УДК 512.542.66

ФУНКЦИИ ПЕРЕСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ СЧИСЛЕНИЯ РЯДА ФАКТОРИАЛЬНЫХ МНОЖЕСТВ

А. П. Мартынов*, И. А. Мартынова**

**ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской области*
***ФГУП «ВНИИА» им. Н.Л. Духова, г. Москва*

Поступила в редакцию 16.09.2016 г.

Аннотация. Рассмотрена система счисления ряда факториальных множеств, представлены способы преобразования чисел из десятичной системы счисления в систему счисления факториальных множеств и обратно, обеспечивающие обратимое и взаимно однозначное преобразование и нумерацию элементов факториальных множеств любой размерности. Предложен способ преобразования образов ряда факториальных множеств в конкретные перестановки.
Ключевые слова: функция перестановки, ряд факториальных множеств, система счисления, способ преобразования.
Annotation. Notation of some factorial sets is considered, is presented ways of transformation of numbers from decimal notation to notation of factorial sets and back, providing reversible both biunique transformation and numbering of elements of factorial sets of any dimension. The way of transformation of images of some factorial sets in concrete shifts is offered.
Keywords: shift function, a number of factorial sets, notation, way of transformation.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим некоторое конечное множество A состоящее из n элементов a_1, a_2, $a_3,\ldots$, a_n $A=\{a_1,a_2,a_3,\ldots,a_n\}$. Каждому элементу $a\in A$ соответствие функция $\varphi(a)\in A$, которая является образом элемента a. Отображения множества A являются взаимно однозначными. Такое множество можно задавать либо полным списком элементов, входящих в него, либо путем указания некоторого характеристического свойства, которым обладают его элементы. Выберем в качестве образа элемента a функцию перестановки, которая является одной из основополагающих в криптографии.

Рассмотрим n различных элементов a_1, a_2, $a_3,\ldots$, a_n, переставляя эти элементы всевозможными способами, меняя их порядок, но, не изменяя их число. Каждая из получившихся таким образом комбинаций (включая первоначальную комбинацию) является перестановкой. Число перестановок для $\boldsymbol{n}$ элементов равно произведению всех целых чисел от 1 до $\boldsymbol{n}$ включительно [1].

$$P_n=1\cdot 2\cdot 3\cdot\ldots\cdot(n-1)\cdot n=n! \qquad (1)$$

Очевидно, что количество перестановок при возрастании количества элементов n образует своеобразный ряд, который назовем рядом факториальных множеств (рис. 1).

Из рис.1 видно, что число перестановок равное $P_n=n!$ для произвольного n можно представить в виде

$$P_n=n!=(n-1)!\cdot n, \qquad (2)$$

где n – порядок факториального множества, а $(n-1)!$ – мощность или количество элементов предыдущего факториального множества.

Обычно все упоминания о перестановках заканчиваются определением их количества, но проблема возникает тогда, когда мы начинаем делать попытки пронумеровать комбинации, входящие в факториальные множества или выбрать конкретную перестановку из данного множества. Решение этой задачи представляет интерес для многих практических задач теории защиты информации [2–4].

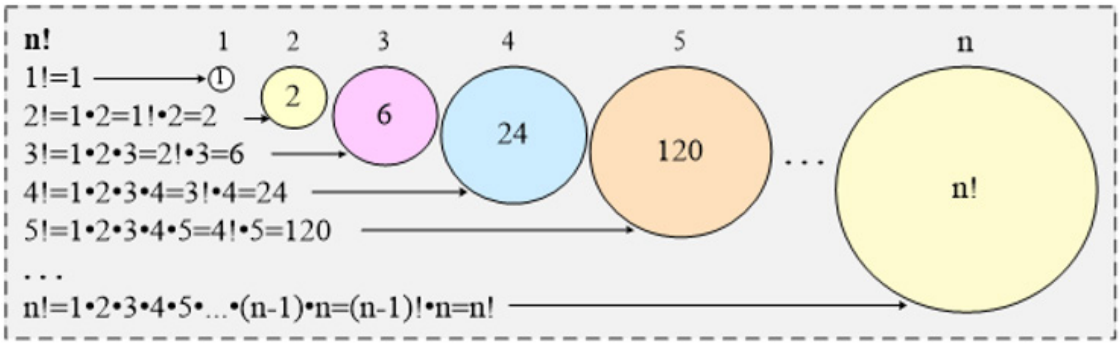

Рис. 1. Ряд факториальных множеств

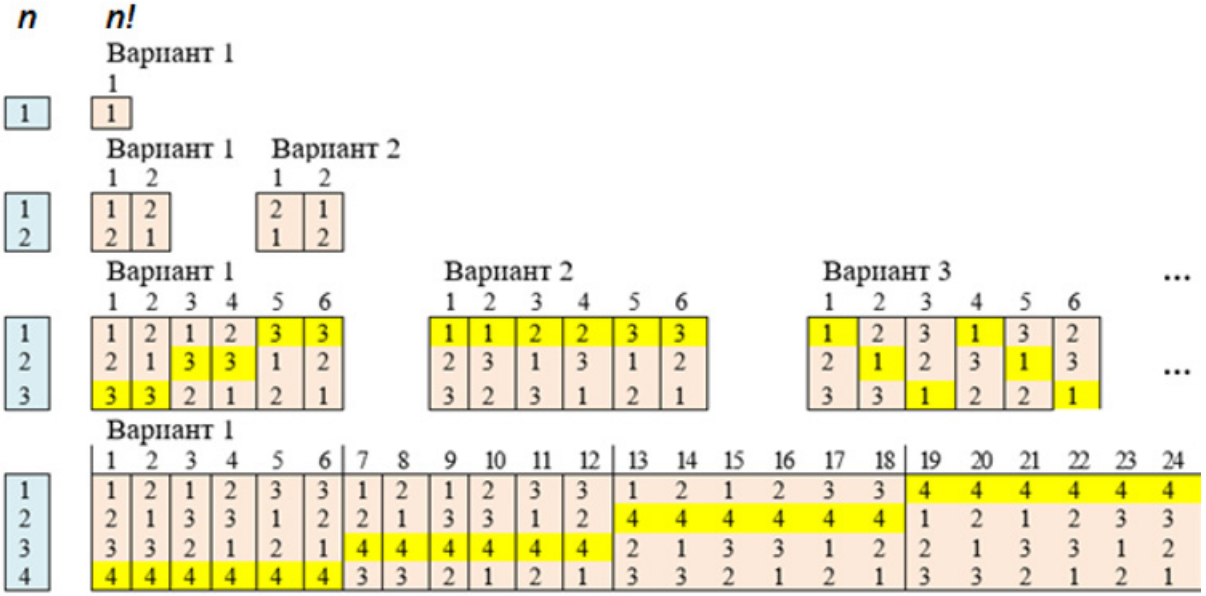

Рис. 2. Примеры вариантов перестановок для n равных 1, 2, 3 и 4

Варианты перестановок чаще всего задаются в виде таблиц. Этот способ широко описан в литературе, но он удобен для задания только конкретных перестановок в конкретных факториальных множествах и для малых значений n из всего многообразия перестановок [2–4]. Приведем примеры вариантов перестановок для n равных 1, 2, 3 и 4 (рис. 2).

Для $n=1$ существует только 1 вариант (отражение единицы самой в себя), для $n=2$ – 2 варианта, для $n=3$ – 6 вариантов, для $n=4$ – 24 варианта перестановок и т. д.

Количество вариантов перестановок известно, но после процесса нумерации вариантов появляются вопросы: где точка отсчета, какой из этих вариантов считать первым, какой вторым и так далее, ведь нет определенных правил нумерации перестановок и каждый вправе предложить свой вариант.

Для $n=2$ количество перестановок равно $2!=2$, количество вариантов их нумерации равно $(2!)!=2!=2$. Для $n=3$ количество перестановок равно $3!=6$, а количество вариантов их нумерации равно $(3!)!=6!=24$. Для $n=4$ количество перестановок равно $4!=24$, а количество вариантов их нумерации уже равно $(4!)!=24!=620448401733239439360000$. Для $n\geq 5$ количество вариантов нумерации перестановок становится практически нереальным.

В общем случае количество вариантов нумерации перестановок $\boldsymbol{Np}$ для факториальных множеств равно

$$\boldsymbol{Np}=(\boldsymbol{n}!)!. \qquad (3)$$

Отсюда можно сделать вывод, что система нумерации перестановок для практического применения должна быть однозначной и реально воспроизводимой.

АНАЛИЗ И СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ ФАКТОРИАЛЬНЫХ МНОЖЕСТВ

Введем ряд обозначений для факториальных множеств (табл.1).

Предыдущее множество – это множество, непосредственно предшествующее некоторому множеству. Последующее множество – это множество, непосредственно следующее за некоторым множеством. В соответствии с определениями множество Φ_3 является последующим для множества Φ_2 и предыдущим для множества Φ_4.

Анализ ряда факториальных множеств показывает, что:

1) количество перестановок для $n_i!$ при увеличении n_i $(i=1,\ldots,n)$ образует последовательность факториальных множеств Φ_i $(i=1,\ldots,n)$;

2) мощность факториального множества Φ_i, количество входящих в него элементов, равна $n_i!$

$$P_{\Phi_i} = n_i!; \qquad (4)$$

3) количество факториальных множеств Φ_i ограничено снизу $n_i = 1$ (Φ_1) и сверху максимальным значением $n_i = n_{\max}$

$$N_{\Phi_i} = n_i,\ (i=1,\ldots,n_{\max}); \qquad (5)$$

4) каждое предыдущее множество в последовательности факториальных множеств является подмножеством последующего множества последовательности факториальных множеств;

5) количество предыдущих множеств $\Phi_{(n_i-1)}$, входящих в последующее множество, равно порядку последующего множества Φ_{n_i}

$$N_{\Phi_{(ni-1)}} = P_{\Phi_i} / n = n. \qquad (6)$$

Следствием последнего определения является то, что любое число X, принадлежащее последующему множеству можно представить в виде количества целых частей предыдущего множества и остатка от их деления

$$\frac{X}{(n_i-1)!} = a_i + b_i, \qquad (7)$$

где a_i – целая часть от деления $X/(n_i-1)!$, b_i – остаток от деления $X/(n_i-1)!$.

Например, возьмем факториальное множество Φ_5, для него $n=5$, $n!=120$, $(n-1)!=24$. Десятичное число $115 \in \Phi_5$. Тогда $115/24 = 24\cdot 4+19$.

Далее берется остаток от деления и процесс вычисления целых частей и остатков продолжается для всех предыдущих множеств: $19/6 = 6\cdot 3+1$, $1/2 = 0+1$. В результате мы получим образ десятичного числа 115 для факториального множества Φ_5.

Обратные преобразования выполняются в следующем виде

$$X = 24\cdot 4+6\cdot 3+0\cdot 2+1 = 96+18+0+1 = 115.$$

Запись некоторого числа в позиционной системе счисления можно представить в следующем виде

$$f(x) = \alpha_n x^n + \cdots + \alpha_1 x^1 + \alpha_0 x^0, \qquad (8)$$

где x – основание системы счисления, n – соответствует номеру позиции, совпадающей со степенью x, α_i – коэффициенты, значения которых зависят от системы счисления. Для десятичной системы счисления $\alpha_i \in \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$, для двоичной – $\alpha_i \in \{0,1\}$, $i=0,\ldots n$.

Таблица 1

Обозначения для факториальных множеств

Факториальные множества:								
– порядок множества	1	2	3	4	…	$n-2$	$n-1$	n
– обозначение множества	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	…	Φ_{n-2}	Φ_{n-1}	Φ_n
– мощность (количество элементов) множества	1	2	6	24		$(n-2)!$	$(n-1)!$	$n!$
– мощность (количество элементов) предыдущего множества	–	1	$(3-1)!$	$(4-1)!$		$(n-3)!$	$(n-2)!$	$(n-1)!$

Анализ ряда факториальных множеств показывает, что его систему счисления можно представить в позиционном виде, т. е. система счисления факториальных множеств является позиционной.

$$X = \alpha_n n! + \alpha_{n-1}(n-1)! + \alpha_{n-2}(n-2)! + \\ + \cdots + \alpha_2 2! + \alpha_1, \quad (9)$$

где α_n принимает значения из диапазона от 0 до $n-1$.

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ И СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ ФАКТОРИАЛЬНЫХ МНОЖЕСТВ

Опираясь на приведенные результаты, можно установить взаимно однозначное соответствие между десятичными числами и различными комбинациями ряда факториальных множеств. Все преобразования многочленов выполняются над некоторым конечным полем [5], но ограничимся для данного изложения понятием чисел в позиционных системах счисления.

Для этого возьмем за основу алгоритм преобразования чисел из десятичной системы счисления в двоичную. Но в качестве делителей выберем не постоянное значение системы счисления, а мощности факториальных множеств. Для каждого порядка факториального множества это будут мощности предыдущего факториального множества (см. табл. 1). Рассмотрим ряд примеров (рис. 3).

Образы десятичных чисел в факториальной системе счисления получаются следующими:

114 → 0034, 59 → 1212, 37 → 1021, 111 → 1124, 17 → 1220 и 8 → 0110.

Результаты дальнейших вычислений приведены в табл. 2.

Такой порядок записи образов в табл. 2 принят для удобства увеличения размерности таблицы при увеличении n. В принципе его можно легко изменить и привести в соответствие с порядком размещения элементов в десятичной системе счисления, т. е. не слева направо, а справа налево. Суть преобразований от этого не изменится.

Исходя из рис. 1 и 2 ожидалось, что факториальные множества являются независимыми и не пересекаются, что усложняло бы сквозную нумерацию их элементов. Результаты анализа табл. 2 показывают, что на самом деле каждое предыдущее факториальное множество является начальным подмножеством последующего факториального множества, т. е. их можно изобразить не виде, приведенном на рис.1, а в любом из видов а, б, или с приведенных на рис. 4. (Таблица 2 построена по варианту с).

Полученные результаты обеспечивают однозначность и обратимость вычислений.

Приведем варианты преобразования чисел из факториальной системы счисления в десятичную для чисел 0034, 1212, 1021, 1124, 1220 и 0110 в факториальной системе счисления:

1	1	4	2	4	(4!)		5	9	24	(4!)		3	7	2	4	(4!)	
9	6	4		→ 4			4	8	2		→ 2	2	4	1		→ 1	
1	8	6	(3!)				1	1	6	(3!)		1	3	6	(3!)		
1	8	3		→ 3				6	1		→ 1	1	2	2		→ 2	
	0	2	(2!)					5	2	(2!)			1	2	(2!)		
	0	0		→ 0				4	2		→ 2		0	0		→ 0	
	0			→ 0				1			→ 1		1			→ 1	

1	1	1	2	4	(4!)		1	7	24	(4!)			8	2	4	(4!)	
9	6	4		→ 4			0	0	0		→ 0	0	0			→ 0	
1	5	6	(3!)				1	7	6	(3!)			8	6	(3!)		
1	2	2		→ 2			1	2	2		→ 2		6	1		→ 1	
	3	2	(2!)					5	2	(2!)			2	2	(2!)		
	2	1		→ 1				4	2		→ 2		2	1		→ 1	
	1			→ 1				1			→ 1		0			→ 0	

Рис. 3. Примеры порядка факториальных множеств

Таблица 2

Таблица соответствия десятичных чисел и образов факториальных множеств для n от 1 до 5

n	1	2	3	4	5
n!	1	2	6	24	120

0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	1	1	0	0	0
4	0	2	0	0	0
5	1	2	0	0	0
6	0	0	1	0	0
7	1	0	1	0	0
8	0	1	1	0	0
9	1	1	1	0	0
10	0	2	1	0	0
11	1	2	1	0	0
12	0	0	2	0	0
13	1	0	2	0	0
14	0	1	2	0	0
15	1	1	2	0	0
16	0	2	2	0	0
17	1	2	2	0	0
18	0	0	3	0	0
19	1	0	3	0	0
20	0	1	3	0	0
21	1	1	3	0	0
22	0	2	3	0	0
23	1	2	3	0	0

24	0	0	0	1	0
25	1	0	0	1	0
26	0	1	0	1	0
27	1	1	0	1	0
28	0	2	0	1	0
29	1	2	0	1	0
30	0	0	1	1	0
31	1	0	1	1	0
32	0	1	1	1	0
33	1	1	1	1	0
34	0	2	1	1	0
35	1	2	1	1	0
36	0	0	2	1	0
37	1	0	2	1	0
38	0	1	2	1	0
39	1	1	2	1	0
40	0	2	2	1	0
41	1	2	2	1	0
42	0	0	3	1	0
43	1	0	3	1	0
44	0	1	3	1	0
45	1	1	3	1	0
46	0	2	3	1	0
47	1	2	3	1	0

48	0	0	0	2	0
49	1	0	0	2	0
50	0	1	0	2	0
51	1	1	0	2	0
52	0	2	0	2	0
53	1	2	0	2	0
54	0	0	1	2	0
55	1	0	1	2	0
56	0	1	1	2	0
57	1	1	1	2	0
58	0	2	1	2	0
59	1	2	1	2	0
60	0	0	2	2	0
61	1	0	2	2	0
62	0	1	2	2	0
63	1	1	2	2	0
64	0	2	2	2	0
65	1	2	2	2	0
66	0	0	3	2	0
67	1	0	3	2	0
68	0	1	3	2	0
69	1	1	3	2	0
70	0	2	3	2	0
71	1	2	3	2	0

72	0	0	0	3	0
73	1	0	0	3	0
74	0	1	0	3	0
75	1	1	0	3	0
76	0	2	0	3	0
77	1	2	0	3	0
78	0	0	1	3	0
79	1	0	1	3	0
80	0	1	1	3	0
81	1	1	1	3	0
82	0	2	1	3	0
83	1	2	1	3	0
84	0	0	2	3	0
85	1	0	2	3	0
86	0	1	2	3	0
87	1	1	2	3	0
88	0	2	2	3	0
89	1	2	2	3	0
90	0	0	3	3	0
91	1	0	3	3	0
92	0	1	3	3	0
93	1	1	3	3	0
94	0	2	3	3	0
95	1	2	3	3	0

96	0	0	0	4	0
97	1	0	0	4	0
98	0	1	0	4	0
99	1	1	0	4	0
100	0	2	0	4	0
101	1	2	0	4	0
102	0	0	1	4	0
103	1	0	1	4	0
104	0	1	1	4	0
105	1	1	1	4	0
106	0	2	1	4	0
107	1	2	1	4	0
108	0	0	2	4	0
109	1	0	2	4	0
110	0	1	2	4	0
111	1	1	2	4	0
112	0	2	2	4	0
113	1	2	2	4	0
114	0	0	3	4	0
115	1	0	3	4	0
116	0	1	3	4	0
117	1	1	3	4	0
118	0	2	3	4	0
119	1	2	3	4	0

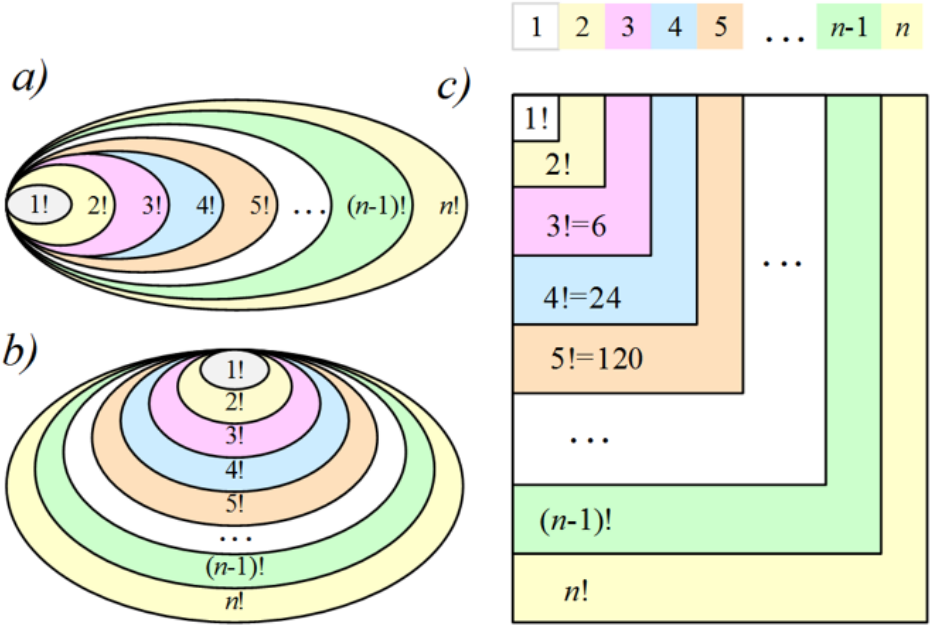

Рис. 4. Варианты изображения факториальных множеств

$$0034 = 0\cdot 1 + 0\cdot 2 + 3\cdot 6 + 4\cdot 24 = 0 + 0 + 18 + 96 = 114$$

$$1212 = 1\cdot 1 + 2\cdot 2 + 1\cdot 6 + 2\cdot 24 = 1 + 4 + 6 + 48 = 59$$

$$1021 = 1\cdot 1 + 0\cdot 2 + 2\cdot 6 + 1\cdot 24 = 1 + 0 + 12 + 24 = 37$$

$$1124 = 1\cdot 1 + 1\cdot 2 + 2\cdot 6 + 4\cdot 24 = 1 + 2 + 12 + 96 = 111$$

$$0110 = 0\cdot 1 + 1\cdot 2 + 1\cdot 6 + 0\cdot 24 = 0 + 2 + 6 + 0 = 8.$$

Они полностью соответствуют результатам расчета, приведенным в табл. 2 и примерам преобразования чисел из десятичной системы счисления в систему счисления факториальных множеств. Результаты взаимного преобразования первых 24 чисел для рассмотренных систем счисления приведены в табл. 3.

Вместо десятичной системы счисления можно выбрать любую другую, например двоичную, восьмеричную или шестнадцатеричную, что будет удобнее при реализации данных алгоритмов на ЭВМ.

Таблица 3

Результаты взаимного преобразования первых 24 чисел для систем счисления

n	1	2	3	4	5
$n!$	1	2	6	24	120
$(n\text{-}1)!$	1	2	6	24	
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	1	1	0	0	0
4	0	2	0	0	0
5	1	2	0	0	0
6	0	0	1	0	0
7	1	0	1	0	0
8	0	1	1	0	0
9	1	1	1	0	0
10	0	2	1	0	0
11	1	2	1	0	0
12	0	0	2	0	0
13	1	0	2	0	0
14	0	1	2	0	0
15	1	1	2	0	0
16	0	2	2	0	0
17	1	2	2	0	0
18	0	0	3	0	0
19	1	0	3	0	0
20	0	1	3	0	0
21	1	1	3	0	0
22	0	2	3	0	0
23	1	2	3	0	0

n	1	2	3	4	5		
$n!$	1	2	6	24	120		
$(n\text{-}1)!$		1	2	6	24		
0	0	0	0	0	0	$\sum=$	0
1	1	0	0	0	0	$\sum=$	1
2	0	2	0	0	0	$\sum=$	2
3	1	2	0	0	0	$\sum=$	3
4	0	4	0	0	0	$\sum=$	4
5	1	4	0	0	0	$\sum=$	5
6	0	0	6	0	0	$\sum=$	6
7	1	0	6	0	0	$\sum=$	7
8	0	2	6	0	0	$\sum=$	8
9	1	2	6	0	0	$\sum=$	9
10	0	4	6	0	0	$\sum=$	10
11	1	4	6	0	0	$\sum=$	11
12	0	0	12	0	0	$\sum=$	12
13	1	0	12	0	0	$\sum=$	13
14	0	2	12	0	0	$\sum=$	14
15	1	2	12	0	0	$\sum=$	15
16	0	4	12	0	0	$\sum=$	16
17	1	4	12	0	0	$\sum=$	17
18	0	0	18	0	0	$\sum=$	18
19	1	0	18	0	0	$\sum=$	19
20	0	2	18	0	0	$\sum=$	20
21	1	2	18	0	0	$\sum=$	21
22	0	4	18	0	0	$\sum=$	22
23	1	4	18	0	0	$\sum=$	23

Табл. 2 и 3 легко расширить до любых значений, не проводя реальных вычислений, а проведя просто их визуальный структурный анализ.

СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ ФАКТОРИАЛЬНЫХ МНОЖЕСТВ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПЕРЕСТАНОВОК

Рассмотрим вариант перестановки на примере перестановки 4-х символов S_1, S_2, S_3 и S_4 (рис. 5). Один из вариантов реализации перестановки заключается в следующем. Символ S_1 можно переставить 4 способами, что соответствует его преобразованию в один из символов E_1, E_2 E_3 или E_4. Выбранный символ S_2 исключается из рассмотрения. Далее символ S_2 можно переставить 3 оставшимися способами, символ S_3 можно переставить 2 оставшимися способами и наконец, для символа S_4 останется только 1 способ.

В результате количество перестановок будет равно $4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$. При $n = 4$ $n! = 24$.

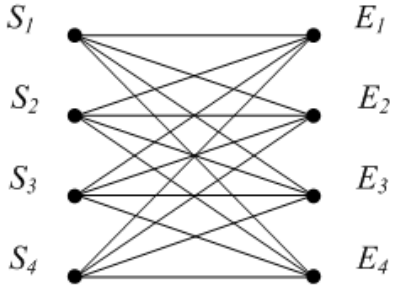

Рис. 5. Пример перестановки 4-х символов

Данный алгоритм можно применять для любого значения n. Задать его, как было отмечено ранее, можно с помощью таблиц соответствия, в которых определенному входному значению $\{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ соответствует выходное значение $\{E_1, E_2, E_3, E_4\}$.

Вместо этого в алгоритме предлагается использовать величины, соответствующие циклическому сдвигу элементов ряда факториальных множеств полученные нами в табл. 2. Это кажется неожиданным, но образы элементов ряда факториальных множеств, а именно их числовые значения, соответствуют количеству циклических сдвигов определенных элементов ряда факториальных множеств.

Поясним это на примерах для десятичных чисел 116 и 17 (рис. 6).

Полученный образ 0134 десятичного числа 116 для $n = 5$ и множества Ф5 действительно соответствует образу 01340, приведенному в табл. 2. (0, как это будет показано далее, можно не учитывать для $n = 5$).

Расчет для десятичного числа 17 выполнен в двух вариантах: для множества Φ_4 $(n = 4,)$ и для множества Φ_5 $(n = 5,)$. Расчет совершенно одинаков. Увеличение n приводит к тому, что старшие разряды образов равны нулю, т. е. положения разрядов в перестановке, начиная с 5-го, не меняются. Для числа 116 этот результат получается, начиная с $n = 6$.

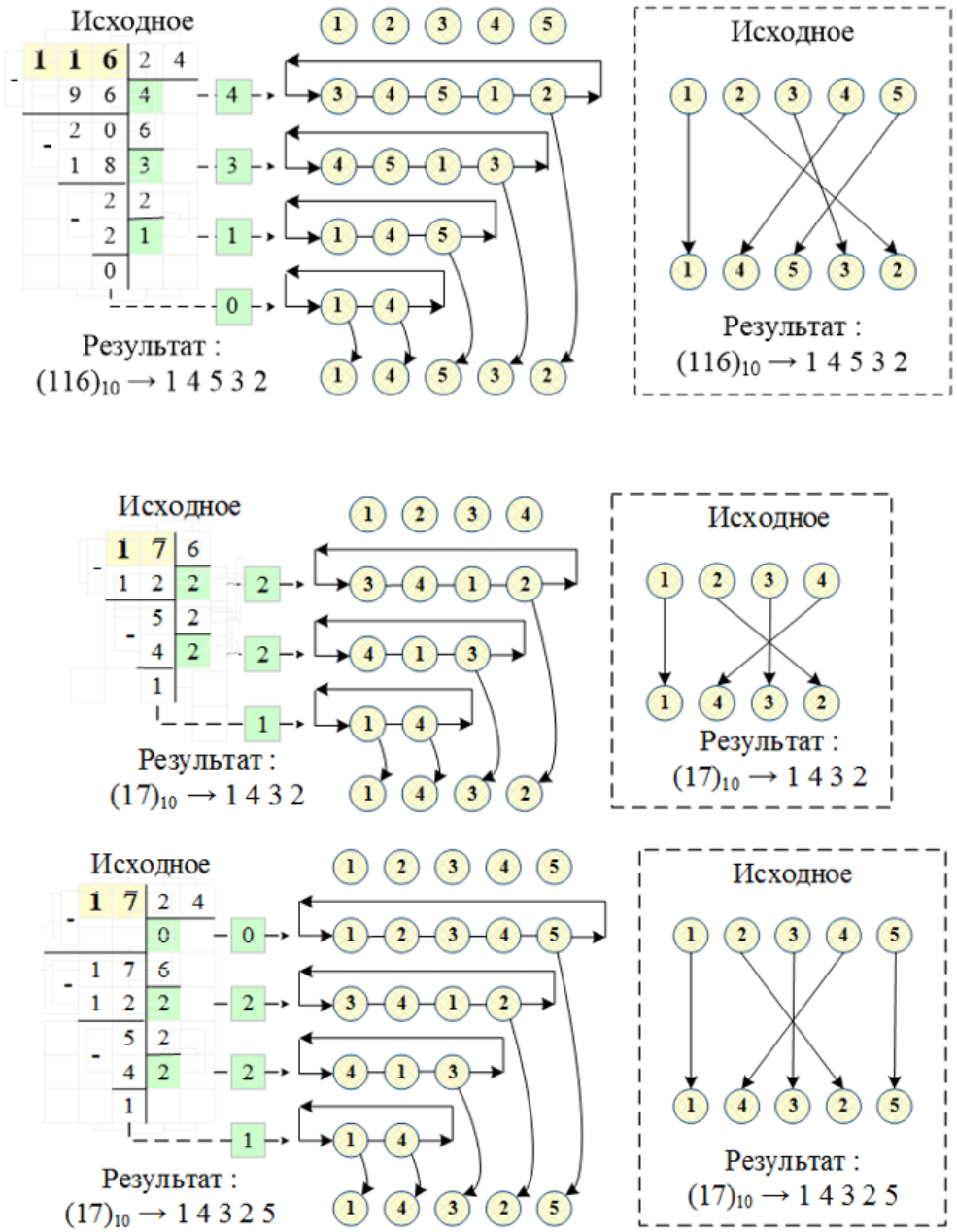

Рис. 6. Способ преобразования десятичных чисел в конкретные перестановки на примере чисел 116 и 17

ВЫВОДЫ

В результате проведенных рассуждений авторами предложена система счисления ряда факториальных множеств, представлены ее основные обозначения и определения, способы преобразования чисел из десятичной системы счисления в систему счисления ряда факториальных множеств и обратно, обеспечивающие обратимое и взаимно однозначное преобразование и нумерацию элементов факториальных множеств любой размерности. Предложен способ преобразования образов ряда факториальных множеств в конкретные перестановки, имеющий большое значение для теории защиты информации и криптографии. Поток или конкретные числовые значения в десятичной (двоичной и других) системе счисления можно использовать в качестве ключа в любой информационной системе, использующей законы перестановки или даже подстановки, если они содержат функции подстановки, аналогичные блокам подстановки криптографического алгоритма ЛЮЦИФЕР фирмы IBM [2, 3, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Выгодский М. Я.* Справочник по элементарной математике. – Изд. 27-е, испр. – М. : Наука, 1986. – 320 с.

2. *Мартынов А. П., Фомченко В. Н.* Криптография и электроника / под ред. А.И. Астайкина. – Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2006. – 452 с.

3. *Мартынов А. П., Николаев Д. Б., Седаков А. В., Фомченко В. Н.* Современные направления развития симметричных криптографических систем / под ред. В. Н. Фомченко.– Саров : НИЯУ МИФИ СарФТИ, 2010. – 160 с.

4. *Грибунин В. Г., Костюков В. Е., Мартынов А. П., Николаев Д. Б., Фомченко В. Н.* Современные методы обеспечения безопасности информации в атомной энергетике: Монография / под ред. А. И. Астайкина. – Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2014. – 636 с.

5. *Мартынова И. А., Машин И. Г., Фомченко В. Н.* Введение в теорию поля и ее приложения: Монография. – Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2014. – 108 с.

6. *Мартынова И. А.* Использование основных элементов построения криптоалгоритма «Люцифер» для изучения методов криптоанализа. XXVII межрегиональная научно-техническая конференция «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». – Серпухов : СВИ РВ, 2008.

Мартынов Александр Петрович – д-р техн. наук, профессор, начальник научно-исследовательского отдела ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики».
Тел.: 89159359917
E-mail: svema100@yandex.ru

Мартынова Инна Александровна – инженер-исследователь ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики» им. Н. Л. Духова, аспирант МФТИ (ГУ).
Тел.: 89159359917
E-mail: martina1204@yandex.ru

Martynov Alexander Petrovich – Doctor of Technical Sciencies, the professor, the chief of research department Federal state unitary enterprise «Russian federal nuclear center – All-Russia scientific research institute of experimental physics».
Tel.: 89159359917.
E-mail: svema100@yandex.ru

Martynova Inna Aleksandrovna – engineer-researcher Federal state unitary enterprise «All-Russia scientific research institute of automatics» of N. L. Duhova, post-graduate student MFTI (GU).
Tel.: 89159359917
E-mail: martina1204@yandex.ru