

Толстопалова Наталія Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, Кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: tio63@mail.ru

Астрелін Ігор Михайлович, доктор технічних наук, професор, кафедра технології неорганічних речовин та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: sec@xtf.kpi.ua

УДК 004.942

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69069

ВІРТУАЛЬНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРИ

© А. О. Становський, А. В. Торопенко, Г. В. Налева, С. В. Кошулян, Х. Валід, Т. М. Панова

Розглянуті питання використання віртуальної математичної моделі в інформаційному просторі для розпізнавання стану бездротової комп'ютерної мережі у вигляді тривимірного зорового образу (відео-поток) змінної матричної математичної моделі. Розроблено метод отримання кінцевого (розпізнаного) стану змінної за часом структури частково недоступної пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі

Ключові слова: бездротова комп'ютерна мережа, розпізнавання стану структури, віртуальна математична модель

Problems of use of virtual mathematical model in information space for recognition of a condition of a wireless computer network in the form of a three-dimensional vision (video stream) of variable matrix mathematical model are considered. The method of receiving the final (recognizable) condition of a variable on time of structure of partially inaccessible damaged wireless computer network is developed

Keywords: wireless computer network, recognition of a condition of structure, virtual mathematical model

1. Вступ

Останнім часом все більшого поширення набувають бездротові комп'ютерні мережі (БКМ) спеціального призначення – пошкоджені БКМ (ПБКМ), які, на відміну від відомих, працюють в небезпечних умовах планування та управління бойовими діями, наражаючись при цьому на постійну небезпеку фізичного знищення окремих її елементів та ефірного пригнічення зв'язків між ними. Широке використання таких мереж підвищує вимоги до їхньої надійності, відмовостійкості та продуктивності. Остання, в свою чергу, забезпечується постійним запобіганням утворенню явних і схованих вузьких місць і пошкоджень, що призводять до структурної неможливості окремих елементів та зв'язків. При цьому істотним є час, затрачуваний на розпізнавання поточного стану пошкодженої мережі, з одного боку, і на відновлення її працездатності за рахунок, наприклад, «гарячого» резервування, – з іншого. Швидкість роботи систем розпізнавання та відновлення повинна забезпечувати онлайн підтримку боеготовності систем, обладнаних такими ПБКМ.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Після перетворення доступної інформації, маємо реальний, але не до кінця відомий об'єкт – част-

ково недоступну для спостереження пошкоджену БКМ – та отримуємо його віртуальну, але в деякому сенсі відому модель $\mathbf{H}(t_{\text{пор}})$ [1, 2]. Зауважимо, що прийнятий термін «віртуальний об'єкт» [3, 4] не зовсім коректний, оскільки сам об'єкт не може бути віртуальним, – він такий, «який він є», а віртуальною може бути лише модель цього об'єкта або деяка інтерпретація об'єкта «який би він міг бути, якщо б...».

Дійсно, як випливає з визначення, віртуальний (лат. *virtualis* – можливий) – об'єкт, який реально не існує, але може виникнути при певних умовах [5]. В англійській мові слово *virtual* з появою обчислювальної техніки набуло додатковий відтінок: «він (об'єкт) не існує в дійсності, але з'являється завдяки програмному забезпеченню» [6], що теж є ознакою моделі, а не самого об'єкта.

Філософія абстрагує ідею віртуальної реальності від її технічного втілення. Віртуальну реальність тлумачать як сукупність моделюємих реальними процесами об'єктів [7, 8], зміст і форма яких не збігається із цими процесами. Існування моделюємих об'єктів порівнюється з реальністю, але розглядається обособлено від неї – віртуальні об'єкти існують, але не як субстанції реального миру.

У той же час ці об'єкти актуальні, а не потенційні. «Віртуальність» реальності встановлюється стосовно «основної» реальності, яка її обумовлює.

Віртуальні реальності можуть бути вкладені одна в іншу. При завершенні моделюючих процесів, що йдуть в «основній» реальності, віртуальна реальність зникає [9]. Прикладами віртуальної реальності, широко використовуваними в науці, є простори з розмірністю більше трьох [10], дробновимірні простори [11], дробові похідні [12] і багато іншого.

Останнім часом з'явився метод оптимізації різних процесів (механічних, гідравлічних, теплових тощо) за допомогою *методу віртуального об'єкта* [13–16].

3. Мета і задачі роботи

Метою роботи було підтримання працездатності пошкоджених бездротових комп'ютерних мереж, які працюють в умовах великої ймовірності наслідних пошкоджень, шляхом гарячого резервування елементів мережі та зв'язків між ними за рахунок розробки та впровадження інтелектуальних методів розпізнавання стану структури пошкоджених мережевих об'єктів із частково недоступними для моніторингу елементами.

Для досягнення цієї мети в роботі розроблено метод отримання кінцевого (розпізнаного) стану змінної за часом структури частково недоступної ПБКМ на основі віртуальних тривимірних функцій яскравості у вигляді абстрактних об'ємних рухомих зорових образів (відеопотоків).

4. Віртуальні математичні моделі в інформаційному просторі

4.1. Види об'єктів та їх віртуальних математичних моделей

В практиці дослідження надійності бездротових комп'ютерних мереж (БКМ) часто виникає необхідність *розпізнавання стану структури* латентної (непостережуваної, прихованої) частини останніх, з метою виявлення кількості і дислокації структурних пошкоджень та оцінки працездатності мережі в цілому. Ця необхідність впливає з того, що окремі еле-

менти частково недоступні для спостереження пошкоджувани (ЧНП) БКМ особливого призначення в умовах ймовірного пошкодження, наприклад, бойових дій, відносно швидко втрачають зв'язок із елементами, які залишаються доступними. Причиною цього можуть бути активне фізичне пошкодження елементів БКМ та (або) активне ефірне подавлення зв'язків між цими елементами.

Відтворення працездатності БКМ з деякою ймовірністю потребує, або перерозподілу функцій серед непошкоджених елементів, або відновлення за рахунок використання «гарячого» резерву елементів на діючому об'єкті. Практично це означає не відновлення початкової структури БКМ, а відновлення її функцій «будь якою ціною» [17].

При цьому спеціаліст з відновлення структури на поточній ітерації $t_{\text{пот}}$ життєвого циклу БКМ для прийняття рішення може розраховувати лише на відому інформацію про початкову структуру БКМ у вигляді графу $H_{\text{обо}}$ (яка міститься в її кресленні), та про тренди деяких вимірюваних характеристик (сигналів) $S(t)$, $0 \leq t \leq t_{\text{пот}}$ від БКМ в цілому, отримані від елементів, що залишилися доступними, за певний період до поточної ітерації.

Це можуть бути вимірювані на виході мережі або на її доступних елементах дані з протоколів обмінів між елементами БКМ, залишки сумісно обробленої інформації, тощо.

Віртуальні об'єкти можуть бути представлені чотирма видами:

- існування таких об'єктів у реальному житті неможливо в принципі;
- об'єкти містять елементи з позамежними щодо реальної практики параметрами;
- об'єкти містять елементи, виготовлення яких можливе, але вкрай неекономічне;
- об'єкти містять елементи, виготовлення яких можливе, але вкрай нетехнологічне.

Приклади віртуальних об'єктів перерахованих видів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Види та приклади віртуальних об'єктів

№№ п/п	Вид віртуальності	Приклади віртуальних об'єктів
1	Неможливість	Питома електропровідність матеріалу деталі при нормальних умовах – вище $7 \cdot 10^8$ См/м До однієї точки електричного ланцюга <i>одночасно</i> підведена <i>різна</i> напруга
2	Заграничність	Діаметр вала редуктора – 2 м
3	Неекономічність	Матеріал корпусу редуктора – платина
4	Нетехнологічність	Форма деталі – порожня куля Деталь із плавно змінними властивостями

Основні варіанти віртуального об'єкта, що впливають з відомого визначення [9, 10]: він можливий практично, він можливий теоретично, він невідомий, він неможливий. Але ж об'єкт, за визначенням цього терміна завжди реальний! Отже, віртуальний об'єкт завжди можливий за визначенням слова «віртуальний». Існуючий об'єкт не може бути неможливим, бо він завжди матеріальний. Звідси випливає, що віртуа-

льний об'єкт можливий у двох видах: він існує (наприклад, композиційна деталь з дискретних ділянок з різними властивостями матеріалу в різних точках деталі) або його немає, але він можливий (наприклад, композиційна деталь з неперервно змінними властивостями матеріалу в різних точках деталі).

Інша справа – математична модель об'єкта! Вона може бути (і є!) у практично можливого об'єкта,

у теоретично можливого об'єкта, але вона може бути поширена і на неможливі об'єкти (наприклад, композиційна деталь з різними властивостями матеріалу в одній і тій же точці цієї деталі). Тоді виходять такі варіанти математичних моделей об'єктів різного рівня реальності їхнього існування:

– можлива математична модель реального об'єкта (ММРО) (тривіальна);

– можлива математична модель теоретично можливого, але неіснуючого або невідомого об'єкта (ММТО);

– можлива математична модель (чому б і ні, адже модель нематеріальна!) неможливого матеріального об'єкта (ММНО).

Саме в цьому значенні будемо вживати далі поняття ММРО, ММТО та ММНО. Відповідно, замість відомого терміну «метод віртуального об'єкта» (МВО) будемо використовувати новий термін «метод теоретично можливого, але невідомого об'єкта (МНО)», де під цим терміном будемо розуміти метод створення та інформаційної обробки ММТО цього об'єкта, до яких безумовно відноситься пошкоджувана та частково недоступна БКМ.

Подальше використання ММТО $\mathbf{H}(t_{\text{пот}})$ може піти різними шляхами:

– перерозподіл функцій серед непошкоджених елементів БКМ;

– відновлення БКМ за рахунок елементів «гарячого» резервування;

– штатне або позаштатне припинення роботи БКМ.

4.2. Створення та інформаційна обробка математичної моделі теоретично можливого, але невідомого об'єкта

Комп'ютерна часова складність існуючих методів розпізнавання за допомогою ММТО $\mathbf{H}(t_{\text{пот}})$, а отже обмеження на застосування їх в *online* режимі роботи БКМ, змушує користувачів пошкоджуваних частково недоступних БКМ не тільки прискорювати обчислення за рахунок застосування сучасних засобів обчислювальної техніки, але й шукати нові підходи до методів розпізнавання.

Сучасні задачі розпізнавання пошкоджуваних та частино недоступних до моніторингу БКМ не можуть бути розв'язані «у чоло» відомими методами в прийнятний час, оскільки об'єкти, що розпізнаються, мають велику розмірність та «нерівномірність» властивостей, наприклад, елементи із зосередженими параметрами (вузли) сполучаються з елементами з розосередженими (зв'язки), протоколи роботи окремих вузлів не погоджені в часі тощо, при цьому, кожна така особливість різко ускладнює розрахункові моделі об'єкта.

Складна система – система, що складається із множини взаємодіючих складових (підсистем), внаслідок чого складна система здобуває нові властивості, які відсутні на підсистемному рівні й не можуть бути зведені до властивостей підсистемного рівня.

Строге визначення складної системи ще не знайдено, але до деяких рис складної системи відносять: відсутність математичного опису або алгоритму; «зашумленість», що виражається в утрудненні спостереження й управління, обумовлена не стільки наявністю генераторів випадкових перешкод, скільки великою кількістю другорядних для цілей управління процесів; «нетерпимість» до управління – система існує не для того, щоб нею управляли; нестационарність, що виражається в дрейфі характеристик, зміні параметрів, еволюції в часі; невідтворюваність експериментів з нею [18].

Саме в складних системах найбільше яскраво проявляється такий системний ефект, як емергентність або синергія [19] – наявність у будь-якої системи особливих властивостей, не існуючих у її елементів, а також суми елементів, не зв'язаних особливими системоутворюючими зв'язками; незвідність властивостей системи до суми властивостей її компонентів.

Виконаємо формалізацію кортежу <об'єкт, зовнішній вплив> для систем різної фізичної природи. Для початку розглянемо взаємодію із зовнішнім світом складну механічну систему $\mathbf{S}_m(\mathbf{x}, \lambda, \mathbf{q})$, описувану векторами параметрів конфігурації (розмірів) $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$ і механічних властивостей $\lambda \in \Lambda$. На зовнішній механічний вплив $\mathbf{q} \in \mathbf{Q}$ система відповідає реакцією \mathbf{r} (рис. 1, а):

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}), \quad (1)$$

яка являє собою напружено-деформований стан (НДС) об'єкта, де \mathbf{X} , Λ і \mathbf{Q} – множини, у межах яких при оптимізації системи допускаються зміни, відповідно, \mathbf{x} , λ і \mathbf{q} .

В електричних систем $\mathbf{S}_e(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{u})$, крім загального вектора конфігурації, $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$, маємо, відповідно, вектори електричних властивостей $\mathbf{p} \in \mathbf{P}$ і електричного навантаження $\mathbf{u} \in \mathbf{U}$, на які система відповідає реакцією \mathbf{i} (струмами в її ланцюгах) (рис. 1, б):

$$\mathbf{i} = \mathbf{i}(\mathbf{x}; \mathbf{p}; \mathbf{u}). \quad (2)$$

Гідравлічні системи $\mathbf{S}_r(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{u})$, крім загального вектора конфігурації, $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$, описуються, відповідно, векторами гідравлічних властивостей $\mathbf{p} \in \mathbf{P}$ (щільність, в'язкість) і гідравлічного навантаження $\mathbf{u} \in \mathbf{U}$ (тиск), на які система відповідає реакцією \mathbf{q} (потік, витрата) (рис. 1, в):

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}(\mathbf{x}; \mathbf{p}; \mathbf{u}). \quad (3)$$

Інформаційні системи $\mathbf{S}_i(\mathbf{H}, \mathbf{V}, \mathbf{P})$, крім загального вектора структури \mathbf{H} , описуються, відповідно, векторами інформаційних властивостей \mathbf{V} (продуктивність процесорів, ємність пам'яті, тощо) і навантаження \mathbf{P} (обробка, звернення, тощо), на які система відповідає реакцією \mathbf{C} (сигнал) (рис. 1, г):

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}(\mathbf{H}; \mathbf{V}; \mathbf{P}). \quad (4)$$

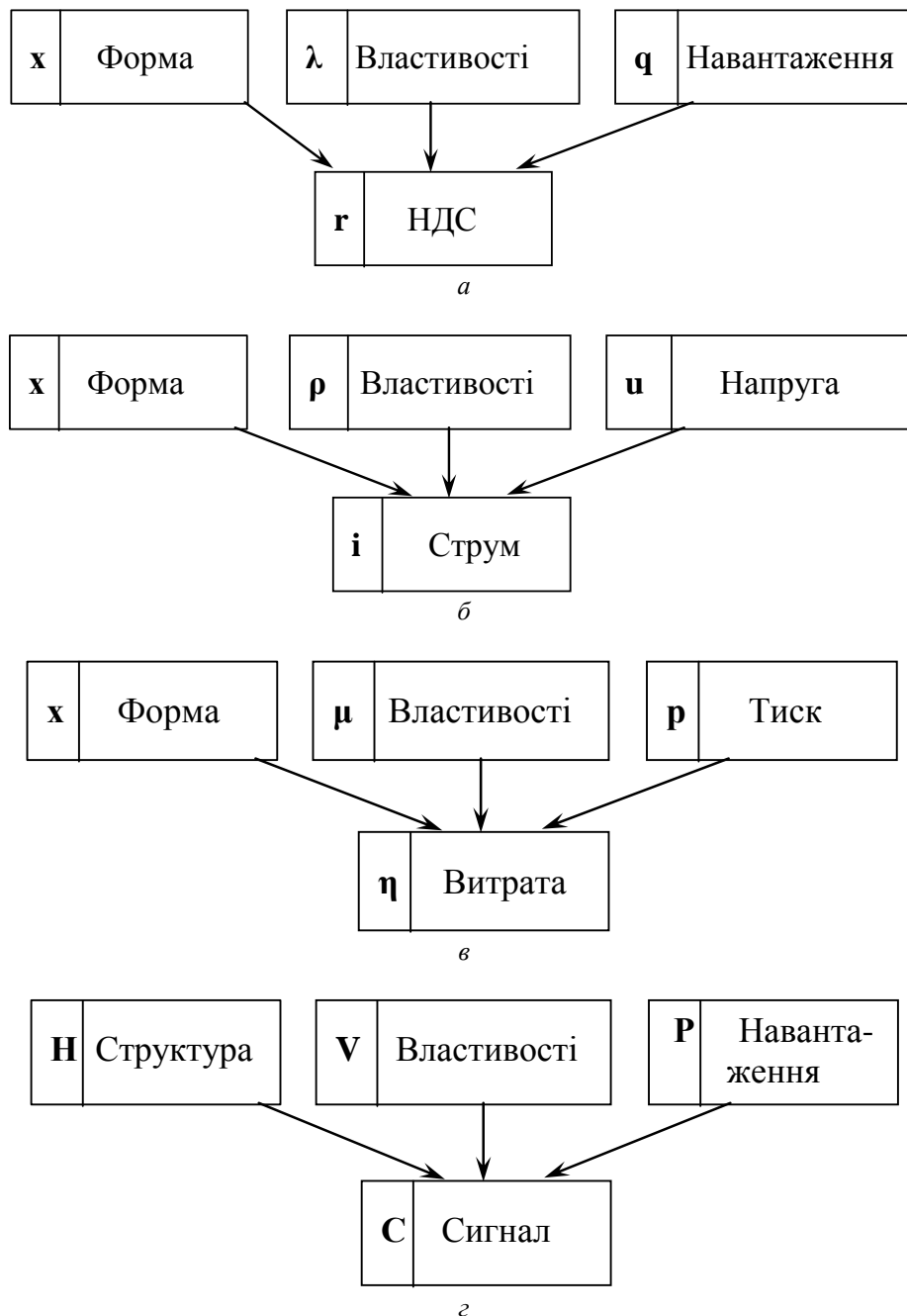


Рис. 1. Схема взаємодії векторів кортежу <об'єкт, зовнішній вплив> для:
a – механічних; *b* – електричних; *v* – гідравлічних; *z* – інформаційних систем

Обчислювальна складність і точність визначення реакцій r , i , η та C визначаються конкретними математичними моделями об'єктів розпізнавання, а також прийнятими методами моделювання. Розрахунки за (1)–(4) відносяться до прямих рішень, коли із причин – (x, λ, q) , (x, ρ, u) , $(x; \mu; p)$ та $(H; V; P)$ шукають наслідки – r , i , η та C , які завжди однозначні. У той же час, у кожній прямої задачі (1)–(4) є три зворотні:

– для механічних систем: за відомою реакцією r , властивостям λ і впливу q розрахувати конфігурацію x ; по відомій реакції r , конфігурації x і впливу q розрахувати властивості λ ; по відомій реакції r , властивостям λ і конфігурації x розрахувати вплив q ;

– для електричних систем: за відомою реакцією i , властивостям ρ і впливу u розрахувати конфігу-

рацію x ; по відомій реакції i , конфігурації x і впливу u розрахувати властивості ρ ; по відомій реакції i , властивостям ρ і конфігурації x розрахувати вплив u ;

– для гідравлічних систем: за відомою реакцією η , властивостям μ і впливу p розрахувати конфігурацію x ; по відомій реакції η , конфігурації x і впливу p розрахувати властивості μ ; по відомій реакції η , властивостям μ і конфігурації x розрахувати вплив p ;

– для інформаційних систем: за відомими сигналами C , властивостям V і навантаженню P розрахувати структуру H ; по відомих сигналах C , структурі H і навантаженню P розрахувати властивості V ; по відомих сигналах C , властивостях V і структурі H розрахувати вплив P .

В практиці розпізнавання стану об'єктів типу пошкоджуваних БКМ найчастіше доводиться вирішувати перші зворотні задачі, тобто розпізнавати структуру.

У практиці перерозподілу функцій елементів БКМ актуальними є треті задачі по оптимізації зовнішніх цілеспрямованих впливів на об'єкт (власне перерозподіл).

При проектуванні відновлення працездатності складних БКМ результат розрахунку не завжди очевидний, і оптимальне рішення виходить тільки після генерування та відхилення декількох проміжних варіантів.

Для усіх перелічених систем застосування ММТО загальними є наступні кроки:

- формулювання задачі, мети її розв'язання та початкових даних;
- вибір методу розв'язання задачі в залежності від об'єкта перерозподілу або резервного відновлення;
- виявлення етапів (підсистем) обраного методу розв'язання;
- виявлення «незручного» (забороненого часом, фізичними або математичними законами, тощо) етапу k обраного методу розв'язання (рис. 2);
- перетворення моделі реального об'єкта до ММТО;
- розв'язання етапу k^* за допомогою ММТО;
- повернення до основного методу.

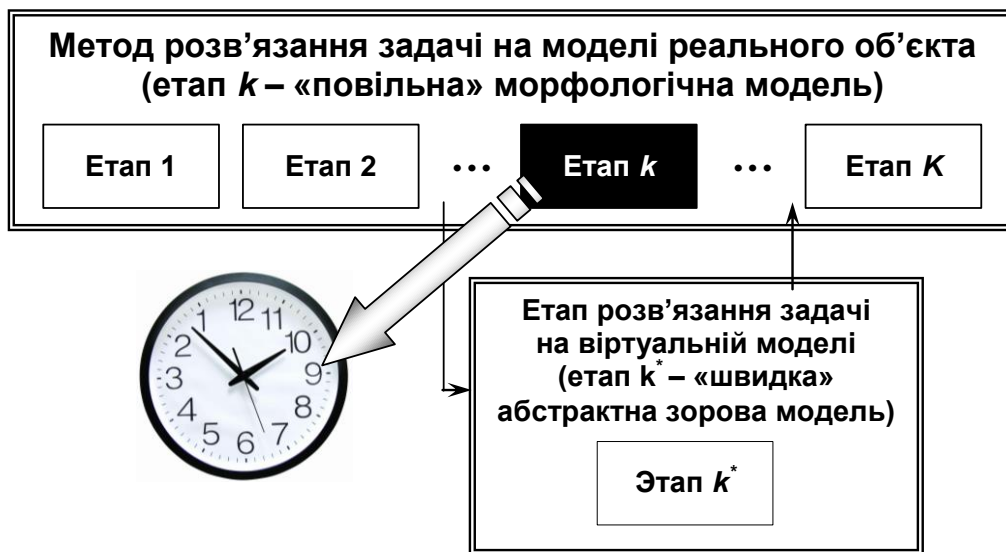


Рис. 2. Заміна «повільного» етапу k методу розв'язання задачі на моделі реального об'єкта на етап «швидкий» етап k^* використання віртуальної моделі у вигляді абстрактного зорового образу методу ММТО

Розглянемо застосування ММТО на прикладі механічної системи. Нехай реакція \mathbf{r} чергового варіанта, розрахована за (1), визнана проектувальником неприпустимо далекою від ідеальної мети $\mathbf{r}_{ид}$, і було прийнято шляхом рішення першої зворотної задачі змінити вектор конфігурації \mathbf{x} на \mathbf{x}^* , так щоб вектор параметрів реакції отримав значення \mathbf{r}^* .

$$\mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}) \rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}^*; \lambda; \mathbf{q}) \in \mathbf{r}_{ид} \pm \delta/2, \quad (5)$$

де δ – наперед заданий максимально припустимий «коридор», не обов'язково з кінцевими границями в просторі параметрів, що становлять \mathbf{r} .

Рішення задачі можна виконати двома методами, перший, *безпосередній* метод застосуємо, коли перетворення \mathbf{X} , що задовольняє умові (5), дозволено. Тоді вектор \mathbf{x}^* , якщо він взагалі існує, шукають, вирішуючи першу зворотну задачу,

$$\mathbf{x}^* = \mathbf{x}(\mathbf{r}^*; \lambda; \mathbf{q}). \quad (6)$$

При рішенні будь-яких зворотних задач по групі параметрів, що включають наслідок $(\mathbf{r}^*; \lambda; \mathbf{q})$, шукають одну із причин, у цьому випадку – вектор параметрів конфігурації \mathbf{x}^* . У класичній постановці під наслідком розуміють деякі параметри, обмірюва-

ні експериментально, у цьому випадку наслідок є прийняте на даному етапі проектування подання про «гарний» об'єкті. Обчислювальна складність такого пошуку досить велика.

Зворотні задачі ставляться до класу некоректно поставлених. Для даного випадку їхнє формулювання виглядає в такий спосіб. Нехай проектувана система характеризується елементом $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$, недоступним для прямого визначення, тому вивчається деякий його прояв $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{r}$, $\mathbf{r} \in \mathbf{f}(\mathbf{X})$. Тут $\mathbf{f}(\mathbf{X})$ – образ множини \mathbf{X} при відображенні \mathbf{f} . Рівняння $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{r}$ має рішення тільки для таких елементів \mathbf{r} , які належать множині $\mathbf{f}(\mathbf{X})$. Оператор \mathbf{f} у багатьох випадках є таким, що зворотний йому оператор \mathbf{f}^{-1} не є неперервним.

У цьому випадку як наближене рішення $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{r}$ не можна брати елемент $\mathbf{x} = \mathbf{f}^{-1}(\mathbf{r})$, оскільки такого рішення може не бути, тому що \mathbf{x} може не належати множині $\mathbf{f}(\mathbf{X})$, тобто не буде виконуватися перша вимога коректності по Адамару. Більше того, навіть якщо рішення \mathbf{x} існує, воно не буде мати властивість стійкості, якщо оператор \mathbf{f}^{-1} не є неперервним. Вимоги коректності [20] у цьому випадку зводяться до наступного формулювання. Необхідно знайти рішення за вхідними даними $\mathbf{r}_{ид}$, $\mathbf{x} = \mathbf{G}(\mathbf{r})$, де \mathbf{G} – деякий

оператор. Якщо \mathbf{r} й \mathbf{x} належать різноманіттям \mathbf{X} та \mathbf{R} , для елементів яких визначене поняття відстані (метрика) $\mathbf{g}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ і $\mathbf{g}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$, де $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2 \in \mathbf{X}$, $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2 \in \mathbf{R}$, тобто \mathbf{X} й \mathbf{R} – метричні простори, то повинні задовольнятися наступні три вимоги:

– існування: для всякого $\mathbf{r} \in \mathbf{R}$ існує рішення $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$;

– однозначності: рішення визначається однозначно;

– стійкості: рішення повинне безупинно залежати від вхідних даних, тобто для всякого $\epsilon > 0$ можна вказати таке $\delta(\epsilon)$, що якщо $\mathbf{g}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) \leq \delta$ і $\mathbf{x}_1 = \mathbf{G}(\mathbf{r}_1)$, $\mathbf{x}_2 = \mathbf{G}(\mathbf{r}_2)$, то $\mathbf{g}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \leq \delta$.

Якщо безпосереднє перетворення (5) заборонено будь-якою з перерахованих умов або з інших причин, то досягти \mathbf{g}^* можна за допомогою методу віртуального об'єкта за рахунок введення додаткової проміжної операції – попереднього перетворення λ і (або) q :

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; q) &\rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}; \lambda^*; q) \in \text{гид} \pm \delta/2; \\ \mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; q) &\rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}; \lambda; q^*) \in \text{гид} \pm \delta/2; \\ \mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; q) &\rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}; \lambda^*; q^*) \in \text{гид} \pm \delta/2. \end{aligned} \quad (7)$$

З (7) вирішуються друга і третя зворотна виразу (1) задача. У результаті цього рішення, обчислювальна складність якого також досить велика, створюється проміжне додаткове стану системи – $(\mathbf{x}; \lambda^*; q)$, $(\mathbf{x}; \lambda; q^*)$ або $(\mathbf{x}; \lambda^*; q^*)$, називане віртуальним об'єктом, тому що реальна реалізація цього стану «у металі» не передбачається, і тому значення складових його параметрів можуть приймати будь-які, іноді чисто гіпотетичні величини. Оскільки задачі (7) також є зворотними, до них необхідно віднести всі перераховані вимоги коректності.

Нехай λ^* й (або) q^* існують і на першому етапі методу віртуального об'єкта вони знайдені. Це значить, що вдалося досягти бажаного \mathbf{g}^* , але не за рахунок необхідної оптимізації форми, а шляхом віртуальної зміни властивостей λ^* й (або) зовнішніх впливів q^* . Перейдемо тепер до другого етапу, на якому \mathbf{x}^* шукається як функція від розрахованих на першому етапі λ^* й (або) q^*

$$\mathbf{x}^* = \mathbf{f}(\lambda^*; q); \mathbf{x}^* = \mathbf{f}(\lambda; q^*); \mathbf{x}^* = \mathbf{f}(\lambda^*; q^*). \quad (8)$$

Формули (8) у явному виді або інші методи розрахунку по цих рівняннях визначаються в кожному конкретному випадку залежно від об'єкта проектування, його фізичних моделей і прийнятих методів перетворень у його структурі й параметрах. Їхня обчислювальна складність на порядок менше складності рішення зворотних задач (6) і (7).

Як бачимо, в результаті одного з перетворень (8) виходить шуканий вектор \mathbf{x}^* . Сумарна обчислювальна складність обох етапів – (7) і (8) відрізняється від складності етапу (7). Саме на останньому й вигідно застосовувати швидкодіючі методи обчислень, які забороняють змінювати \mathbf{x} .

Таким чином, метод розпізнавання стану БКМ, пошкоджуваних під час експлуатації, за допомогою ММТО може бути організована, наприклад, у відпо-

відності з наступною схемою. Одержавши технічне завдання на проект, метод оцінює необхідний об'єм оптимізаційних задач й їх часову складність. Якщо остання виявляється надмірно великою, виконується пошук можливості підстановки в ці задачі, замість моделі реального об'єкта, – ММТО. Далі ММТО створюється і виконується її оптимізація.

Остаточо, виконується зворотне перетворення оптимізованої ММТО в реальну, причому такий перехід супроводжується остаточним розрахунком параметрів останнього. Розглянемо приклади практичного застосування методу. Нехай у процесі проектування був створений варіант машинобудівної деталі, у якої \mathbf{x} – вектор розмірів; λ – вектор механічних характеристик матеріалу деталі; q – вектор параметрів зовнішнього механічного навантаження; і \mathbf{r} – напружено-деформований стан (НДС) деталі.

Якщо \mathbf{r} не задовольняє проектувальника по міркуваннях міцності, твердості або матеріалоемності, варіант проекту може бути дороблений з метою одержання ПДВ, що відповідає \mathbf{r}^* , тобто близького до заданого (або ідеальному – \mathbf{r}_{id}).

Коли мова йде про розв'язання інформаційних задач, заборону на один з етапів такого розв'язання найчастіше ставить часова складність останнього, зовсім не байдужа взагалі, а у випадку БКМ, які приймають участь в бойових діях, – особливо.

5. Результати дослідження

Практичним результатом дослідження є складові інтелектуальної системи «OBMIN» (objects with elements, inaccessible to monitoring) комп'ютерного розпізнавання стану структури складних пошкоджуваних об'єктів з частково недоступними для моніторингу елементами, до яких слід, зокрема, віднесли бездротові комп'ютерні мережі, частково встановлені на безпілотних літальних апаратах-дронах.

Використання інформаційного методу комп'ютерного розпізнавання та відтворення стану структури складних пошкоджуваних об'єктів із недоступними для моніторингу елементами дозволило з високим ступенем ймовірності оцінювати поточний стан мережі, а саме вибуття з ладу деяких її елементів по сигналах, отриманих від завідомо справних елементів, що залишаються на базових позиціях.

Практика підтверджує можливість підвищення можливості своєчасного відновлення пошкоджених елементів бездротової комп'ютерної мережі за рахунок гарячого резервування, що гарантує підвищення загального рівня працездатності останньої на 22,3–26,3 %.

6. Висновки

В практиці дослідження надійності БКМ часто виникає необхідність *розпізнавання стану структури* латентної (непостережуваної, прихованої) частини останніх, з метою виявлення кількості і дислокації структурних пошкоджень та оцінки працездатності мережі в цілому. Ця необхідність випливає з того, що окремі елементи БКМ в умовах ймовірного пошкодження, відносно швидко втрачають зв'язок із елементами, які залишаються дос-

тупними. При цьому БКМ з деякою ймовірністю потребує або перерозподілу функцій серед непошкоджених елементів, або реінжинірингу, тобто діяльності з модернізації раніше реалізованих технічних рішень на діючому об'єкті. В роботі була здійснена спроба використання для розпізнавання стану БКМ *виртуальної моделі* у вигляді тривимірного зорового образу (відеопотоку) змінної матричної математичної моделі

Література

1. Бовнегра, Л. В. Обобщение метода виртуального объекта на расчеты оптимальных параметров сложных систем [Текст] / Л. В. Бовнегра, Т. В. Лысенко, А. А. Становский // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 4, № 3 (70). – С. 33–37. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/26279/23990>
2. Lysenko, T. Structure optimization of the mechanical and computer networks using the method of virtual object [Text]: conference / T. Lysenko, L. Bovnegra, A. Stanovskiy, L. Tsapenko // Research and development in mechanical industry. – SaTCIP, Vrnjačka Banja, Serbia, 2014. – P. 694–700.
3. Гончарова, О. Е. Нечувствительный к асимметрии численный метод оптимизации конструкций [Текст] / О. Е. Гончарова, В. Г. Максимов, А. Л. Становский // Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – Вып. 2 (8). – С. 41–44.
4. Балан, С. А. Метод виртуального объекта в проектировании [Текст] / С. А. Балан, Т. П. Становская, О. Е. Гончарова // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 1 (9). – С. 32–35.
5. Рузавин, Г. И. Виртуальность [Текст] / Г. И. Рузавин // Новая философская энциклопедия. – 2-е изд. – М.: Мысль, 2010. – 2816 с.
6. Virtual / Online Etymology Dictionary [Electronic resource]. – Available at: <http://www.etymonline.com/index.php?term=virtual>
7. Грицанов, А. А. Виртуальная реальность. Энциклопедия социологии [Текст] / А. А. Грицанов, В. Л. Абушенко, Г. М. Евелькин, Г. Н. Соколова, О. В. Терещенко. – Мн.: Книжный Дом, 2003. – 131 с.
8. Багдасарьян, Н. Г. Виртуальная реальность: попытка типологизации [Текст] / Н. Г. Багдасарьян, В. Л. Сиаева // Философские науки. – 2005. – № 6. – С. 39–58.
9. Носов, Н. А. Манифест виртуалистики [Текст] / Н. А. Носов. – М.: Путь, 2001. – 246 с.
10. Грин, Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории [Текст] / Б. Грин; ред. В. О. Малышенко. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.
11. Колесникова, Е. В. Фрактальная размерность как мера трансформации серийной проектной деятельности в операционную [Текст] / Е. В. Колесникова, И. И. Становская // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – Вип. 2 (41). – С. 282–288.
12. Чуриков, В. А. Внутренняя алгебра операторов дробного интегрирования [Текст] / В. А. Чуриков // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314, № 2. – С. 12–15.
13. Максимов, В. Г. Расчёт параметров НДС металлоконструкций методом виртуального объекта [Текст] / В. Г. Максимов, О. Е. Гончарова, Т. П. Становская // Моделирование в прикладных научных исследованиях. – Одесса: ОГПУ, 1999. – С. 16–17.
14. Балан, С. А. Применение метода виртуального объекта в машиностроении [Текст] / С. А. Балан, Т. П. Становская, О. Е. Гончарова // Моделирование в прикладных научных исследованиях. – Одесса: ОГПУ, 2000. – С. 12–16.

15. Балан, С. А. Метод виртуального объекта в управлении тормозными системами с внутренней виброзащитой [Текст] / С. А. Балан, Т. П. Становская, А. В. Опарин // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 2 (11). – С. 29–32.
16. Балан, С. А. Метод виртуального объекта в проектировании [Текст] / С. А. Балан, Т. П. Становская, О. Е. Гончарова // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 1 (10). – С. 32–35.
17. Савельева, О. С. К оценке надежности сети датчиков с резервированием [Текст] / О. С. Савельева, Д. А. Пурнич, А. А. Становский // Моделирование в прикладных научных исследованиях. – Одесса: ОГПУ, 2011. – С. 65–68.
18. Лоскутов, А. Ю. Основы теории сложных систем [Текст] / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. – Москва – Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2007. – 612 с.
19. Жилин, Д. М. Теория систем [Текст] / Д. М. Жилин. – М.: УРСС, 2004. – 183 с.
20. Балан, С. А. Автоматизированная система управления торможением автотранспортных средств [Текст] / С. А. Балан, В. Г. Максимов, Т. П. Становская // Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – Вып. 2 (8). – С. 95–97.

References

1. Bovnegra, L. V., Lysenko, T. V., Stanovskiy, A. A. (2014). Generalization of the method of virtual object on the calculations of optimum parameters of complex systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/3 (70), 33–37. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/26279/23990>
2. Lysenko, T., Bovnegra, L., Stanovskiy, A., Tsapenko, L. (2014). Structure optimization of the mechanical and computer networks using the method of virtual object. Research and development in mechanical industry. SaTCIP, Vrnjačka Banja, Serbia, 694–700.
3. Goncharova, O. E., Maksimov, V. G., Stanovskij, A. L. (1999). Nechuvstvitel'nyj k asimmetrii chislennyj metod optimizacii konstrukcij. Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta, 2 (8), 41–44.
4. Balan, S. A., Stanovskaja, T. P., Goncharova, O. E. (2000). Metod virtual'nogo ob'ekta v proektirovanii. Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta, 1 (9), 32–35.
5. Ruzavin, G. I. (2010). Virtual'nost'. Novaja filosofskaja jenciklopedija. Moscow: Mysl', 2816.
6. Virtual / Online Etymology Dictionary. Available at: <http://www.etymonline.com/index.php?term=virtual>
7. Gricanov, A. A., Abushenko, V. L., Evel'kin, G. M., Sokolova, G. N., Tereshhenko, O. V. (2003). Virtual'naja real'nost'. Jenciklopedija sociologii. Minsk: Knizhnyj Dom, 131.
8. Bagdasar'jan, N. G., Silaeva, V. L. (2005). Virtual'naja real'nost': popytka tipologizacii. Filosofskie nauki, 6, 39–58.
9. Nosov, N. A. (2001). Manifest virtualistiki. Moscow: Put', 246.
10. Grin, B.; Malysenko, V. O. (Ed.) (2004). Jelegantnaja Vselennaja. Superstruny, skrytye razmernosti i poiski okonchatel'noj teorii. Moscow: Editorial URSS, 288.
11. Kolesnikova, E. V., Stanovskaja, I. I. (2013). Fraktal'naja razmernost' kak mera transformacii serijnoj proektnoj dejatel'nosti v operacionnuju. Odes'kogo politehnicheskogo universiteta, 2 (41), 282–288.
12. Churikov, V. A. (2009). Vnutrennjaja algebra operatorov drobnogo integrodifferencirovanija. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 314 (2), 12–15.
13. Maksimov, V. G., Goncharova, O. E., Stanovskaja, T. P. (1999). Raschjot parametrov NDS metallokon-

струкцій методом virtual'nogo ob'ekta. Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovaniyah. Odessa: OGPU, 16–17.

14. Balan, S. A., Stanovskaja, T. P., Goncharova, O. E. (2000). Primenenie metoda virtual'nogo ob'ekta v mashinostroenii. Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovaniyah. Odessa: OGPU, 12–16.

15. Balan, S. A., Stanovskaja, T. P., Oparin, A. V. (2000). Metod virtual'nogo ob'ekta v upravlenii tormoznymi sistemami s vnutrennej vibrozashhitoy. Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta, 2 (11), 29–32.

16. Balan, S. A., Stanovskaja, T. P., Goncharova, O. E. (2000). Metod virtual'nogo ob'ekta v proektirovanii. Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta, 1 (10), 32–35.

17. Savel'eva, O. S., Purich, D. A., Stanovskij, A. A. (2011). K ocenke nadezhnosti seti datchikov s rezervirovaniem. Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovaniyah. Odessa: ONPU, 65–68.

18. Loskutov, A. Ju., Mihajlov, A. S. (2007). Osnovy teorii slozhnyh sistem. Moscow – Izhevsk: NIC «Reguljarnaja i stohasticheskaja dinamika», 612.

19. Zhilin, D. M. (2004). Teoriya sistem. Moscow: URSS, 183.

20. Balan, S. A., Maksimov, V. G., Stanovskaja, T. P. (1999). Avtomatizirovannaja sistema upravlenija tormozheniem avtotransportnyh sredstv. Odesskogo politehnicheskogo universiteta, 2 (8), 95–97.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Становський О. Л.
Дата надходження рукопису 19.04.2016*

Становський Андрій Олександрович, кафедра комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж, Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: redline@normaplus.ua

Торопенко Алла Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: alla.androsyk@gmail.com

Налева Галина Василівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра вищої математики, Національний університет «Одеська морська академія», вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, Україна, 65029
E-mail: naleva_gv@mail.ru

Панова Тетяна Миколаївна, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: a-ost@te.net.ua

Кошулян Сергій Вікторович, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: koshulyan@gmail.com

Хуссайн Валід Шер, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044
E-mail: walidsher@hotmail.com

УДК 66.021

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69075

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ГАЗСОДЕРЖАНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОГО СЛОЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТАРЕЛОК ПРОВАЛЬНОГО ТИПА

© Г. В. Тараненко

Проведены измерения локального газосодержания на тарелке провального типа для режима однородного барботажного слоя и режима подвижного газожидкостного слоя кондуктометрическим способом. Определены фрактальные размерности графиков зависимости локального газосодержания от высоты установки датчика от плато тарелки. Установлено наличие аттрактора гидравлического сопротивления тарелки для режима подвижного газожидкостного слоя

Ключевые слова: датчик, газосодержание, сопротивление, локальный, измерение, режим, параметры, фрактал, аттрактор, бифуркация

Measurements of local gas content on the dual-flow plate for the regime of uniform bubble bed and regime of movable gas-liquid layer by conductometric method were conducted. The fractal dimension of the plots of the local gas content of the height sensor was determined. Presence the attractor of the hydraulic resistance of plate for the regime of the movable gas-liquid layer was determined

Keywords: sensor, gas content, resistance, local, measuring, regime, parameters, fractal, attractor, bifurcation