, i};$$

$$G((\alpha_{r_{s_m, s_m}^{i-2, i-1}}, \alpha_{s_m, m}^{i-1, i})) = \beta_{s_m, m}^{i-1, i},$$

де $\beta_{s_m, m}^{i-1, i} \in \text{Mor}_B(b_{s_m, m}^{i-1, i}, b_m^i)$ – морфізм, що відповідає зв'язку класів категорії B ;

$$G((\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,1})) = \beta_{1,1}^{0,1}; \quad G((\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,2}^{0,1})) = \beta_{1,2}^{0,1};$$

$$G((\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0})) = \beta_{1,1}^{0,0}.$$

Операція об'єднання категорій A і B дасть категорію $A \cup B$, таку, що

$$\text{Ob}(A \cup B) = \text{Ob}A \cup \text{Ob}B;$$

$$\text{Mor}(A \cup B) = \text{Mor}A \cup \text{Mor}B \cup \mathfrak{Z},$$

де $\mathfrak{Z} = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^{k_i} \text{Mor}(\alpha_1^0, b_j^i);$

$$\text{Mor}(\alpha_1^0, b_j^i) = (\gamma_{1,j}^{0,i}); \quad \gamma_{1,j}^{0,i} = \alpha_{1,2}^{0,1} \beta_{1,j}^{0,i}.$$

Показано, механізм формування УС СОТО функціонує не за принципом складання деякого цілого, що виникає з яких-небудь частин, а за принципом підтримки наперед заданого цілого з частин, що спеціально для цього призначені. Це є проявом двох видів властивостей систем, які входять до складу окремих БППР та УС СОТО в цілому – функціональних властивостей (що відповідають потребам користувача) і підтримуючих властивостей (що є внутрішньою причиною наявності функціональних властивостей).

Горизонтальну декомпозицію УС СОТО внаслідок тотожності окремих ієрархій у складі гетерархії доцільно проводити згідно з принципом

горизонтальної декомпозиції [10], оскільки в цьому випадку можна досягти тотожності з точністю до ізоморфізму.

3. Загальна методика синтезу структури управляючої системи складним організаційно-технічним об'єктом

В основу методики синтезу структури УС СОТО доцільно покласти схему двохетапної оптимізації (перший етап – створення «ідеальної» статичної структури, другий – динамічне настроювання структури).

Методика включає наступні основні етапи: передпроектне дослідження СОТО; уточнення структури, множини цілей і задач; визначення орієнтовного чисельного і якісного складу підрозділів у складі організації; побудову набору первісних ієрархічних структур та поєднання їх у гетерархію; динамічне настроювання структури УС СОТО.

Оскільки проблема синтезу структури УС СОТО викликає необхідність кількісного оцінювання характеристик структури, яку синтезовано, для виміру ієрархічного рангу будь-якого блоку підтримки прийняття рішень як елемента відповідної ієрархії УС СОТО в формі ІЕСППР з урахуванням неформальних аспектів ранжування, необхідно ввести організаційну метрику.

Введення такої метрики надасть змогу представити модель ІЕСППР у вигляді сімейства метричних організаційних просторів.

Зазначений підхід дозволить здійснити кількісну оцінку характеристики позиції кожного БППР в метричному просторі ІЕСППР і, таким чином, провести аналіз метричних властивостей організаційного простору.

Виходячи з наведеного вище, доцільно проводити оцінку ефективності функціонування УС СОТО на основі ІЕСППР шляхом визначення ступеня гомеостазу (рівноважного стану) системи.

Висновки

На основі описаних теоретичних досліджень обґрунтована і отримана технологія інтеграції окремих експертних систем в єдину, інтегровану експертну систему підтримки прийняття рішень на основі гетерархії, що являє собою сукупність ієрархій типових блоків, пов'язаних між собою внутрішньорівневими зв'язками. Розроблено й обґрунтовано із застосуванням математичного апарату теорії категорій принцип горизонтальної декомпозиції структури інформаційно-управляючої системи складним організаційно-технічним об'єктом управління, згідно з яким синтезована гетерархічна модель інтегрованої експертної системи підтримки прийняття рішень, у вигляді набору багатопланових ієрархій, які вкладено в багатопланову структуру.

В статті наведено формальне подання вирішальних елементів, що утворюють багатопланову, багатопланову ієрархію, це дозволяє адекватно описати організаційну структуру складного організаційно-технічного об'єкта прийняття рішень.

Таким чином, інтелектуальна технологія створення й підтримки функціонування інтегрованих експертних систем підтримки прийняття рішень по управлінню складними організаційно-технічними об'єктами є теоретичною основою створення нового класу інформаційно-аналітичних систем, які, поряд з широко відомими розподіленими системами обробки інформації і управління, можуть функціонувати в рамках єдиного інформаційного простору. На основі отриманих теоретичних результатів у подальшому можуть бути розроблені алгоритмічні і програмні засоби, що реалізують функції проектування, розробки, впровадження та експлуатації систем підтримки прийняття рішень для великого класу складних організаційно-технічних об'єктів.

Література

1. Виттих В.А. Управление открытыми системами на основе интеграции знаний // Автометрия. – 1999. – № 3. – С. 38-49.
2. Джексон П. Введение в экспертные системы: Пер. с англ.: Уч. пос. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 624 с.
3. Гаврилов А.В., Новицкая Ю.В. Разработка экспертных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ermak.cs.nstu.ru/site/students/ai1/>.
4. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход (AI: A Modern Approach). – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
5. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1152 с.
6. Соловьева Е.А. Естественная классификация: системологические основания. – Х.: ХТУРЭ, 1999. – 222 с.
7. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
8. Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок. – М.: Наука, 1971. – 256 с.
9. Семантика и категоризация / Отв. ред. Ю.А. Шрейдер. – М.: Наука, 1991. – 168 с.
10. Шостак И.В., Топал А.С., Устинова А.Н. Проблемы анализа и синтеза колониальных систем управления сложными объектами // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. – № 3 (28). – С. 66-69.

Надійшла до редакції 6.03.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.Г. Петров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.