ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УДК 355.02:519.216.3

В.В. Биченков, В.Ф. Заїка

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ
Державний університет телекомунікацій, Київ

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КРИТЕРІЇВ СЕЛЕКЦІЇ ФОРМУЛЬНИХ ВИРАЗІВ ДЛЯ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНАТОРНОГО МЕТОДУ З ОБМЕЖЕНОЮ БАЗОЮ АРГУМЕНТІВ

Висунуті вимоги до моделі складної системи; наведені критерії селекції формульних виразів, які забезпечать реалізацію висунутих вимог; запропонований алгоритм побудови моделей функціонування складної інерційної системи; запропонований новий критерій селекції - критерій унікальності аргументів у складі формульного виразу; запропонований алгоритм функціонування критеріїв селекції для побудови моделі складної системи.

Ключові слова: *індуктивні методи математичного моделювання, критерії селекції формульних виразів, алгоритм функціонування критеріїв селекції.*

Вступ

Постановка проблеми. «При вирішенні простих завдань немає нагальної потреби виключати людину. Але при моделюванні все більш складних об'єктів рано чи пізно настає такий ступінь складності, коли людина стає головним джерелом помилкових рішень» - О.Г. Івахненко [1]. Чим складніше система, тим важче вдається формалізувати процеси, які в ній відбуваються. Тому в задачах відповідного класу застосовуються індуктивні методи математичного моделювання. При цьому модель складної системи будується регресійним методом, використовуючи бази даних (знань), які містять знання про поведінку системи в минулому. В подальшому модель складної системи використовується для дослідження її можливої поведінки в майбутньому. Важливість та великий обсяг вирішуваних завдань відповідного класу роблять питання розвитку систем підтримки прийняття рішень (СППР) на базі індуктивних методів математичного моделювання все більш актуальним. Прикладом таких задач є прийняття вирішальних рішень на рівні держави, галузей людської діяльності, при керівництві підприємствами різного рівня і т. ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, чим складнішими, дорожчими та масштабнішими є дії, що плануються, тим менш припустимими є вольові рішення і тим важливішими є наукові методи, які дозволяють прогнозувати наслідки кожного рішення [2]. При вирішенні важливих відповідальних рішень дуже небажаним є так зване «ручне управління», в режимі «прийняття вольових рішень». Адже в умовах «ручного управління» втрачається фактор системності, що призводить до неефективного та непоступового розвитку суб'єкта управління. На рівні керівництва держави розуміють зазначені проблеми і ведуть активний пошук можливостей мінімізувати суб'єктивний вплив людини на процес прийняття відповідальних рішень. Тому найширше впровадження СППР набули саме в критичних галузях людської діяльності, наприклад в питаннях оборони різних країн [3-11].

Для підвищення ефективності вирішення завдання управління складною системою, для надання процесу послідовності, за можливістю необхідно максимально зменшити вагу людського фактору в ході прийняття важливих рішень. Тобто, важливим завданням є розроблення таких СППР, які були б здатні прогнозувати наслідки рішень, що приймаються керівництвом і надавали б рекомендації щодо ефективного курсу розвитку складних систем. Ядром СППР має бути модель складної системи, на якій можливо буде змоделювати реакцію системи на варіанти впливу на неї, як зовнішніх факторів, так і керівних дій з боку керівництва.

У цьому напрямі вже було визначено класифікацію методів математичного моделювання з

точки зору їх пристосованості для вирішення поставленого завдання [12] та алгоритми відшукування формульних виразів n-го ступеня залежності цільової функції від визначеної кількості аргументів [13, 14], був розроблений алгоритм обробки початкових даних [15], була визначена можливість зміни ваги значень аргументів з часом і запропоновано механізм врахування впливу часу на значення аргументів (винайдення вагових часових функцій) [16], були вивчені основні структури генерації формульних виразів та були обговорені недоліки відомих структур формування формульних виразів і запропоновано комбінаторний метод з обмеженою базою аргументів та алгоритм побудови моделі складної системи з використанням цього методу [17], а також було розроблено алгоритм скорочення перебору варіантів формульних виразів [18] (рис. 1).

У статті пропонується дослідити питання визначення системи критеріїв селекції формульних виразів для формування загального формульного виразу.

Метою статті є розроблення системи критеріїв селекції формульних виразів для формування загального формульного виразу.

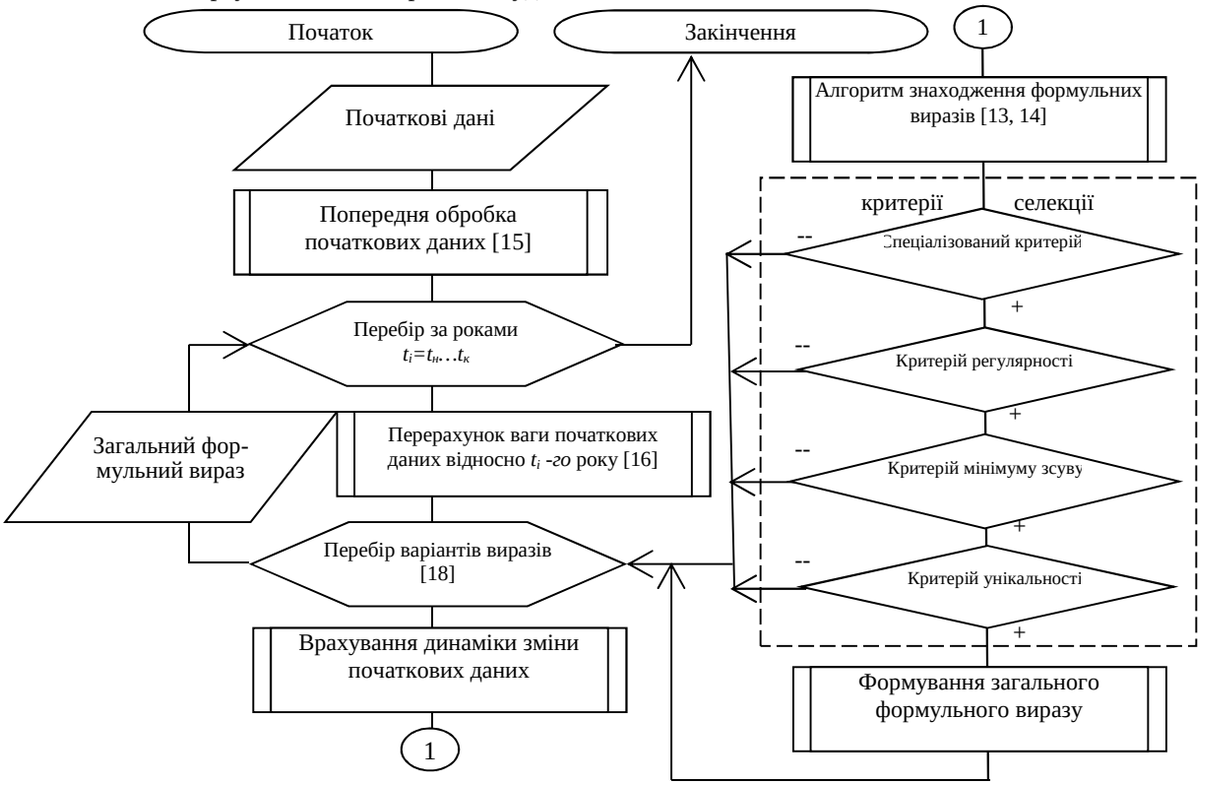

Рис. 1. Алгоритм побудови моделей функціонування складної інерційної системи

Викладення основного матеріалу

У теорії самоорганізації для індуктивних методів моделювання запропоновано цілий ряд критеріїв (регулярності, мінімуму зсуву, точності покрокового прогнозу тощо). Такі критерії використовуються при вирішенні різних завдань.

Для критеріїв регулярності та мінімуму зсуву, відомо, що в ході збільшення інтенсивності завад (при деякій граничній інтенсивності шуму) моделі, що обрані за критеріями регулярності $(n_{см} \to min)$ та мінімуму зсуву $(\Delta^2(B) \to min)$, вже не співпадають. Такі критерії в певному значенні стають суперечливими [19]. Жоден з них не може вважатися самодостатнім і тому для підвищення точності побудови моделі складної інерційної системи виникає необхідність застосовування комплексу критеріїв. У випадку спроби зробити згортку критеріїв виникає питання щодо співвідношення результатів розрахунків за різними критеріями. Але якщо критерії застосувати послідовно, труднощі нормування критеріїв виключаються [20]. Таким чином доцільно сконцентрувати увагу на системі критеріїв селекції, а не на загальному комбінованому критерії.

Для розроблення системи критеріїв селекції цільових функцій необхідно визначити набір цих функцій, які мають бути застосовані при вирішенні завдання формування формульних виразів. За якими параметрами необхідно оцінювати відповідність

моделі щодо складної інерційної системи? Стосовно моделі, що будується за правилами індуктивних математичних методів, можна висунути наступні вимоги до неї:

модель не повинна залежати від вибору частини таблиці початкових даних;

на нових точках вимірювання помилка повинна бути мінімальною;

модель повинна враховувати фізичні обмеження, що накладаються на складну систему;

у формульному виразі моделі повинні міститись складові всіх обов'язкових параметрів.

Вимога 1. Модель повинна бути регулярною, тобто на нових точках вимірювання помилка повинна бути мінімальною. Величина *критерію регулярності* обчислюється за даними окремої перевірочної послідовності. Перевірочна послідовність використовується для вибору складу, числа членів і ступеня рівняння регресії. Це дозволяє отримати найрегулярніше рішення (оптимальної складності), яке дає невелику помилку на нових точках, що не брали участь в синтезі моделі. Для отримання найрегулярнішого математичного опису (моделі) як критерій селекції використовується величина середньоквадратичної помилки, що вимірюється на точках перевірочної послідовності даних N_B:

$$\Delta^2(B) = \frac{\sum_{i=1}^{N_B}(q_i - q_{i\,табл})^2}{\sum_{i=1}^{N_B} q_i^2} * 100 \to \min ,$$

де $\Delta^2(B)$ - відносна помилка на безлічі точок N_B;

q_i - значення вихідної величини в i-ій точці ($i = 1, 2,..., N_B$) моделі;

$q_{i\,табл}$ - дійсне значення вихідної величини в тих же точках за таблицею досвідних даних.

Чим менше помилка, тим більш регулярною є модель. Розділення початкової вибірки на дві послідовності (навчальну та перевірочну) виконується за допомогою одного з наступних прийомів:

точки досвідних даних ранжуються (перебудовуються) за дисперсією квадрату відстані від середнього значення вихідної величини. В цьому випадку для визначення оцінок коефіцієнтів часткових описів використовуються точки з більшою дисперсією, а для визначення критерію регулярності - точки з меншим її значенням. Розділення ранжованого за дисперсією ряду точок $N = N_A + N_B$ досвідних даних на дві множини N_A і N_B можна виконати за допомогою побудови параболи Тодуа або за величиною помилки на третій послідовності N_C (при цьому $N=N_A+N_B+N_C$);

якщо початкові дані знімаються в строгій часовій послідовності, то ранжування проводиться за принципом: непарні точки - в навчальну, парні - в перевірочну послідовність.

Найефективнішим розділенням початкової вибірки даних визнається таке розділення, за яким мінімум критерію більше, ніж за інших розділень (мінімаксний і максимінний критерії регулярності). Глибина мінімуму критерію регулярності буде найбільшою, якщо опорна функція обрана оптимальним чином. Оптимальна модель знаходиться за допомогою перебору опорних функцій. Найкращою вважається така опорна функція, яка забезпечує отримання більш глибокого мінімуму критерію селекції [19]. Згідно теоремі Відроу, оптимальним є розділення таблиці на дві рівні частини. Отже, перебору (по глибині мінімуму або безпосередньо точності прогнозу) підлягають тільки варіанти складу двох рівних множин.

Вимога 2. Модель повинна бути незміщеною, тобто вона не повинна залежати від вибору частини таблиці. *Критерій мінімуму зсуву*:

$$n_{см}^{i} = \sqrt{\sum_{i}^{A+B}(x_{ij}^{A} - x_{ij}^{B})^2 / \sum_{i}^{A+B} x_{i\,табл}^2} \to \min$$

вимагає максимального співпадання значень вихідної величини двох моделей, які отримані на двох різних частинах таблиці початкових даних. Успіх вибору моделі оцінюється по глибині мінімуму критерію. Мінімальне значення критерію повинне бути одного порядку з відносною дисперсією перешкод (звичайно близько 5%).

Вимога 3. Модель повинна бути фізичною, тобто враховувати фізичні обмеження, що на неї накладаються. При наявності деяких особливих вимог щодо фізичної моделі використовується *критерій фізичної реалізованості прогнозу*. Із застосуванням зазначеного критерію з формульних виразів, з яких формується модель, виключаються вирази, які неможливо реалізувати на практиці (наприклад, негативне число для величини, яка не може бути негативною), чим конкретизується завдання і, тим самим, підвищується точність моделі складної системи, що реалізується [19].

Вимога 4. Модель повинна бути чутливою до «обов'язкових параметрів», тобто в формульному виразі моделі повинні міститись складові всіх таких параметрів. Особливістю зазначених алгоритмів структур генерації формульних виразів є те, що оптимальне рівняння відкидає велику кількість аргументів, які були надані в таблицях даних для розрахунків. Причому кількість використаних в оптимальному рівнянні аргументів тим менша, чим більшими є завади, що впливають на вихідний сигнал при проведенні спостережень. Досвід свідчить, що з

підвищенням рівня завад більш імовірними з точки зору критеріїв селекції стають моделі меншого ступеня складності [20]. Але виявлений факт є незадовільним з точки зору розроблення складної системи. Факт відкидання відомими методами важливих, з точки зору керівника, аргументів не надає можливості визначення впливу аргументів на цільову функцію і тим самим призводить до хибного уявлення про неважливість (а інколи, навіть про непотрібність) деяких функцій та властивостей складної системи.

Таким чином, відомі структури генерації формульних виразів [20] не вирішують проблеми побудови моделі складної системи з врахуванням всіх важливих для керівника аргументів (важелів впливу). Це трапляється внаслідок того, що в алгоритмі побудови моделі складної системи відомими індуктивними методами математичного моделювання використовуються екстремальні критерії оцінювання якості формульних виразів. Тобто, в результаті підсумкової селекції найкращим формульним виразом вважається такий, що показав найліпший результат за обраним критерієм селекції. Ідею формування модель з максимальною кількістю аргументів в своєму складі з врахуванням обмеження за граничними критеріями селекції було запропоновано в попередній публікації [18]. Для отримання великої кількості формульних виразів, які б задовольняли вимогам за критеріями селекції, було запропоновано новий індуктивний метод математичного моделювання - комбінаторний алгоритм з обмеженою базою аргументів, який відрізняється від відомого комбінаторного алгоритму з зануленням коефіцієнтів тим, що в новому методі база аргументів комбінаторного алгоритму обирається не максимальна (включення всіх аргументів), а попередньо визначена кількість аргументів у формульному виразі. Після формування формульних виразів за визначеними правилами і перевірки кожного розробленого формульного виразу на порогові критерії селекції, було запропоновано вирази, які задовольнили критеріям, об'єднати з урахуванням точності прогнозування поведінки складної системи запропонованим формульним виразом.

У результаті групування всіх формульних виразів в один загальний формульний вираз вирішується питання підвищення чутливості моделі складної інерційної системи (є можливість прогнозування поведінки системи при умові більшої кількості факторів, що впливають на систему, врахування більшої кількості важелів управління системою), але разом з підвищенням чутливості моделі очікується падіння точності відображення моделлю загального стану складної системи. Це відбувається через те, що в якості результуючого формульного виразу обирається не найкращий формульний вираз за обраним критерієм селекції, а набір формульних виразів з різноманітними оцінками своїх можливостей за визначеними критеріями селекції (формульні вирази, що задовольнили всім запропонованим граничним значенням відібраних критеріїв селекції).

Після формування формульних виразів за визначеними правилами і перевірки кожного розробленого формульного виразу на граничний критерій селекції, пропонується вирази, які задовольнили критеріям, об'єднати з урахуванням точності, яку кожен формульний вираз показав на перевірочній послідовності. Узагальнення проводиться через сумування нормалізованих оцінок формульних виразів. Нормалізація оцінок проводиться з урахуванням оцінок формульних виразів за критеріями селекції аргументів.

$$y_i(t)_\Sigma = \sum_k^K C_k y_i(t) \qquad (1),$$

де $y_i(t)$ - оцінка стану системи i-м формульним виразом;

$k=1..K$ – кількість рівнянь, що обрані за критеріями відбору;

C_k – вага рівняння серед обраних рівнянь

$$\Delta_\Sigma = \sum_{k=1}^K (1-\Delta_k)$$

$$C_k = \sum_{k=1}^K \frac{1-\Delta_k}{\Delta_\Sigma} \ ;$$

Δk – оцінка точності розрахунків, проведених рівнянням на перевірочній послідовності.

З метою підвищення точності відображення математичною моделлю складної інерційної системи на основі розробленого алгоритму побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів пропонується ввести додатковий критерій селекції - *критерій унікальності аргументів у складі формульного виразу*. Справа в тому, що, формуючи загальне рівняння за правилом, запропонованим виразом (1), з кожним менш точним формульним виразом, який залучається до формування загального формульного виразу, падає точність розрахунків загального формульного виразу. Тому немає необхідності включати в загальний формульний вираз рівняння, які є менш точними за попередні, але такі, що не мають унікальних аргументів в своєму складі.

Таким чином, алгоритм селекції формульних виразів відносно критеріїв селекції функціонує в два етапи (рис. 2).

Спочатку кожен варіант формульного виразу перевіряється на відповідність стосовно перших трьох критеріїв селекції. На основі критеріїв селекції

відібрані формульні вирази ранжуються за критерієм регулярності. На другому етапі виконується формування загального формульного виразу за формулою (1). Особливістю формування загального формульного виразу є те, що відібрані формульні вирази, які ранжовані за критерієм регулярності, послідовно приймають участь в формуванні моделі складної системи. Але якщо наступний за точністю відібраний формульний вираз не має унікальних аргументів, він не застосовується при формуванні загального формульного виразу.

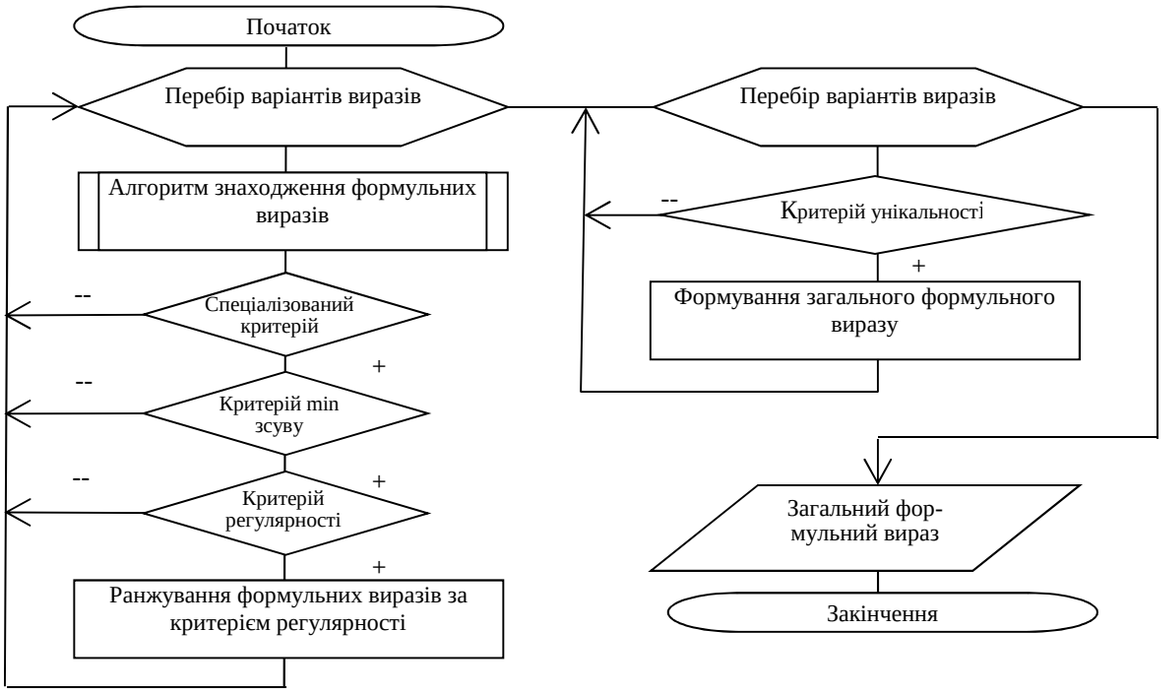

Рис. 2. Алгоритм функціонування критеріїв селекції для побудови моделі складної системи

Висновки

Особливістю існуючих індуктивних методів математичного моделювання є те, що, намагаючись винайти найбільш точну модель функціонування складної системи, відомі методи втрачають параметри, які є вагомими для подальших досліджень. Виходячи з цього, запропоновано варіант винайдення моделі достатньої точності (межа точності визначається дослідником) при умові збереження обов'язкових параметрів, з якої має складатися майбутня модель.

З цією метою в додаток до розробленого комбінаторного алгоритму з обмеженою базою аргументів [17], висунуті вимоги до моделі складної системи, підібрані критерії селекції, які забезпечують формування моделі з заявленими вимогами, а також запропоновано алгоритм функціонування критеріїв селекції та новий критерій селекції - критерій унікальності аргументів у складі формульного виразу.

У подальшому доцільно дослідити питання впливу фактору інерційності на складну систему. Зрозуміло, що кожен керівний вплив та вплив кожного зовнішнього фактору на складну інерційну систему є змінюваним з часом (непостійним). Водночас, послідовність впливів в часі також спроможна сумісно впливати на систему. Тому дослідження означеного питання вважаються пріоритетними.

Список літератури

1. *Ивахненко А.Г. Принятие решений на основе самоорганизации / Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Димитров Д.В. – М.: Сов. радио, 1976, - 280 с.*
2. *Воронин А. Н. Многокритериальные решения: модели и методы: монография / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиатдинов, М. В. Куклинский. – К.: НАУ, 2011. – 348 с.*
3. *Богданович В. Ю. Спосіб формалізації стратегічного планування у сфері державного управління забезпеченням національної безпеки держави / В. Ю.Богданович, А. І. Семенченко // Стратегічна панорама. – 2006 – №3 – С. 42-53*
4. *Брыскин В.В. Математические модели планирования военных систем. – Новосибирск: , изд-во Института математики, 1999. – 231 с.*
5. *Букур-Марку Г., Флурі Ф., Тагарєв Т. Оборонний менеджмент: Ознайомлення. – Женева-Київ: ProCon LTD, 2010. – 214 с.*
6. *Concept for Planning, Programming, and Budgeting in the Ministry of Defense and the Armed Forces (Sofia: Military Publ. House, 2001), 14-15.*
7. *Capability Based Planning for the Department of National Defence and the Canadian Forces, 4-5.*
8. *How The Army Runs: A Senior Leader Reference Handbook, 25 th edition 2005-2006 (Carlisle Barracks, PA: US. Army War College, 2005), 147.*

9. *The Strategic Defence Review-1998 (CM3999)*

10. *DoD Directive 7045. 14 The Planning, Programming, and Budgeting System (PPBS). May 22, 1984, Change 1, July 28, 1990. – http://www.docstoc.com/docs/5982691/DoD-Directive-7045.14/ Departament of Defense.*

11. *Future Years Defense Program (FYDP) Structure Handbook, DoD 7045.7-H.*

12. *Биченков В. В. Вибір математичного апарату для розроблення методики вирішення завдання оцінки ризиків досягнення визначених можливостей у залежності від рівня фінансування в системі оборонного планування / В. В. Биченков, Р. Г. Єфімова, А. С. Паламарчук // Труди університету № 114. – К., 2012. – С. 49 – 55.*

13. *Биченков В.В. Розроблення алгоритму синтезу поліному n-го ступеня залежності цільової функції від одного аргументу / Биченков В.В., Поплінський О.В. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони № 13. – К., 2012. – С. 14 – 20.*

14. *Биченков В.В. Розроблення алгоритму синтезу поліному n-го ступеня залежності цільової функції від визначеної кількості аргументів / Биченков В.В. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони № 14. – К., 2012. – С. 19 – 23.*

15. *Биченков В.В. Технологія розроблення знанняорієнтованих систем підтримки рішень в умовах ризиків та невизначеностей (етап «оброблення початкових даних») / Биченков В.В., Заїка Л.А., Судніков Є.О. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони № 18. – К., 2013. – С. 8 – 12.*

16. *Биченков В.В. Винайдення часових вагових функцій для побудови моделі складної інерційної системи / Биченков В.В. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони № 20. – К., 2014. – С. 12 – 17.*

17. *Сбітнєв А.І. Алгоритм побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного алгоритму з обмеженою базою аргументів / Сбітнєв А.І., Биченков В.В. // Труди університету № 124. – К., 2014. – С. 198 – 204.*

18. *Биченков В.В. Алгоритм оптимального перебору формульних виразів комбінаторних алгоритмів з визначеною базою аргументів / Биченков В.В. // Труди університету № 126. – К., 2014. – С. 100 – 107.*

19. *Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования / Ивахненко А.Г., Степашко В.С. — К.: "Наукова думка", 1985. — 215 с.*

20. *Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / Ивахненко А.Г. — К.: "Наукова думука", 1982, — 296с.*

Надійшла до редколегії 14.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ СЕЛЕКЦИИ ФОРМУЛЬНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАТОРНОГО МЕТОДА С ОГРАНИЧЕННОЙ БАЗОЙ АРГУМЕНТОВ

В.В. Быченков, В.Ф. Заика

Выдвинуты требования к модели сложной системы; приведены критерии селекции формульных выражений, которые обеспечивают реализацию выдвинутых требований; предложен алгоритм построения моделей функционирования сложной инерционной системы; предложен новый критерий селекции – критерий уникальности аргументов в составе формульного выражения; предложен алгоритм функционирования критериев селекции для построения модели сложной системы.

Ключевые слова: *индуктивные методы математического моделирования, критерии селекции формульных выражений, алгоритм функционирования критериев селекции.*

DEVELOPING CRITERIA SELECTION FORMULA EXPRESSION SYSTEM FOR CONSTRUCTING COMPLEX SYSTEM MODEL ALGORITHM USING COMBINATORIAL METHODS WITH LIMITED BASE ARGUMENTS

V.V. Bichenkov, V.F. Zaika

Forward requirements for complex system model are extended ; criterions of formula expression selection that provide the implementation of requirements are given; algorithm of constructing models functions of complex inertial system is offered; a new selection criterion - the criterion of uniqueness arguments in the composition formula expression is offered; algorithm of selection criteria function for the complex system model is offered.

Keywords: *inductive methods of mathematical modelling, criterions of formula expression selection, algorithm selection criteria, algorithm of selection criteria function.*