

*Василь Васильович Биченков (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Анатолій Іванович Сбітнєв (д-р техн. наук, професор)*

*Ігор Віталійович Ушаков*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ, РОЗРОБЛЕНОЇ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНАТОРНОГО МЕТОДУ З ОБМЕЖЕНОЮ БАЗОЮ АРГУМЕНТІВ ПРИ ПОБУДОВІ РІВНЯНЬ ПЕРШОГО СТУПЕНЯ

*В статті проведено оцінювання ефективності функціонування регресійної моделі, розробленої на основі алгоритму побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів при побудові рівнянь першого ступеня. Для цього наведено алгоритм побудови моделі функціонування складної системи; проведено оцінювання ефективності побудови формульних виразів запропонованим методом в порівнянні з відомим методом регресійного аналізу. Отримані результати дозволяють стверджувати про можливість побудови формульних виразів з використанням необхідного набору аргументів, чим підвищується чутливість побудованого формульного виразу в порівнянні з формульним виразом побудованим з використанням відомих регресійних методів математичного моделювання.*

***Ключові слова:** регресійна модель; складна система; комбінаторний метод з обмеженою базою аргументів.*

### 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 протікають в складних системах. В задачах відповідного класу застосовуються індуктивні методи математичного моделювання. Важливість та великий обсяг вирішуваних завдань відповідного класу робить питання розвитку систем підтримки прийняття рішення на базі індуктивних методів математичного моделювання актуальним. Прикладом таких задач є прийняття важливих відповідальних 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 керівництво”, де робота проводиться в режимі “прийняття вольових рішень”. Адже в умовах “ручного управління”

губиться фактор системності, що призводить до неефективного та непоступового розвитку підприємства, галузі. На рівні керівництв держав розуміють зазначені проблеми і тому ведуть активний пошук можливостей мінімізувати вплив людини щодо прийняття відповідальних рішень. Найбільш широке впровадження системи підтримки прийняття рішення керівниками набули в критичних галузях людської діяльності, наприклад в питанні оборони країни [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 систем підтримки прийняття рішень (СППР), які були б здатні прогнозувати наслідки рішень, що приймаються керівництвом, надавали б рекомендації щодо ефективного курсу розвитку складних систем. Ядром СППР має бути модель складної системи, на якій можливо буде змодельовати реакцію системи на варіанти впливу на неї, як зовнішніх факторів, так і керівних дій з боку керівництва.

З метою вирішення поставленого завдання автором була побудована модель прогнозування поведінки складної інерційної системи, алгоритм функціонування моделі представлений на рисунку 1. Складовими алгоритму моделі є:

алгоритм оброблення початкових даних [12, 13], в якому проводиться перерахунок значень показників з урахуванням фактору інерційності, проводиться процес переведення значень показників у безрозмірні величини;

алгоритм скорочення перебору варіантів формульних виразів [14], який приводить до значного зменшення розрахунку кількості формульних виразів без втрати точності розрахунків;

алгоритми відшукування формульних виразів n-го ступеня залежності цільової функції від

визначеної кількості аргументів [15, 16], що дозволяє будувати систему формульних виразів, що описує поведінку складної інерційної системи;

система критеріїв селекції формульних виразів, яка є вирішуючим правилом під час побудови системи формульних виразів складної інерційної системи [17].

**Метою статті** є оцінювання ефективності функціонування розробленої моделі прогнозування поведінки складної інерційної системи при побудові рівнянь першого ступеня.

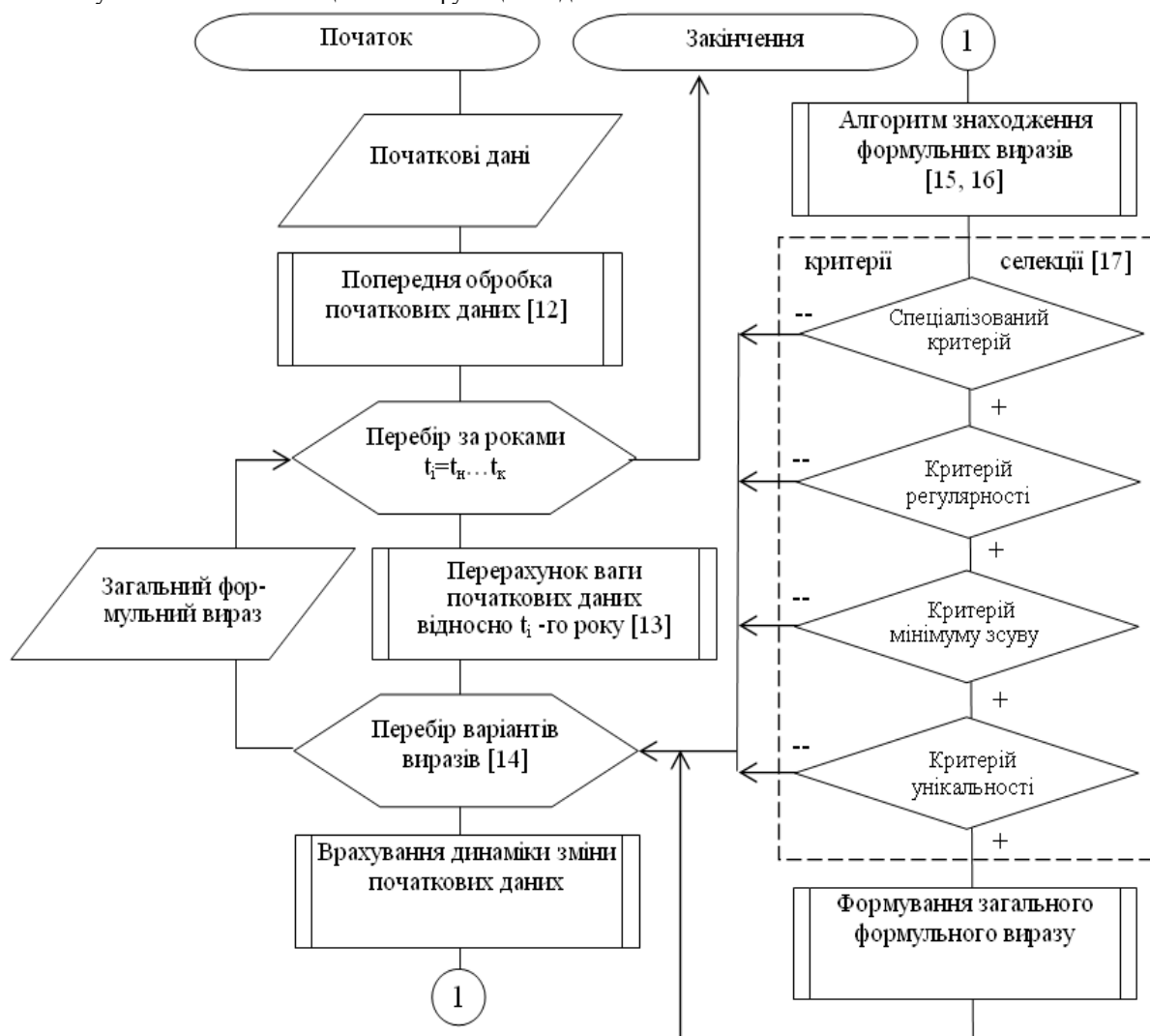


Рис. 1. Алгоритм побудови моделей функціонування складної інерційної системи

### Виклад основного матеріалу дослідження

Одним з основних питань стосовно розробленого математичного апарату є – чи насправді він здатний відновлювати закони функціонування системи. Пропонується перевірити спроможності математичного апарату на прикладі формульного виразу, який представлений у рівнянні.

$$y = x_1^3 + x_2^2 + x_3 + 2x_4 + 2x_5^2 \quad (1)$$

Нехай необхідно встановити зазначений формульний вираз за даними з таблиці початкових даних (табл. 1).

В статті [18] було визначено, що за принципом отримання результату математичні методи можливо розділити на два класи: клас дедуктивних методів і клас індуктивних методів. Також в статті було визначено, що саме клас індуктивних методів є таким, що здатен вирішити поставлене завдання.

Особливістю індуктивних математичних методів є те, що модель складної системи будується регресійним методом на основі таблиць даних, які містять знання про поведінку системи в

минулому. В подальшому модель складної системи використовується для дослідження можливої поведінки складної системи в майбутньому.

Таблиця 1

Таблиця початкових даних

№ з/п	y	x1	x2	x3	x4	x5
1	66	1	2	3	4	5
2	33	2	3	4	5	1
3	58	3	4	5	1	2
4	112	4	5	1	2	3

№ з/п	y	x1	x2	x3	x4	x5
5	166	5	1	2	3	4
6	26	1	1	2	2	3
7	33	2	2	1	1	3
8	27	1	2	2	1	3

Важливою особливістю індуктивних методів математичного моделювання є необхідність розділення набору даних на навчальну та перевіірочну послідовності. Адаже відомо з теорії множинності моделей, що за експериментальними даними принципово неможливо відшукати єдину модель. Тобто, для кожної системи за набором відомих даних можливо скласти не єдину, а нескінченну множину моделей. Тому одним з важливих принципів теорії індуктивних методів математичного моделювання є принцип зовнішнього доповнення [19].

Зовнішнє доповнення – це вимога, що пред'являється одною частиною неоднорідної системи іншій її частині. Відбір моделей проводиться за так званими “зовнішніми критеріями”. Критерій називається зовнішнім, якщо його визначення базується на новій інформації, нових даних, не використовуваних при синтезі моделі.

За критерій відбору формульного виразу, який має відновити закон розподілу даних обраний критерій регулярності (2).

$$\Delta^2(B) = \frac{\sum_{i=1}^{N_B} (y_i - y_{i\text{табл}})^2}{\sum_{i=1}^{N_B} y_i^2} * 100 \rightarrow \min, \quad (2)$$

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

$y_i$  – значення вихідної величини в  $i$ -й точці ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ) моделі;

$y_{i\text{табл}}$  – дійсне значення вихідної величини в тих же точках по таблиці досвідних даних.

Модель повинна бути регулярною, тобто на нових точках вимірювання помилка повинна бути мінімальною. Величина критерію регулярності обчислюється за даними окремої перевіірочної послідовності. Перевіірочна 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 перевіірочної послідовності даних  $N_B$ . Чим менше помилка, тим більш регулярною є модель.

Розділення початкової вибірки на дві послідовності – навчальну та перевіірочну – виконується за допомогою різноманітних прийомів. Найефективнішим розділенням початкової вибірки даних визнається таке розділення, за яким мінімум критерію більше, ніж при інших розділеннях (мінімакський і максимінний критерії регулярності). Глибина мінімуму критерію регулярності буде найбільшою, якщо опорна функція обрана оптимальним чином. Оптимальна модель знаходиться за допомогою перебору опорних функцій. Та опорна функція є кращою, яка забезпечує отримання більш глибокого мінімуму критерію селекції [20]. 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.

**Нехай** відомими даними є дані з таблиці 1. Виходячи з теоретичних положень щодо принципу зовнішнього доповнення [19] та принципу розподілу початкових даних на навчальну та перевіірочну послідовності [20] дані таблиці розподіляємо наступним чином: перша група – дані за номерами 1, 3, 5, 7; друга група – дані за номерами 2, 4, 6, 8.

**Необхідно** відновити рівняння у визначеному діапазоні даних.

Обирається тактика поступового ускладнення моделі. Тому розрахунки розпочинаються з формування рівнянь першого ступеня. Характер залежності обирається поліноміальний. В результаті розрахунків одними з найкращих рівнянь, які винайдені моделлю прогнозування поведінки складної інерційної системи 3 і 4.

$$y_1 = 2.89 + 28.31 * x_1 \quad (3)$$

$$y_{13} = 12 + 28.22 * x_1 - 3.22 * x_3 \quad (4)$$

Результати розрахунків, які отримані з використанням означених рівнянь на перевіірочній та навчальній послідовностях висвітлені в таблиці 2.

Відносна помилка на безлічі точок  $\Delta^2(B)$  розрахована за допомогою формули 2 з

використанням перевіркою послідовності аргументів (виділені сірим фоном в таблиці 1). Але для вирішення поставленого завдання пріоритетним є відновлення закону з усіма аргументами, які містяться в рівнянні 1. Формульний вираз з повним набором аргументів, що побудований з використанням відомих

регресійних методів математичного моделювання за критерієм регулярності показав оцінку  $\Delta_{12345}^2(B) = 216$ , що говорить про невідповідність побудованого рівняння стосовно істинного формульного виразу.

Таблиця 2

Таблиця розрахунків

№ з/п	Рівн. (1)	Рівн. (3)	Рівн. (4)	Рівн. (5)	Рівн. (6)
1	66	31.2	30.56	62.63	58.73
2	33	59.514	55.56	51.41	55.82
3	58	87.828	80.56	63.35	69.42
4	112	116.14	121.7	102.5	87.12

№ з/п	Рівн. (1)	Рівн. (3)	Рівн. (4)	Рівн. (5)	Рівн. (6)
5	166	144.4	146.6	145.6	126.18
6	26	31.2	33.78	33.14	56.71
7	33	59.51	65.22	51.35	68.65
8	27	31.2	33.78	26.91	51.62
$\Delta^2(B) (2)$		0.04	0.035	0.032	0.16

Далі використовується алгоритм формування загального формульного виразу, де формування загального формульного виразу проводиться через підсумовування нормалізованих оцінок винайдених формульних виразів. Нормалізація оцінок проводиться з урахуванням оцінок формульних виразів за критеріями селекції аргументів.

$$y_i(t)_\Sigma = \sum_k C_k y_i(t)$$

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:

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

$\Delta_k$  – оцінка точності розрахунків, проведених рівнянням на перевіркою послідовності [21].

Таким чином, загальний формульний вираз, який сформований з використанням побудованих оптимальних формульних виразів, що задовольняють вимозі точності (формульні вирази, які мають бути застосовані при формуванні загального формульного виразу визначені такими, для яких справедливе обмеження:  $tochn \leq 1$ ) приведений у формулі 5.

Зазначений формульний вираз за критерієм регулярності на перевіркою послідовності

$$y_\Sigma = -30.46 + 24.31 * x_1 - 0.92 * x_2 - 0.13 * x_3 + 5.32 * x_4 + 9.95 * x_5 \quad (5)$$

$$y_{\Sigma y} = 35.35 + 16.43 * x_1 - 4.87 * x_2 - 0.6 * x_3 + 0.22 * x_4 + 3.52 * x_5 \quad (6)$$

$$y_{15} = -35 + 28.5 * x_1 + 11 * x_5 \quad (7)$$

$$y_{125} = -35.83 + 27.33 * x_1 + x_2 + 11.17 * x_5 \quad (8)$$

Загальний формульний вираз, який сформований з використанням побудованих оптимальних формульних виразів, що задовольняють вимозі точності приведений у формулі 9.

показав оцінку  $\Delta_\Sigma^2(B) = 0.032$ .

З іншого боку є можливість перевірити функціональність скороченого алгоритму формування загального формульного рівняння, який використовує для формування загального рівняння тільки найбільш точні унікальні рівняння 6, що дозволяє скоротити час формування загального рівняння і скорочує необхідний об'єм пам'яті для запам'ятовування повного набору оптимальних рівнянь [22].

Результати розрахунків вказані в таблиці 2 та відображені на рис. 2, значення критерію регулярності на перевіркою послідовності  $\Delta_{\Sigma y}^2(B) = 0.16$ .

Наступним кроком пропонується поміняти призначення груп даних: перша група призначається перевіркою послідовністю; а друга група – навчальною послідовністю.

В результаті побудови кривих з використанням розробленого алгоритму [16] за критерієм регулярності отримані формульні вирази 7 і 8.

Прогноз поведінки системи й оцінка точності прогнозування поведінки системи, який описаний формульним виразом 1 – наведений в таблиці 3. Формульний вираз з повним набором аргументів, що побудований з використанням регресійних методів математичного моделювання за критерієм регулярності показав оцінку  $\Delta_{12345}^2(B) = 12.22$ .

Зазначений формульний вираз за критерієм регулярності на перевіркою послідовності показав оцінку  $\Delta_\Sigma^2(B) = 0.176$ .

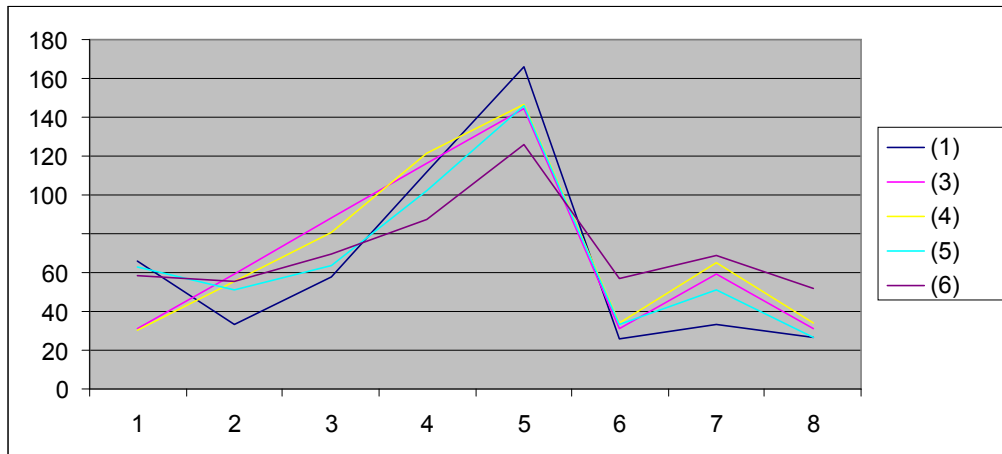


Рис. 2. Відображення реальної та сформованих кривих регресійними математичними методами

Таблиця 3

Таблиця розрахунків

№ з/п	Рівн. (1)	Рівн. (7)	Рівн. (8)	Рівн. (9)	Рівн. (10)	№ з/п	Рівн. (1)	Рівн. (7)	Рівн. (8)	Рівн. (9)	Рівн. (10)
1	66	48.5	49.335	36.412	42.352	5	166	151.5	146.48	116.6	75.955
2	33	33	32.997	35.328	39.024	6	26	26.5	26.001	28.06	39.335
3	58	72.5	72.494	60.894	51.696	7	33	55	54.331	55.272	54.007
4	112	112	111.99	103.9	77.368	8	27	26.5	27.001	30.632	42.152
						$\Delta^2(B) (2)$		0.036	0.041	0.176	0.676

Загальний формульний вираз, який сформований з використанням критерію унікальності приведений у формулі 10, значення критерія регулярності на перевірочній

послідовності  $\Delta_{\Sigma y}^2(B) = 0.676$ .

Результати розрахунків вказані в таблиці 3 та відображені на рисунку 3.

$$y_{\Sigma} = -2.59 + 20.92 * x_1 + 2.34 * x_2 - 3.72 * x_3 - 0.23 * x_4 + 5.1 * x_5 \quad (9)$$

$$y_{\Sigma y} = 28.26 + 8.66 * x_1 + 2.22 * x_2 - 3.2 * x_3 - 0.6 * x_4 + 2.6 * x_5 \quad (10)$$

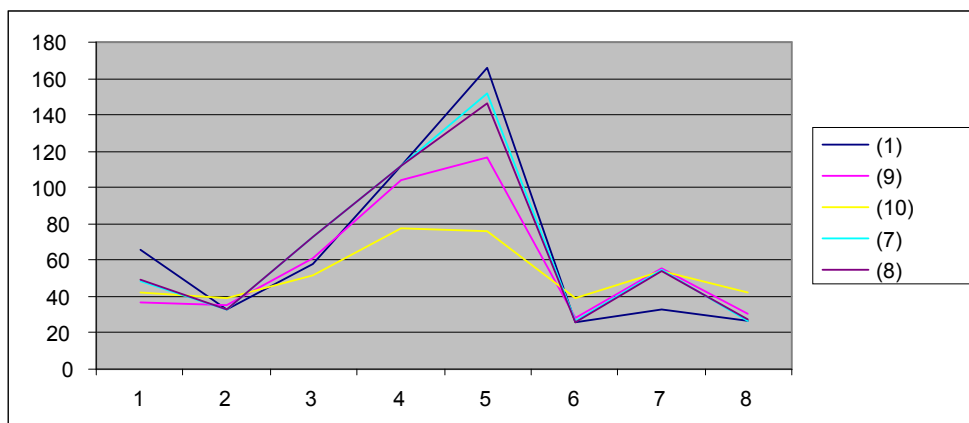


Рис. 3. Відображення реальної та сформованих кривих регресійними математичними методами

Подальшим кроком є спроба покращити формування загальних формульних виразів, з використанням повного алгоритму побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів [21] та прискореного алгоритму побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з

обмеженою базою аргументів (з використанням формульних виразів з унікальними групами аргументів) [22] за рахунок підвищення вимоги відбору рівнянь для формування формульних виразів, які сформовані з точністю  $\text{tochn} \leq 0.1$  за критерієм регулярності.

В результаті отримані рівняння 11, 12, 13.

$$y_{\Sigma y} = 7.6 + 28.27 * x_1 - 1.67 * x_3 \quad (11)$$

$$y_{\Sigma y} = -27 + 28.65 * x_1 - 0.3 * x_2 - 0.78 * x_3 - 0.38 * x_4 + 9.08 * x_5 \quad (12)$$

$$y_{\Sigma} = -29.7 + 28.25 * x_1 + 0.1 * x_2 - 0.54 * x_3 - 0.26 * x_4 + 9.72 * x_5 \quad (13)$$

де формульний вираз 11 – використаний прискорений алгоритм побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів при умові перша група аргументів – навчальна послідовність; друга група аргументів – перевірна послідовність, порогова точність за критерієм регулярності  $tochn \leq 0.1$ ;

формульний вираз 12 – використаний прискорений алгоритм побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів при умові перша група аргументів – перевірна послідовність; друга група аргументів – навчальна послідовність, порогова точність за критерієм регулярності  $tochn \leq 0.1$ ;

формульний вираз 13 – використаний повний алгоритм побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів при умові перша група аргументів – перевірна послідовність;

друга група аргументів – навчальна послідовність, порогова точність за критерієм регулярності  $tochn \leq 0.1$ .

Прогноз поведінки системи й оцінка точності прогнозування поведінки системи, який описаний формульним виразом 1 наведений в таблиці 4, відображений на рисунку 4.

З формульного виразу (11) видно, що за визначених умов немає можливості сформулювати загальне рівняння з умовою присутності всіх аргументів. При необхідності отримання за вказаних умов формульного виразу з усіма аргументами необхідно зменшити вимоги щодо точності розрахунку за критерієм регулярності. В даному випадку такої необхідності немає, тому що при умові вибору груп аргументів за «дзеркальним правилом» (коли міняються призначення груп аргументів) отримані доволі точні рівняння 12 та 13, які за критерієм регулярності подібні до оптимальних часткових рівнянь 3, 4, 7, 8.

Таблиця 4

Таблиця розрахунків

№ з/п	Рівн. (1)	Рівн. (13)	Рівн. (12)	Рівн. (11)	№ з/п	Рівн. (1)	Рівн. (13)	Рівн. (12)	Рівн. (11)
1	66	44.66	42.613	30.86	5	166	148.648	149.586	145.61
2	33	33.337	33.49	57.46	6	26	26.194	26.284	32.53
3	58	71.914	71.657	84.06	7	33	55.343	55.787	62.47
4	112	111.871	111.809	119.01	8	27	26.554	26.362	32.53
					$\Delta^2(B) (2)$		0.045	0.047	0.037

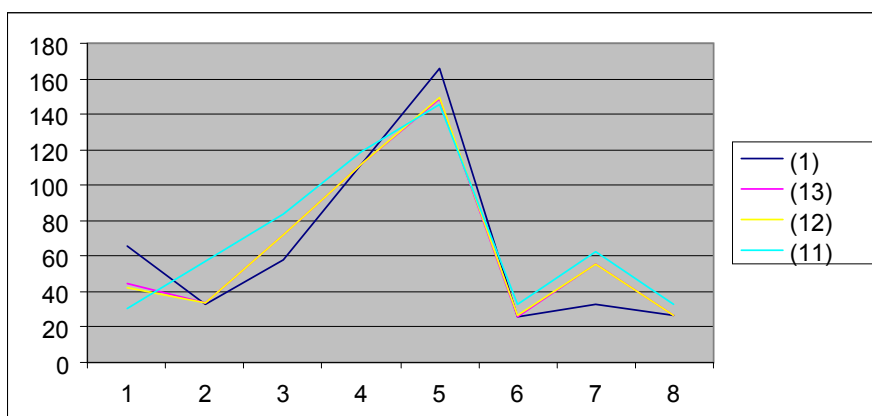


Рис. 4. Відображення реальної та сформованих кривих регресійними математичними методами

Таким чином, з використанням регресійних методів є можливість з певною точністю прогнозувати поведінку системи. При умові необхідності формування загальних рівнянь з повним набором аргументів, розроблені методи формування загальних рівнянь дозволяють значно підвищити точність розрахунків в порівнянні з класичними формульними виразами, які є

можливість отримати з використанням регресійних методів математичного моделювання.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

1. З використанням регресійних методів є можливість з певною точністю прогнозувати поведінку системи.

2. Розроблені методи формування загальних рівнянь, які запропоновані в [21, 22] дозволяють будувати формульні вирази з використанням всіх заявлених аргументів, чим підвищується чутливість побудованого формульного виразу в порівнянні з формульним виразом побудованим з використанням відомих регресійних методів

математичного моделювання.

3. В наступній статті пропонується провести аналіз розробленої моделі прогнозування поведінки складної інерційної системи на предмет ускладнення моделі за ступенем рівняння, вивчення реакції моделі на вибір характеру залежності закону розподілу.

### Література

1. **Ивахненко А. Г.** Принятие решений на основе самоорганизации / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Зайченко, Д. В. Димитров – М. : Сов. радио, 1976. – 280 с. 2. **Воронин А. Н.** Многокритериальные решения: модели и методы: монография / Воронин А. Н., Зиятдинов Ю. К., Кузнецкий М. В. – 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 / Брыскин В. В. – Новосибирск : изд-во Института математики, 1999. – 231 с. 5. **Букур-Марку Г.** Оборонний менеджмент: Ознайомлення / Букур-Марку Г., Флурі Ф., Тагарев Т. – 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 p.** 7. **Capability Based Planning for the Department of National Defence and the Canadian Forces.** – 4–5 pp. 8. **How The Army Runs: A Senior Leader Reference Handbook – 25 th edition 2005–2006 (Carlisle Barracks, PA: US. Army War College).** – 147 p. 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. available at: [http://www.docstoc.com/docs/5982691/DoD-Directive-7045.14/ Department of Defense](http://www.docstoc.com/docs/5982691/DoD-Directive-7045.14/DepartmentofDefense). 11. **Future Years Defense Program (FYDP) Structure Handbook, DoD 7045.7-H.** 12. **Биченков В. В.** Технологія розроблення знання орієнтованих систем підтримки рішень в умовах ризиків та невизначеностей (етап “оброблення початкових даних”) / В. В. Биченков, Л. А. Заїка, Є. О. Судніков // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2013. – № 18. – С. 8–12. 13. **Биченков В. В.** Винайдення часових вагових функцій для побудови моделі складної інерційної системи / В. В. Биченков // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2014. – № 20. – С. 12–17. 14. **Биченков В. В.** Алгоритм оптимального перебору

формульних виразів комбінаторних алгоритмів з визначеною базою аргументів / В. В. Биченков // Труды університету – 2014. – № 126. – С. 100–107. 15. **Биченков В. В.** Розроблення алгоритму синтезу поліному n-го ступеня залежності цільової функції від одного аргументу / В. В. Биченков, О. В. Поплінський // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2012. – № 13. – С. 14–20. 16. **Биченков В. В.** Розроблення алгоритму синтезу поліному n-го ступеня залежності цільової функції від визначеної кількості аргументів / В. В. Биченков // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2012. – № 14. – С. 19–23. 17. **Биченков В. В.** Розроблення системи критеріїв селекції формульних виразів для алгоритму побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів / В. В. Биченков, В. Ф. Заїка // Системи управління, навігації та зв'язку – 2014. – № 3(31). – С. 44–49. 18. **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 // Труды університету – 2012. – № 114. – С. 49–55. 19. **Ивахненко А. Г.** Помехоустойчивость моделирования / А. Г. Ивахненко, В. С. Степашко – К. : “Наукова думка”, 1985. – 215 с. 20. **Ивахненко А. Г.** Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / Ивахненко А. Г. – К. : “Наукова думка”, 1982, – 296с. 21. **Биченков В. В.** Разработка комбинаторного метода с ограниченной базой аргументов для построения моделей сложных систем / В. В. Биченков // Современный научный вестник – 2014. – № 45 (241). – Белгород: ООО “Руснаучкнига”, – С. 29–37. 22. **Биченков В. В.** Разработка алгоритма перебора вариантов полиномов по показателю уникальности вариантов набора аргументов формульных выражений / В. В. Биченков // Уральский научный вестник – 2014. – № 42 (121). – Уралск: ТОО “Уралнаучкнига”, – С. 120–130.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАТОРНОГО МЕТОДА С ОГРАНИЧЕННОЙ БАЗОЙ АРГУМЕНТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

*Василий Васильевич Быченков (канд. техн. наук, с.н.с.)  
Анатолий Иванович Сбитнев (д-р техн. наук, профессор)  
Игорь Витальевич Ушаков*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*В статье проведена оценка эффективности функционирования регрессионной модели, полученной с применением алгоритма построения модели сложной системы с использованием комбинаторного метода с ограниченной базой аргументов при построении уравнений первой степени. Для этого*

представлен разработанный алгоритм построения модели функционирования сложной системы; проведена оценка эффективности построения формульных выражений предложенным методом в сравнении с известным методом регрессионного анализа. Полученные результаты позволяют утверждать о возможности построения формульных выражений с использованием необходимого набора аргументов, за счет чего повышается чувствительность полученного формульного выражения в сравнении с формульным выражением, которое получено с применением известных регрессионных методов математического моделирования.

**Ключевые слова:** регрессионная модель; сложная система; комбинаторный метод с ограниченной базой аргументов.

## REGRESSIVE MODEL FUNCTIONING EFFICIENCY EVALUATION OBTAINED USING COMPLEX SYSTEM MODEL CONSTRUCTION ALGORITHM USING LIMITED BASE OF ARGUMENTS COMBINED METHOD IN THE CONSTRUCTION OF SIMPLE EQUATIONS

Vasyl V. Bychenkov (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

Anatolii I. Sbitniev (Doctor of Technical Sciences, Professor)

Ihor V. Ushakov

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The estimation of efficiency of the regressive model functioning which is founded of algorithm of model construction of the difficult system with the use of combined method with the limited base of arguments at simple equations construction in the article has been written. For this the algorithm of construction of functioning model of the difficult system is presented; the estimation of efficiency of constructed equalization by the offered method by comparison to the known regressive analysis method is conducted. The got results are assert about possibility of construction of equalizations with the use of necessary set of arguments, what the sensitiveness promote of the got equalization by comparison to equalization which is got with the use of the known regressive analysis method.

**Keywords:** regressive model; difficult system; combined method with the limited base of arguments.

### References

- 1. Ivakhnenko A.G.,** Zaitchenko Y.P., Dimitrov D.V. (1976), Acceptance of decisions on the basis of selforganization. [Prinjatie reshenij na osnove samoorganizacii], Sov. radio, Moscow, 280 p. **2. Voronin A.N.,** Ziatdinov Y.K., Kuklinskiy M.V. (2011), Multicriterion decisions: models and methods: monograph. [Mnogokriterial'nye reshenija: modeli i metody: monografija], NAU, Kiev, 348 p. **3. Bohdanovich V.Y.,** Semenchenko A.I. (2006), Method of formalization of the strategic planning in the field of state administration by providing of the state national safety. [Sposib formalizatsii stratehichnogo planuvannia u sferi derzhavnogo upravlinnia zabezpechenniam natsionalnoi bezpeky derzhavy], Strategichna panorama, Kyiv, pp. 42–53. **4. Bryskin V.V.** (1999), Mathematical models of planning of the soldiery systems [Matematicheskie modeli planirovanija voennyh sistem], izdatel'stvo Instituta matematiki, Novosibirsk, 231 p. **5. Bukur-Marku G.,** Fluri F., Tagarev T. (2010), Defensive management: Acquaintance. [Oboronnyi menedzhment: Oznaiomlennia], ProCon LTD, Geneva-Kyiv, 214 p. **6. Concept** for Planning, Programming, and Budgeting in the Ministry of Defense and the Armed Forces (2001), Sofia: Military Publ. House, pp. 14–15. **7. Capability** Based Planning for the Department of National Defence and the Canadian Forces, pp. 4–5. **8. How** The Army Runs: A Senior Leader Reference Handbook, 25 th edition 2005-2006, Carlisle Barracks, PA: US. Army War College 147 p. **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. available at: <http://www.docstoc.com/docs/5982691/DoD-Directive-7045.14/> Department of Defense. **11. Future** Years Defense Program (FYDP) Structure Handbook, DoD 7045.7-H. **12. Bychenkov V.V.,** Zaika L.A., Sudnikov I.O. (2013), Technology of the knowledge decisions acceptance support system development in the risks and vaguenessesconditions (stage of the initial “data processing”). [Tekhnologhija rozroblennja znannjaorijentovanykh system pidtrymky rishenj v umovakh ryzykiv ta nevyznachenostej (etap “obroblennja pochatkovykh danykh”)], Suchasni informaciini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony, No. 18, pp. 5–10. **13. Bychenkov V.V.** (2014), The temporal gravimetric functions research for construction of difficult inertia system model. [Vynaidennia chasovykh vahovykh funksii dlia pobudovy modeli skladnoi inertsinoi systemy], Suchasni informaciini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony, No. 20, pp. 12–17. **14. Bychenkov V.V.** (2014), Algorithm of optimum surplus of equations of combined method with the definite base of arguments. [Alhorytm optymalnogo pereboru formulnykh vyraziv kombinatornykh alhorytmiv z vyznachenoiu bazoiu arhumentiv], Trudy universytetu, No. 126, pp. 100–107. **15. Bychenkov V.V.,** Poplinskyj O.V. (2012), The polynomial n-degree synthesis algorithm of dependence objective function of one argument is built [Rozroblennia alhorytmu syntezy polinomu n-ho stupenia zalezhnosti ciliovoi funkicii vid odnogo arghumentu], Suchasni informaciini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony, No. 13, pp. 5–9. **16. Bychenkov V.V.** (2012), The polynomial n-degree synthesis algorithm of dependence objective function certain arguments number is built. [Rozroblennia alhorytmu syntezy polinomu n-ho stupenia zalezhnosti ciliovoi funkicii vid vyznachenoi kilkosti arhumentiv], Suchasni informaciini tekhnolohii u sferi



- bezpeky ta oborony, No. 14, pp. 9–13. **17. Bychenkov V.V., Zaika V.F.** (2014), Development of the selection criteria system of equations for the algorithm of model construction of the difficult system with the use of combined method with the limited base of arguments. [*Rozroblennia systemy kryteriiv seleksii formulnykh vyraziv dlia alhorytmu pobudovy modeli skladnoi systemy z vykorystanniam kombinatornoho metodu z obmezhenoju bazoiu arhumentiv*], Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku, No. 31, pp. 44–49. **18. Bychenkov V.V., Jefimova R.Gh., Palamarchuk A.S.** (2012), Choice of mathematical method for development of definite risks estimation task method of decision possibilities in dependence on the level of financing in the defensive planning system. [*Vybir matematychnoho aparatu dlia rozroblennia metodyky vyrishennia zavrannia ocinky ryzykiv dosiahnennia vyznachenykh mozhlyvostei u zalezhnosti vid rivnia finansuvannia v systemi oboronnoho planuvannia*], Trudy universytetu, No. 114, pp. 49–55. **19. Ivakhnenko A.G., Stepashko V.S.** (1985), Antijamming of modeling. [*Pomehustojchivost' modelirovanija*], Naukova dumka, Kyiv, 215 p. **20. Ivakhnenko A.G.** (1982), Inductive method of selforganization of models of the difficult systems. [*Induktivnyj metod samoorganizacii modelej slozhnyh sistem*], Naukova dumka, Kyiv, 296 p. **21. Bychenkov V.V.** (2014), Development of combined method with the limited base of arguments for models construction of the difficult systems. [*Razrobotka kombinatornogo metoda s ogranichennoj bazoj argumentov dlja postroenija modelej slozhnyh sistem*], Sovremennyj nauchnyj vestnik, No. 241, pp. 29–37. **22. Bychenkov V.V.** (2014), Development of algorithm of polynomials variants surplus on the index of uniqueness of arguments set variants of equations. [*Razrobotka algoritma perebora variantov polinomov po pokazatelju unikal'nosti variantov nabora argumentov formul'nyh vyrazhenij*], Ural'skij nauchnyj vestnik, No. 121, pp. 120–130.

Отримано: 05.03.2015 року