

УДК 004.94

М.Л. Петришин

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника, Івано-Франківськ

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПФІ В ТРІЙКОВІЙ СИМЕТРИЧНІЙ СИСТЕМІ ЧИСЛЕННЯ

В даній роботі здійснено моделювання процесів перетворення форми інформації в трійковій симетричній системі числення. Визначено та класифіковано алгоритми, у відповідності до яких здійснюється перебіг процесу перетворення. Побудовано векторно-розгалужуючі діаграми для кожного з методів. Проаналізовано недоліки, що унеможливають реалізацію визначених методів. Здійснено оцінку кількості операцій для кожного із вхідних значень та повного діапазону перетворення.

**Ключові слова:** перетворення форми інформації, векторно-розгалужуючі діаграми, трійкова симетрична система числення, позиційні системи числення.

### Вступ

В класі позиційних систем числень розрізняють системи із біполярним представленням чисел. Застосування таких систем зумовлено можливістю сучасної технологічної бази реалізувати логічні рівні різної полярності. Актуальність дослідження застосування симетричних зрівноважених чи то збалансованих систем числення зумовлена перевагами натурального позиційного представлення додатних і від'ємних чисел, простотою їх порівняння та заокруглення, редукованою кількістю міжрозрядних переносів та тактів виконання арифметичних операцій у порівнянні з бінарним методом, а також максимальною ефективністю цифрового представлення повідомлень [1; 2].

За налогією із найпростішою уніполярною, найпростішою з біполярних є трійкова симетрична система числення, в якій як розрядні коефіцієнти використано три цифри 1, 0, -1.

**Метою проведених досліджень** є розробка методів моделювання на основі векторно-розгалужених діаграм (ВРД), застосування яких дозволяє здійснити графічну візуалізацію процесу перетворення форми інформації (ПФІ), відобразити процес перетворення кожного із числових значень та повного діапазону перетворення, а також здійснити кількісну оцінку властивостей аналізованих методів ПФІ.

Запропонований метод моделювання на базі ВРД в своїй основі застосовує індикаторне моделювання із можливістю аплікації індикаторних елементів (ІЕ) не тільки по стороні, протилежній розташуванню об'єкту дослідження (адитивний метод), але і по стороні розташування об'єкту дослідження (субтрактивно-адитивний), що інтерпретується в такому випадку як зміна знаку значення еталонної величини на протилежний з, відповідно, додаванням чи відніманням значень мір до чи від значень позицій точок

аплікації ІЕ [3]. Практика моделювання процесів ПФІ ґрунтується на здійсненні визначених процедур порівняння, що реалізуються за допомогою компараторів, які дозволяють визначити співвідношення невідомої величини з визначеною системою «еталонних величин» або «мір», чи то «шкалою», сформованою в системі одиниць перетворення. Моделювання процесу ПФІ зводиться до послідовних порівнянь невідомого значення величини  $x$  з заданими визначеним чином значеннями системи мір, що формуються як сумарне значення на кожному ітераційному кроці процесу перетворення. За результатами процесу ітераційних порівнянь формується кінцевий результат кількісної оцінки невідомої величини вхідного параметру перетворення [4].

Побудова ВРД ґрунтується на застосуванню властивостей шкал порядку, тому, умовою завершення процесу ПФІ є визначення невідомого значення вхідного параметру перетворення  $x$ , що знаходиться у відповідному одиничному проміжку кванту діапазону перетворення. В моделюванні ІЕ виконує функцію компаратора, який в межах  $i$ -го кванту значення величини перетворення  $x$  в точці порівняння  $P_{i-1}$  по своєму виходу формує значення 1 ( $\geq$ ), а в точці  $P_i$  – значення 0 ( $<$ ). ІЕ, як компонент порівняння, що формує по виходу два альтернативні результати згідно заданої умови, позначено  $\diamond$ .

### 1 Моделювання процесів ПФІ в трійковій симетричній системі числень

Алгоритм моделювання адитивного процесу ПФІ будь-якого невідомого значення  $x$  вхідної величини в код довільної позиційної системи числення за основою  $q$  полягає в здійсненні ітераційних процедур порівняння/компарування значення вхідної невідомої величини  $x$  з набором значень еталонних

величин (мір), що становлять степеневий ряд основи системи числення q:

$$x = a_{n-1} 3^{n-1} + a_{n-2} 3^{n-2} + \dots + a_i 3^i + \dots + a_2 3^2 + a_1 3^1 + a_0 3^0,$$

де 3 – основа системи числення;  $a_i$  – розрядні коефіцієнти, що набувають значень  $a_i = \{ 1, 0, -1 \}$ .

Проаналізуємо моделі основних методів ПФІ в позиційних системах числень з субтрактивно-адитивним порівнянням. Початкове перетворення невідомого значення вхідної величини x як наслідок ітераційного прикладання ІЕ до алгоритмічно визначених точок діапазону перетворення вхідної величини до i-го моменту перевищення значення суми позиційних мір  $\sum 3^i$  можливе:

- від молодших значень мір  $3^0$  до старших  $3^i$ ;
- від старших значень мір  $3^{n-1}$  до молодших  $3^i$ .

Зворотне перетворення після перевищення значенням суми мір  $\sum 3^i$  значення невідомої вхідної величини x можливе:

- від молодших значень мір  $3^0$  до старших значень  $3^{i-1}$ ;
- від старших значень мір  $3^{n-1}$  до молодших значень  $3^{i-1}$ .

Можна підсумувати, що існує 4 методи адитивного ПФІ та відповідна кількість можливих алгоритмів порівняння в позиційних системах числення:

Таблиця 1

Узагальнена класифікація методів субтрактивно-адитивного ПФІ в трійковій системі числення

		Методи адитивного ПФІ	
Додавання	від молодших значень мір $3^0$ до старших $3^i$	1.1	1.2
	від старших значень мір $3^{n-1}$ до молодших $3^i$	2.1	2.2
Спосіб формування суми мір	від молодших значень мір $3^0$ до старших $3^{i-1}$	від старших значень мір $3^{i-1}$ до молодших $3^0$	
		Віднімання	

Проаналізуємо методи і відповідні їм алгоритми ПФІ та побудуємо ВРД і таблиці перебігу ПФІ як моделі процесу субтрактивно-адитивного порівняння.

**1.1 Аналіз методу ПФІ (1.1) із адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^i$  та зворотним порівнянням від до молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^{i-1}$**

Даний метод передбачає можливість здійснення операцій:

1) додавання (віднімання від’ємних) позиційних мір здійснюється від молодших  $3^0$  до старших значень  $3^{n-1}$  до i-го моменту порівняння, в якому отримане значення суми мір  $\sum 3^i$  перевищує невідоме вхідне значення x, внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<);

2) субтрактивне перетворення значення отриманої суми мір  $\sum 3^i$  виконується шляхом віднімання (додаванням від’ємних) попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від молодших значень  $3^0$  до старших  $3^{i-1}$  ( $+(-3^0), +(-3^1), \dots, +(-3^{i-1})$ ) до моменту отримання такого значення суми мір  $\sum 3^i$ , внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням x в точці порівняння ІЕ по виходу формує результат 1 ( $\geq$ );

3) Якщо невідоме значення x входить в одиничний проміжок кванту перетворення, процес ПФІ завершується, в іншому випадку, в залежності від стану виходу ІЕ, виконуються кроки 1 або 2.

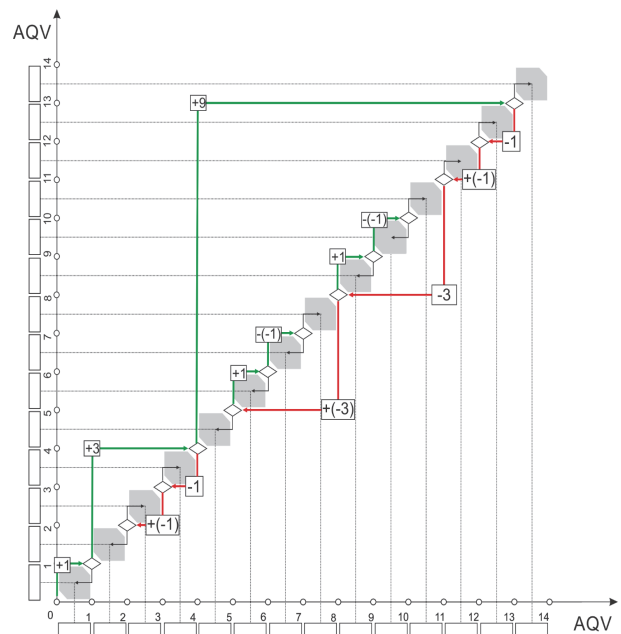


Рис. 1. Приклад моделювання процесу ПФІ із субтрактивно-адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від молодших  $3^0$  до старших значень  $3^i$  та зворотним порівнянням від молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^{i-1}$

В табл. 2 представлено кроковий перебіг процесу ПФІ, що зображений на рис. 1. Визначено типи операцій, додавання (віднімання від’ємних значень) чи віднімання (додавання від’ємних значень), потрібно здійснити для отримання невідомого значення діапазону перетворення, та сумарну кількість кроків як для окремих значень так і для повного діапазону.

В той же час мінімальна кількість ітераційних кроків перетворення, що рівна одиниці, необхідна для перетворення значення x, рівного 1, яке знаходиться на початку умовно одиничного діапазону перетворення [0, N-1].

Таблиця 2

Перебіг процесу ПФІ із адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від старших  $3^i$  до молодших значень  $3^0$  та наступним зрівноваженням/порівнянням від старших значень мір  $3^{i-1}$  до молодших  $3^0$

ітераційні кроки порівняння ( $i=...$ )											значення кванту ПФІ	
x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	знак $\sum i$		
0	+1									<	1	[0,1)
1	+1+3	-1	+(-1)							<	4	[1,2)
2	+1+3	-1	+(-1)							$\geq$	4	[2,3)
3	+1+3	-1								<	3	[3,4)
4	+1+3+9	-1	+(-1)	-3	+(-3)					<	7	[4,5)
5	+1+3+9	-1	+(-1)	-3	+(-3)	+1				$\geq$	8	[5,6)
6	+1+3+9	-1	+(-1)	-3	+(-3)	+1	-(-1)			<	9	[6,7)
7	+1+3+9	-1	+(-1)	-3	+(-3)	+1	-(-1)	$\geq$	9	$\geq$	9	[7,8)
8	+1+3+9	-1	+(-1)	-3	+1					<	7	[8,9)
9	+1+3+9	-1	+(-1)	-3	+1	-(-1)				<	8	[9,10)
10	+1+3+9	-1	+(-1)	-3	+1	-(-1)				$\geq$	8	[10,11)
11	+1+3+9	-1	+(-1)							$\geq$	4	[11,12)
12	+1+3+9	-1								$\geq$	5	[12,13)
13	+1+3+9									$\geq$	3	[13,14)

Таблиця 3

Ітераційне формування суми позиційних мір для знаходження невідомого значення x, що потребує максимальної кількості кроків перетворення ( $i=9$ )

№	точка прикл. ІЕ	сума мір	вихід ІЕ
1	1	$3^0$	1
2	4	$3^0+3^1$	1
3	13	$3^0+3^1+3^2$	1
4	12	$3^0+3^1+3^2-3^0$	0
5	11	$3^0+3^1+3^2-3^0+(-3^0)$	0
6	8	$3^0+3^1+3^2-3^0+(-3^0)-3^1$	0
7	5	$3^0+3^1+3^2-3^0+(-3^0)-3^1+(-3^1)$	0
8	6	$3^0+3^1+3^2-3^0+(-3^0)-3^1+(-3^1)+3^0$	1
9	7	$3^0+3^1+3^2-3^0+(-3^0)-3^1+(-3^1)+3^0-(-3^0)$	1



Рис. 2. Графік залежності зміни кількості кроків від кількості квантів перетворення

Рис. 2 відображає залежність зміни кількості кроків від кількості квантів в діапазоні числових значень  $[0 \div 363)$ . З отриманих результатів можна підсумувати, що алгоритм володіє самоповторюваністю з характерними ознаками зростання від мінімальних значень, та локальними спаданнями.

**1.2 Мед ПФІ (1.2) із адитивним формування суми мір  $\sum 3^i$  від молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^i$  та зворотним порівнянням від старших значень мір  $3^{i-1}$  до молодших  $3^0$**

Даний метод передбачає можливість здійснення операцій:

1) додавання (віднімання від'ємних) позиційних мір від молодших  $3^0$  до старших значень  $3^{n-1}$  до i-го моменту порівняння, в якому значення суми мір  $\sum 3^i$  перевищує вхідне значення x, внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<);

2) субтрактивне перетворення значення отриманої суми мір  $\sum 3^i$  виконується шляхом віднімання (додаванням від'ємних) попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від старших значень  $3^{i-1}$  до молодших  $3^0$ ,  $(+(-3^{i-1}), +(-3^{i-2}), \dots, +(-3^0))$  до моменту отримання такого значення суми мір  $\sum 3^i$ , внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням x в точці порівняння ІЕ по виходу формує результат 1 ( $\geq$ );

3) якщо значення сформованої суми мір  $\sum 3^i$  потрапляє в одиничний проміжок кванту значення x, процес ПФІ завершується, в іншому випадку, в залежності від стану виходу ІЕ, повторюються кроки 1 та 2 до моменту виконання умови попадання значення сформованої суми  $\sum 3^i$  в проміжок кванту визначення невідомого значення x.

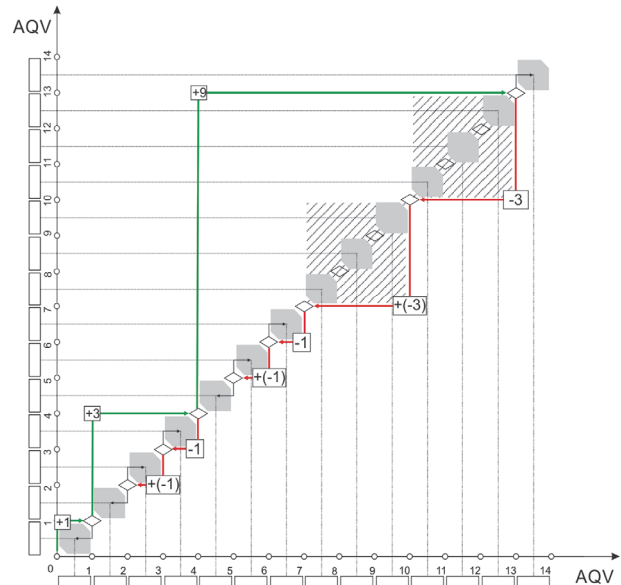


Рис. 3. Приклад моделювання процесу ПФІ із субтрактивно-адитивним формування трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від молодших  $3^0$  до старших значень  $3^i$  та зворотним порівнянням від старших значень мір  $3^{i-1}$  до молодших  $3^0$

За результатами моделювання, представленим на рис. 3, в трійковому методі ПФІ (1.2) присутні розриви між точками прикладання ІЕ, що унеможливує визначення кількісної оцінки для значень діапазонів [7, 10) та [10, 13).

**1.3 Аналіз методу ПФІ(2.1) із адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від старших значень мір  $3^i$  до молодших  $3^0$  та зворотним порівнянням від до молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^{i-1}$**

Даний метод передбачає можливість здійснення операцій:

1) додавання (віднімання від'ємних) позиційних мір здійснюється від старших значень  $3^{n-1}$  до молодших  $3^i$ , ( $3^{n-1}$ ,  $3^{n-2}$ , ...,  $3^i$ ) до і-го моменту порівняння, в якому отримане значення суми мір  $\sum 3^i$  перевищує невідоме вхідне значення  $x$ , внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<);

2) субтрактивне перетворення значення отриманої суми мір  $\sum 3^i$  виконується шляхом віднімання (додаванням від'ємних) попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від молодших значень  $3^0$  до старших  $3^{i-1}$  ( $+(-3^0)$ ,  $+(-3^1)$ , ...,  $+(-3^{i-1})$ ) до моменту отримання такого значення суми мір  $\sum 3^i$ , внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням  $x$  в точці порівняння ІЕ по виходу формує результат 1 ( $\geq$ );

3) Якщо невідоме значення  $x$  входить в одиничний проміжок кванту перетворення, процес ПФІ завершується, в іншому випадку, в залежності від стану виходу ІЕ, виконуються кроки 1 або 2.

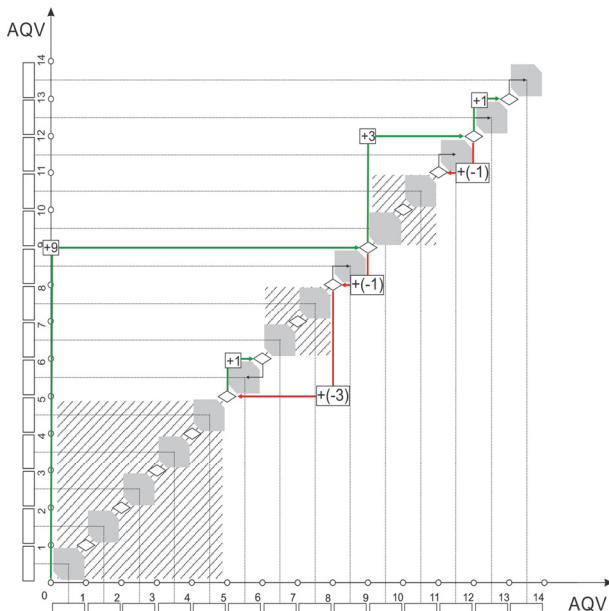


Рис. 4. Приклад моделювання процесу ПФІ із субтрактивно-адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від старших значень мір  $3^i$  до молодших  $3^0$  та зворотним порівнянням від молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^{i-1}$

За результатами моделювання (рис. 4), в трійковому методі ПФІ із адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від старших значень мір  $3^i$  до молодших  $3^0$  та зворотним порівнянням від до молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^{i-1}$  присутні розриви між точками прикладання ІЕ, що унеможливує визначення кількісної оцінки для значень діапазонів [0, 5), [6, 8) та [9, 11).

**1.4 Аналіз методу ПФІ(2.2) із адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від старших значень мір  $3^{n-1}$  до молодших  $3^i$  та субтрактивним перетворенням від старших значень мір  $3^{i-1}$  до молодших  $3^0$**

Даний метод передбачає можливість здійснення операцій:

1) адитивне додавання (віднімання від'ємних) позиційних мір здійснюється від старших значень  $3^{n-1}$  до молодших  $3^i$ , ( $3^{n-1}$ ,  $3^{n-2}$ , ...,  $3^i$ ) до і-го моменту порівняння, в якому отримане значення суми мір  $\sum 3^i$  перевищує невідоме вхідне значення  $x$ , внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<);

2) субтрактивне перетворення значення отриманої суми мір  $\sum 3^i$  виконується шляхом віднімання (додаванням від'ємних) попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від старших значень  $3^{i-1}$  до молодших  $3^0$ , ( $+(-3^{i-1})$ ,  $+(-3^{i-2})$ , ...,  $+(-3^0)$ ) до моменту отримання такого значення суми мір  $\sum 3^i$ , внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням  $x$  в точці порівняння ІЕ по виходу формує результат 1 ( $\geq$ );

3) якщо значення сформованої суми мір  $\sum 3^i$  потрапляє в одиничний проміжок кванту значення  $x$ , процес ПФІ завершується, в іншому випадку, в залежності від стану виходу ІЕ, повторюються кроки 1 та 2 до виконання умови попадання значення сформованої суми  $\sum 3^i$  в одиничний проміжок кванту визначення невідомого значення.

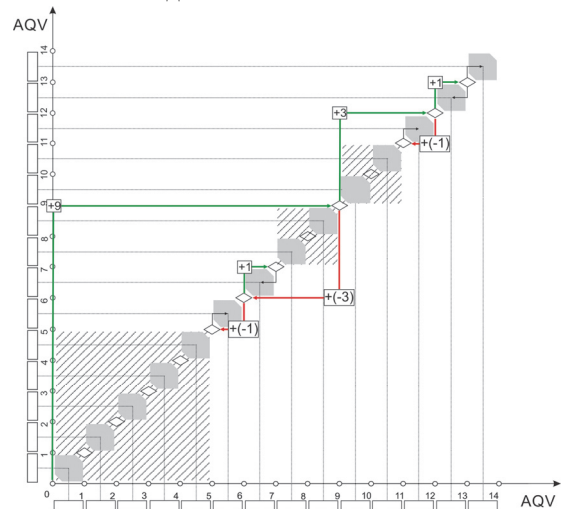


Рис. 5. Приклад моделювання процесу ПФІ із субтрактивно-адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від старших значень мір  $3^i$  до молодших  $3^0$  та зворотним порівнянням від молодших  $3^0$  до старших значень мір  $3^{i-1}$

За результатами моделювання, представленими на рис. 5, в трійковому методі ПФІ із адитивним формуванням трійкової суми мір  $\sum 3^i$  від старших значень мір  $3^{n-1}$  до молодших  $3^1$  та субтрактивним перетворенням від старших значень мір  $3^{i-1}$  до молодших  $3^0$  присутні розриви між точками прикладання ІЕ, що унеможливує визначення кількісної оцінки для значень діапазонів  $[0, 5)$ ,  $[7, 9)$  та  $[9, 11)$ .

## Висновки

За результатами здійснених досліджень можна підсумувати, що існує 4 методи субтрактивно-адитивного ПФІ та відповідна кількість можливих алгоритмів порівняння в позиційних системах числення:

1. з додаванням від молодших значень мір до старших  $+(3^0 \div 3^i)$ , для класу яких можливі наступні два методи подальшого зрівноваження після перевищення невідомого значення перетворення  $x$ :

- 1.1 – із відніманням від молодших значень мір до старших  $-(3^0 \div 3^{i-1})$ ;
- 1.2 – із відніманням від старших значень мір до молодших  $-(3^{i-1} \div 3^0)$ ;

2. з додаванням від старших значень мір до молодших  $+(3^{n-1} \div 3^i)$ , для класу яких можливі наступні два методи зворотного порівняння після перевищення невідомого значення  $x$  перетворення:

- 2.1 – із відніманням від молодших значень мір до старших  $-(3^0 \div 3^{i-1})$ ;
- 2.2 – із відніманням від старших значень мір до молодших  $-(3^{i-1} \div 3^0)$ .

За допомогою побудованих ВРД здійснено візуалізацію перебігу процесів ПФІ та виявлено недоліки, які унеможливають реалізацію методів 1.2, 2.1, 2.2 за причини існування областей невизначеності.

Для методу 1.1 побудовано векторно-розгалужуючу діаграму, яка дозволила візуалізувати перебіг процесу ПФІ, визначити значення мір, що додаються/знімаються, оцінити сумарну кількість кроків для кожного числового значення діапазону, побудувати таблицю результатів та обчислено сумарну кількість кроків дл діапазону перетворення  $0 \div 3^3 - 1$ . Здійснено обчислення результатів та побудовано графічну залежність зміни кількості кроків від значень квантів перетворення.

## Список літератури

1. Брусенцов Н.П. Об использовании троичного кода и троичной логики в цифровых машинах / Н.П. Брусенцов // Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Вып. 7. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – С. 3-33.
2. Брусенцов Н.П. О вычитании и округлении чисел в позиционных системах счисления с положительным основанием / Н.П. Брусенцов // Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Вып. 6. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1971. – С. 28-31.
3. Петришин Л. Моделирование субтрактивно-адитивного способа перетворення форми інформації / Л. Петришин // Математичний вісник НТШ; ISSN 1812-6774. – 2012 т. 9 с. 246–268. — Bibliogr. s. 266–268
4. Петришин М.Л. Застосування векторно-розгалужуючих схем в моделюванні процесів ПФІ / М.Л. Петришин // II Міжнародна конференція "Комп'ютерна алгебра та інформаційні технології", 21-26 серпня 2016.: Одеса, Україна. Тези доповідей / Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. – Одеса, 2016. – 60с.

Надійшла до редколегії 11.03.2017

**Рецензент:** д-р фіз.-матем. наук проф. Р.А. Заторський, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПФИ В ТРОИЧНОЙ СИММЕТРИЧНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

М.Л. Петришин

*В данной работе осуществлено моделирование процессов преобразования формы информации в троичной симметричной системе счисления. Определены типы алгоритмов, в соответствии с которыми выполняется процесс ПФИ. Построено векторно-ответительные диаграммы для каждого из методов. Определены недостатки, исключающие возможность реализации некоторых методов. Вычислены числовые параметры эффективности преобразования для каждого значения, полного диапазона и для различных разрядностей сообщений.*

**Ключевые слова:** преобразование формы информации, векторно-ответительные диаграммы, система счисления, троичная симметричная система счисления, позиционные системы счисления.

## MODELING OF TIF PROCESSES IN THE TERNARY SYMMETRIC NUMERAL SYSTEM

M. Petrishin

*This paper conducted modeling transformation of form information process in ternary symmetrical numeral system. Determined in accordance algorithms which implemented flow of the process. Built vector-branching diagram for each method. Detected disadvantages which exclude the possibility of implementing certain methods. Calculated numeric parameters as per value and for various bit.*

**Keywords:** transformation of information form vector-branching diagrams, numeral system, ternary symmetrical numeral system, positional numeral system.