

проектирования строительных сооружений из монолитного железобетона: дис... канд. техн. наук: 05.13.12 / Д.А. Городецкий; Киевский гос. НИИ автоматизированных систем строительства (НИИАСС Госстроя Украины). – К., 1999. –131 с. 3. Дорфман А.Э. Проектирование безбалочных бескапитальных перекрытий / А.Э. Дорфман, Л.Н. Левонтин. – М.: Стройиздат, 1975. – 124 с. 4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред / О. Зенкевич, И. Чанг; пер. с англ. А. П. Троицкого и С. В. Соловьёва. – М.: Недра, 1974. – 240 с. 5. Максаи Дж. Проектирование жилых зданий / Дж. Максаи – М.: Стройиздат, 1979. – 488 с. 6. Мухамедиев Т.А. Расчёт железобетонных стен методом конечных элементов / Т.А. Мухамедиев, А.С. Махно, А. Иванов // Железобетонные конструкции зданий большой этажности: материалы научно-практической конференции. – М.: МГСУ, 2004. – С. 67–75. 7. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC Nastran for Windows / Д.Г. Шимкович. – М: ДМК Пресс, 2003. – 447 с.

УДК 62-82:658.512.011.56

О. Фіногенов  
ННК ІПСА НТУУ “КПІ”

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИБОРУ ПОРЯДКУ МЕТОДУ В АЛГОРИТМІ ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ НА ОСНОВІ РІЗНИЦЬ ВИЩИХ ПОРЯДКІВ

© Фіногенов О., 2013

Розглянуто алгоритм чисельного інтегрування на основі різниць вищих порядків та виділено фактори, які впливають на вибір порядку методу. Запропоновано алгоритм оцінки ефективності вибору порядку методу, проведено його дослідження на тестовому наборі схем та зроблено висновки щодо методу керування обчисленнями.

Ключові слова: чисельне інтегрування, різниці вищих порядків, САПР, схемотехнічне моделювання, Spice, ALLTED.

This paper deals with the numerical integration algorithm based on the differences of higher orders, and the factors influencing on the choice of a method order are marked out. The algorithm to evaluate method order selection efficiency is proposed, its investigation on the test circuit set is conducted, and conclusions on the calculation control method are made.

Key words: numerical integration, differences of higher orders, CAD, circuit simulation, Spice, ALLTED.

### Вступ

Використання методів керування порядком і розміром кроку при чисельному інтегруванні має за мету забезпечити можливість адаптації методу до розв’язуваної задачі [1]. У засобах схемотехнічних САПР найживаніші дві основні процедури керування процесом вибору порядку методу: алгоритм Гіра, що реалізований в родині САПР Spice: Pspice [3], HSpice [4] тощо (надалі “алгоритм Spice”), та алгоритм, що реалізований в родині САПР ALLTED [5] (надалі “алгоритм Allted”). На відміну від алгоритму Spice, алгоритм Allted використовує гнучкіший метод керування обчисленнями зі зміною розміру кроку та порядку методу. Вибір порядку методу та розміру кроку залежить від значень локальної похибки, для визначення якої на практиці застосовують непрямі оцінки, оскільки математичні моделі об’єктів, з яких складається об’єкт проектування, як правило, мають нелінійний характер, а також розриви у похідних. І навіть більше, загальна математична модель часто має великий розкид власних чисел (для електроніки розкид може досягати  $10^6 - 10^{18}$  порядків та навіть більше). Ці обставини істотно впливають на процес інтегрування та можуть

привести до отримання неадекватних результатів моделювання або до повної зупинки процесу. Внаслідок цього актуальною є задача визначення ефективності вибору порядку методу під час керування обчисленнями, яка розглянута у цій роботі.

### Аналіз та тестування методу

Математичну модель об'єкта при аналізі динамічних режимів можна подати системою нелінійних алгебро-диференціальних рівнянь (1):

$$f(\dot{x}, x, t) = 0. \quad (1)$$

Розглянемо стратегії визначення кроку і порядку методу під час розв'язання (1) в алгоритмі числового інтегрування з використанням різниць вищих порядків для визначення тих операцій або параметрів методу, які можуть стати причиною відкидання кроку і, відповідно, викликати зрив процедури інтегрування.

Згідно з [1], для вибору порядку методу  $K$  прогнозується похибка кожної складової вектора змінних  $x$  для методів 1, 2, ...,  $(k+1)$  порядків:

$$\varepsilon^1, \varepsilon^2, \dots, \varepsilon^k, \quad 1 \leq k \leq 6,$$

де

$$\varepsilon^k = \frac{h}{t_{n+1} - t_{n-k}} (x_{n+1} - x_{n+1}^0),$$

де  $\varepsilon^k$  – помилка формули диференціювання, яка пропорційна до різниці між точним значенням розв'язку рівняння (1) у точці  $t_{n+1}$  і прогнозованим значенням  $x_{n+1}^0$ , які обчислюють за співвідношеннями:

$$x_{n+1}^0 = \sum_{i=0}^k p_i \delta_n^i x_n$$

$$p_i = p_{i-1} \frac{t_{n+1} - t_{n+1-i}}{t_n - t_{n-i}}, \quad i = 1, \dots, k, \quad (2)$$

де  $\delta_n^i$  – різницевий оператор [6], причому  $\delta_n^0 = 1; p_0 = 1$ .

Серед розрахованих похибок застосовуються такі, що відповідають найменш точним компонентам вектора  $x$ :  $e_i = \max(\varepsilon^i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, k+1$ , і порядок методу вибирають таким, що дорівнює порядку, за якого величина  $e_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k+1$ ) є мінімальною.

Крок задається на підставі співвідношення:

$$h_{n+1} = K \sqrt{\frac{e_i}{E_{iK}}} h_n$$

$$e_i = |\varepsilon \cdot x_i|;$$

$$E_{iK} = \left| \frac{h}{t_{n+1} - t_{n-K}} (x_{(n+1)i} - x_{(n+1)i}^0) \right|;$$

де  $\varepsilon$  – допустима відносна похибка;  $i$  – номер компоненти вектора  $x$ ;  $t$  – час;  $K$  – порядок методу;  $n$  – номер часового кроку;  $x_{n+1}^0$  – прогнозоване значення;  $E_{iK}$  – похибка формули диференціювання.

Зменшення кроку відбувається, коли прогнозована похибка ( $e_i$ ) більша за наперед задане значення максимально припустимої локальної похибки ( $lerr$ ). У такому разі процедура повертається до попередньої робочої точки і повторюється зі зменшеним розміром кроку. Мінімальний та максимальний розміри кроку задає проектувальник або їх обчислюють автоматично зі співвідношень:

$$h_{\min} = \frac{T_{\max}}{10^6}; h_{\max} = \frac{T_{\max}}{20},$$

де  $T_{\max}$  – час інтегрування. Якщо після зменшення кроку досягнуто значення  $h_{\min}$ , а потрібна точність не забезпечується, то крок приймається зі збільшенням лічильника відкинутих кроків ( $R$ ). У випадку великої кількості відкинутих кроків на певній ділянці інтегрування (наприклад, у системі САПР ALLTED така умова виглядає як 15 відкинутих кроків на 50 послідовних кроках), відбувається зупинка процесу, оскільки моделювання стає неадекватним і проектувальнику пропонується змінити налаштування методу або сам метод вирішення, або параметри моделювання. Описаний вище алгоритм надалі називатимемо “базовим”.

Введемо позначення  $R^*$  – лічильник кількості прийнятих (успішних) кроків, за умови, що в базовому алгоритмі крок відкидається. Збільшення значення цього лічильника відбуватиметься за таких умов.

Нехай на  $n$ -му кроці інтегрування у базовому алгоритмі зафіксовано відкидання кроку і лічильник відкинутих кроків  $R$  – збільшується на 1. Причому кращий порядок методу визначено як  $K_{\text{базовий}}$ . З тієї самої робочої точки з тим самим розміром кроку відбуваються обчислення з усіма порядками методу, що доступні для обчислень:  $K_i = i, i=1(1)K_{\text{базовий}} - 1$ . Оскільки в методі використано різниці вищих порядків, то зберігаються лише  $K_{\text{базовий}}$  значень вектора  $x$ , що робить доступними лише значення порядку, менші за визначений. Якщо хоча б при одному з порядків методу, меншому за  $K_{\text{базовий}}$ , відмова кроку не відбулася, значення лічильника  $R^*$  – збільшується на 1 (рис. 1). Змінна  $L$  на схемі – прапорець, що забезпечує зупинку алгоритму визначення  $R^*$  за умови, що знайдено порядок методу, відмінний від  $K_{\text{базовий}}$ , за якого не відбулося відкидання кроку.

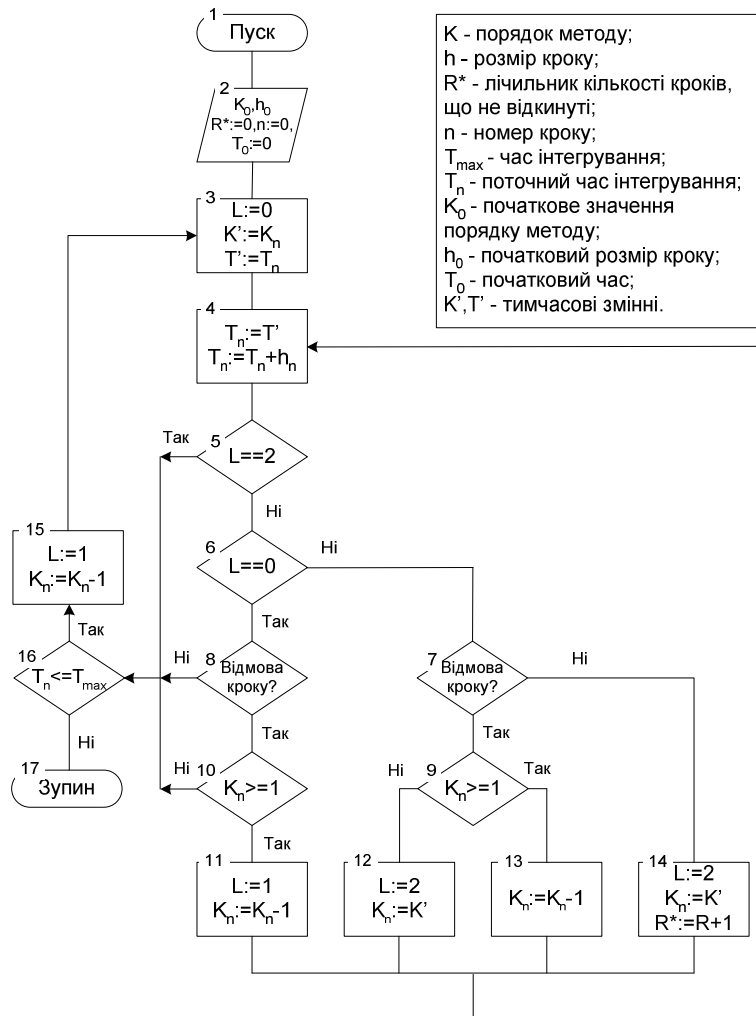


Рис. 1. Схема алгоритму

Отже, після інтегрування на ділянці  $[0; T_{\max}]$  визначається загальна кількість кроків, які не відкинуто при використанні меншого порядку методу, ніж  $K_{\text{базовий}}$ , за умови наявності відкинутого кроку в базовому алгоритмі.

Ефективність методу керування при виборі порядку методу ( $Eff_K$ ) оцінюється як відношення кількості невідкинутих кроків за умови відкинутого кроку при порядку методу  $K_{\text{базовий}}$  ( $R^*$ ), до загальної кількості відкинутих кроків ( $R$ ) (3):

$$Eff_K = \frac{R}{R^*}. \quad (3)$$

Тобто  $Eff_K = 0$  у випадку, коли при базовому кроці відбулося відкидання кроку та не знайдено жодного порядку методу  $K_i < K_{\text{базовий}}$

Для аналізу ефективності використано тестові схеми з [5;7;8]. Тестування проведено за різних значень локальної похибки ( $lerr$ ) з діапазону  $[1e-2; 1e-6]$ , що є типовим для електронних схем (див. таблицю).

### Результати визначення $R^*$

№	Схема	Тип кроку	$lerr$				
			1e-2	1e-3	1e-4	1e-5	1e-6
1	GEN	S	886	1431	3031	2834	3985
		R	136	130	236	285	312
		R*	50	43	74	88	108
2	DRV	S	1346	1784	2251	4248	6623
		R	100	117	117	87	55
		R*	7	2	15	10	0
3	BOOST	S	613	2905	4611	6029	7718
		R	85	380	587	696	703
		R*	37	187	256	266	255
4	FIX	S	162	213	223	272	310
		R	22	29	25	30	25
		R*	0	1	0	1	0
5	CNTR8	S	1841	2768	3174	3504	5045
		R	340	583	560	501	1117
		R*	38	53	29	12	0
6	WELDM	S	696	3631	3443	5921	8699
		R	135	184	118	136	168
		R*	18	28	12	23	52
7	BJTFF	S	1089	1983	3613	9394	6830
		R	87	148	241	182	194
		R*	5	29	74	57	52
8	ASTABLE	S	1414	2240	5449	4830	44852
		R	546	539	376	427	255
		R*	66	35	42	61	31
9	HDIG	S	960	2027	3606	5685	7879
		R	155	242	348	489	628
		R*	29	29	38	58	72
10	FADD32	S	1564	2120	3493	5975	9681
		R	448	263	376	610	979
		R*	215	106	127	185	248
11	CHARGE13	S	9528	13426	20090	32019	52017
		R	2870	2545	2945	5550	6627
		R*	1620	1180	1039	1411	2377
12	CHARGE49	S	8154	16606	25695	37155	55667
		R	1809	2633	3104	3718	4816
		R*	920	603	560	584	821

де  $S$  – загальна кількість кроків інтегрування;  $R$  – кількість відкинутих кроків;  $R^*$  – кількість кроків, що не відкинуті, за умови відкинутого кроку при порядку методу  $K_{\text{базовий}}$ .

На рис. 2 наведено узагальнені (сумарні результати для всіх значень  $lerr$ ) обчислення ефективності методу керування обчисленнями (відсоток “хибно” визначених порядків методу).

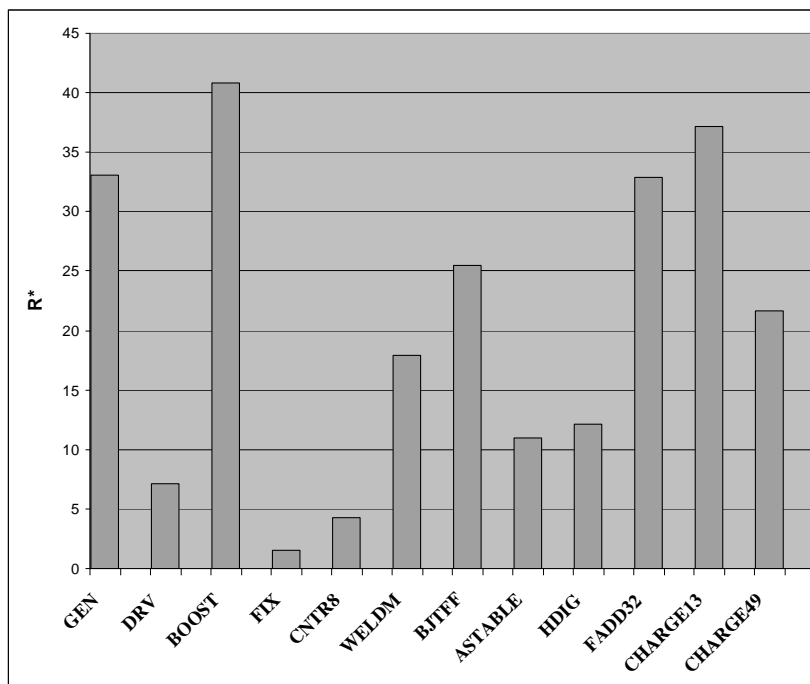


Рис. 2. Відсоток невідкинутих кроків до відкинутих кроків базового алгоритму

Необхідно врахувати, що вибір порядку методу для перевірки методу керування вибрано з  $K_i = i$ ,  $i = 1(1)K_{\text{базовий}} - 1$ . Змінюючи структуру даних, що забезпечують зберігання кінцевих різниць, можливо варіювати вибір порядку методу з  $K_i = i$ ,  $i = 1(1)K_{\text{max}}$  за умови, що розраховані перші  $K_{\text{max}}$  точок інтегрування (2). В цьому випадку можливо отримати більші значення  $R^*$ .

### Висновки

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що алгоритм вибору порядку методу в методі управління обчисленнями не є оптимальним. На розглянутому тестовому наборі для більшості схем “хибно” визначення порядку методу коливалося в межах 5–40 % від кількості відкинутих кроків. Це може привести як до збільшення кількості обчислень, так і до зриву процедури динамічного аналізу.

1. Петренко А.И. Табличные методы моделирования электронных схем на ЭЦВМ / А.И. Петренко, А.И. Власов, А.П. Тимченко. – К.: Вища школа, 1977. – 192 с.
2. Петренко А.И. Автоматизация схемотехнического проектирования в машиностроении: учеб. пособие / А.И. Петренко, В.В. Ладогубец, В.В. Чкалов. – К. : УМК ВО, 1988. – 180 с.
3. Сайт SYNOPSIS: HSPICE. – Режим доступу: <http://www.synopsys.com/Tools/Verification/AMSVeification/CircuitSimulation/HSPICE/Pages/default.aspx>. – Дата доступу 14.12.2012.
4. Сайт CADENCE: PSpice. – Режим доступу: <http://www.cadence.com/products/pcb/spice/pages/default.aspx>. – Дата доступу 14.12.2012.
5. Petrenko A. ALLTED – a computer-aided engineering system for electronic circuit design / Petrenko A., Ladogubets V., Tchkalov V., Pudlowski Z. – Melbourne: UICEE, 1997. – 205 p.
6. Петренко А.И. Основы автоматизации проектирования / А.И. Петренко. – К. : Техника, 1982. – 295 с.
7. Набір тестових схем інституту Берклі. CircuitSim90 Benchmark Information. – Режим доступу: [http://www.cbl.ncsu.edu/CBL\\_Docs/csim90.htm](http://www.cbl.ncsu.edu/CBL_Docs/csim90.htm). – Дата доступу 14.12.2009.
8. Allted. All

УДК 004.4'232

**Я. Драган<sup>1</sup>, В. Овсяк<sup>2</sup>, О. Овсяк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет Львівська політехніка,  
кафедра програмного забезпечення,

<sup>2</sup>Українська академія друкарства,

<sup>3</sup>Київський національний університет культури і мистецтв

## **ПОРІВНЯННЯ АЛГЕБРИЧНИХ МЕТОДІВ ПОДАНЬ АЛГОРИТМІВ**

© Драган Я., Овсяк В., Овсяк О., 2013

**Порівняннями за системами операцій та їхніми властивостями та побудованими моделями абстрактної комп'ютерної системи дано оцінку таких відомих алгебричних методів опису алгоритмів, якими є модифікована система алгоритмічних алгебр, модифікована алгебра алгоритмів та алгебра алгоритмів.**

**Ключові слова:** операція, властивість, алгебра, система, декомпозиція, модель.

**Bi comparison under the systems operations and their properties and constructed abstract models of computer systems estimations of such well-known algebraic methods for describing algorithms, which are modified systems of algorithmic algebras, modified algebra algorithms and algebra algorithms are given.**

**Key words:** operation, property, algebra, system, decomposition, model.

### **Вступ**

Сучасні комп'ютерні системи є складними системами. Процес їхнього проектування передбачає створення математичного і програмного забезпечення. Для розроблення як математичного, так і програмного забезпечення застосовується метод розбиття. Як правило, розбиття є багаторівневим і виконується за вибраними критеріями. Одним із таких важливих критеріїв є функціональне призначення підсистем.

Синтез математичного забезпечення комп'ютерних систем загалом, а також їхніх складових, на які вони розбиті, можна виконати із застосуванням модифікованої системи алгоритмічних алгебр [1, 2] і модифікованої алгебри алгоритмів [3–5]. Застосування алгебричних методів для опису математичного забезпечення систем, крім точного опису моделей, створює передумови для їхньої оптимізації та дослідження вірогідності.

Порівняння алгебри алгоритмів з модифікованою алгеброю алгоритмів і модифікованої системи алгоритмічних алгебр з модифікованою алгеброю алгоритмів сприятиме вибору цих засобів для розв'язання задач синтезу, оптимізації за вибраними критеріями і дослідження математичного забезпечення комп'ютерних систем.

### **Характеристика здобутків і формулювання завдання дослідження**

Наш час – початок ХХІ століття, як і кінець попереднього, дослідники звикли називати ерою інформатики і комп'ютерно-інформатичних технологій, маючи на увазі вдосконалення та повсюдне використання широкого арсеналу засобів допомоги людині не стільки у виконанні фізичної праці,