

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии сделана попытка объединить исследования двух ветвей двоичных динамических систем устройств дискретной автоматики под «одной обложкой».

В современной теории ДДС ветвь линейных двоичных динамических систем и ветвь двоичных динамических систем, построенных в одной из автоматных логик, обычно рассматриваются порознь. Совместное рассмотрение линейной и автоматной версий двоичных динамических систем привело авторов к необходимости введения третьего класса ДДС, объединяющих возможности линейных и автоматных версий этих систем, названного авторами гибридными двоичными динамическими системами. Следует ожидать, что класс гибридных ДДС в ближайшее время обнаружит дополнительные интересные возможности и поставит новые проблемы, с результатами разработок которых авторы обязательно познакомят научную общественность.

**Определение П1.1 (ОП1.1).** *Прямым D-преобразованием  $F(d)$  двоичной последовательности  $f(k)$ , где  $k$  – дискретное время, выраженное в числе тактов длительности  $\Delta t$ , над простым полем Галуа  $GF(p) = \{0, 1, 2, \dots, p-1\}$ , где  $p = 2$  называется бесконечная сумма*

$$F(d) = \mathbf{D}\{f(k)\} = \sum_{k=0}^{\infty} f(k)d^k, \quad (\text{П1.1})$$

при условии, что она сходится.  $\square$

Функция  $F(d)$  называется **D-образом** двоичной последовательности  $f(k)$ .

**Определение П1.2 (ОП1.2).** *Обратным D-преобразованием  $\mathbf{D}^{-1}\{F(d)\}$  D-образа  $F(d)$  двоичной последовательности  $f(k)$  называется преобразование, позволяющее по D-образу  $F(d)$  двоичной последовательности  $f(k)$  восстановить исходную последовательность  $f(k)$  в силу соотношения*

$$\mathbf{D}^{-1}\{F(d)\} = f(k). \quad \square \quad (\text{П1.2})$$

Последовательность  $f(k)$  именуется оригиналом D-преобразования. Таким образом  $f(k)$  и  $F(d)$  представляет собой взаимные D-трансформанты.

Канонически сложившегося аналитического обратного D-преобразования  $\mathbf{D}^{-1}\{F(d)\}$  пока не существует, но имеются способы их вычисления, которые опираются на определение прямого D-преобразования. Для иллюстрации этих способов запишем (П1.1) в развернутой форме

$$F(d) = f(0) + f(1)d + f(2)d^2 + f(3)d^3 + \dots + f(k)d^k + \dots \quad (\text{П1.3})$$

**Первый способ** вычисления обратного D-преобразования, записываемого в форме

$$\mathbf{D}^{-1}\{F(d)\} = [f(0) \mid f(1)d \mid f(2)d^2 \mid \dots \mid f(k)d^k \mid \dots] = f(k) \quad (\text{П1.4})$$

на основе (П1.3) позволяет с учетом модальной арифметики записать:

$$\left. \begin{aligned}
 f(0) &= \lim_{d \rightarrow 0} F(d); \\
 f(1) &= \lim_{d \rightarrow 0} \frac{F(d) + f(0)}{d}; \\
 f(2) &= \lim_{d \rightarrow 0} \frac{F(d) + f(0) + f(1)d}{d^2}; \\
 \text{М} \\
 f(k) &= \lim_{d \rightarrow 0} \frac{F(d) + \sum_{i=0}^{k-1} f(i)d^i}{d^k}.
 \end{aligned} \right\} \quad (\text{П1.5})$$

**Второй способ** вычисления обратного  $\mathbf{D}$ -преобразования, записываемого в форме (П1.4) на основе (П1.3) позволяет использованием операции дифференцирования по переменной  $d$  записать:

$$\left. \begin{aligned}
 f(0) &= \lim_{d \rightarrow 0} F(d); \\
 f(1) &= \lim_{d \rightarrow 0} \frac{\partial F(d)}{\partial d}; \\
 f(2) &= \lim_{d \rightarrow 0} \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 F(d)}{\partial d^2}; \\
 \text{М} \\
 f(k) &= \lim_{d \rightarrow 0} \frac{1}{k!} \frac{\partial^k F(d)}{\partial d^k}.
 \end{aligned} \right\} \quad (\text{П1.6})$$

**Третий способ** вычисления обратного  $\mathbf{D}$ -преобразования для случая, когда  $F(d)$  представим в виде отношения двух модулярных многочленов, записанных по степеням переменной  $d$ ,

$$F(d) = \frac{M(d)}{N(d)} = \frac{b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3 + \text{К} + b_\lambda d^\lambda}{a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^3 + \text{К} + a_n d^n} \quad (\text{П1.7})$$

позволяет путем деления ММ «уголком» с учетом модулярной (по  $\text{mod } 2$ ) арифметики

$$\frac{b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3d^3 + \mathbf{K} + b_\lambda d^\lambda}{a_0 + a_1d + a_2d^2 + a_3d^3 + \mathbf{K} + a_n d^n} \left| \frac{a_0 + a_1d + a_2d^2 + a_3d^3 + \mathbf{K} + a_n d^n}{\frac{b_0}{a_0} + \frac{a_1 + b_1}{a_0}d + \frac{a_1(a_1 + b_1) + (a_2 + b_2)}{a_0^2}d^2 + \mathbf{K}} \right.$$


---


$$\frac{(a_1 + b_1)d + (a_2 + b_2)d^2 + (a_3 + b_3)d^3 + \mathbf{K}}{\frac{a_0}{a_0}(a_1 + b_1)d + \frac{a_1}{a_0}(a_1 + b_1)d^2 + \frac{a_2}{a_0}(a_1 + b_1)d^3 + \mathbf{K}}$$


---


$$\left( \frac{a_1}{a_0}(a_1 + b_1) + (a_2 + b_2) \right) d^2 + \left( \frac{a_2}{a_0}(a_1 + b_1) + (a_3 + b_3) \right) d^3 + \mathbf{K} ,$$

для двоичной последовательности записать

$$f(k): f(0) = \frac{b_0}{a_0}, f(1) = \frac{a_1 + b_1}{a_0},$$

$$f(2) = \frac{a_1(a_1 + b_1) + (a_2 + b_2)}{a_0^2}, f(3) = \mathbf{K} \quad (\text{П1.8})$$

Рассмотрим теперь основные свойства прямого  $\mathbf{D}$ -преобразования.

**Свойство П1.1 (СП1.1).** *Прямое  $\mathbf{D}$ -преобразование является линейным так, что выполняются условия:*

$$1. \mathbf{D}\{f(k) + g(k)\} = \mathbf{D}\{f(k)\} + \mathbf{D}\{g(k)\} = F(d) + G(d) \quad (\text{П1.9})$$

$$2. \mathbf{D}\{\alpha f(k)\} = \alpha \mathbf{D}\{f(k)\} = \alpha F(d), \text{ где } \alpha \in GF(p)|_{p=2}. \square \quad (\text{П1.10})$$

Свойство СП1.1 линейности  $\mathbf{D}$ -преобразования строится на линейности операции суммирования в (П1.1).

**Свойство П1.2 (СП1.2).** *(Свойство сдвига в области действительной переменной  $k$ ) Пусть  $\mathbf{D}\{f(k)\} = F(d)$ , тогда*

$$\mathbf{D}\{f(k+m)\} = d^{-m} F(d) + d^{-m} \sum_{i=0}^{m-1} f(i)d^i . \square \quad (\text{П1.11})$$

**Доказательство** справедливости свойства опирается на определение прямого  $\mathbf{D}$ -преобразования смещенной на  $m$  тактов последовательности  $f(k+m)$ , которое в силу (П1.1) позволяет записать

$$\mathbf{D}\{f(k+m)\} = f(m) + f(m+1)d + f(m+2)d^2 + \mathbf{K}$$

$$\mathbf{K} + f(m+k)d^k + \mathbf{K} \quad (\text{П1.12})$$

Если путем умножения с одновременным делением правой части (П1.12) на  $d^m$  и суммирования дважды по  $\text{mod } 2$  линейной комбинации  $\sum_{i=0}^{m-1} f(i)d^i$  обеспечить

равенство индексов  $\lambda$  компонентов  $f(\lambda)$  и степеней мультипликативного члена  $d^\lambda$  в (П1.12), то получим (П1.11). ■

**Свойство П1.3 (СП1.3).** (Свойство изменения масштаба в области переменной  $d$ ). Пусть  $\mathbf{D}\{f(k)\} = F(d)$ , тогда

$$\mathbf{D}\{\alpha^k f(k)\} = F(\alpha d). \quad \square \quad (\text{П1.13})$$

**Доказательство** справедливости свойства строится на непосредственном использовании прямого  $\mathbf{D}$ -преобразования к последовательности  $\alpha^k f(k)$ , которое в силу (П1.1) дает

$$\begin{aligned} \mathbf{D}\{\alpha^k f(k)\} &= \alpha^0 f(0) + \alpha^1 f(1)d + \alpha^2 f(2)d^2 + \mathbf{K} + \alpha^k f(k)d^k + \mathbf{K} = \\ &= f(0) + f(1)(\alpha d) + f(2)(\alpha d)^2 + \mathbf{K} + f(k)(\alpha d)^k + \mathbf{K} = \\ &= F(\alpha d). \quad \blacksquare \end{aligned}$$

Рассмотрим теперь  $\mathbf{D}$ -преобразование типовых двоичных последовательностей.

1. Последовательность

$$f(k) = \delta(k): \quad 1, 0, 0, \mathbf{K}, 0, \mathbf{K} \quad (\text{П1.14})$$

именуемая одиночным импульсом или дискретной  $\delta$ -функцией над простым полем Галуа  $GF(p) \Big|_{p=2}$ . Если к (П1.14) применить (П1.1), то получим

$$\mathbf{D}\{f(k) = \delta(k)\} = F_\delta(d) = 1. \quad \blacksquare \quad (\text{П1.15})$$

2. Последовательность

$$f(k) = I(k): \quad 1, 1, 1, \mathbf{K}, 1, \mathbf{K} \quad (\text{П1.16})$$

именуется унитарным кодом или единичной последовательностью. Если к (П1.16) применить (П1.1), то получим

$$\mathbf{D}\{f(k) = I(k)\} = F(d) = 1 + d + d^2 + \mathbf{K} + d^k + \mathbf{K} \quad (\text{П1.17})$$

Если к (П1.17) применить формулу суммы членов бесконечной геометрической прогрессии с показателем  $d$  с учетом специфики модулярной арифметики по  $\text{mod } 2$  для (П1.17) можно записать

$$\mathbf{D}\{f(k) = I(k)\} = F(d) = \frac{1}{1+d}. \quad \blacksquare \quad (\text{П1.18})$$

3. Периодическая последовательность с целочисленным периодом  $T$

$$f(k) = f(k + T):$$

$$f(0), f(1), f(2), \mathbf{K}, f(T-1), f(0), f(1), f(2), \mathbf{K}, f(T-1), \quad (\text{П1.19})$$

$$f(0), f(1), f(2), \mathbf{K}, f(T-1), f(0), f(1), f(2), \mathbf{K}, f(T-1), \mathbf{K}$$

Если к периодической последовательности  $f(k) = f(k + T)$ , записанной в форме (П1.19), применить прямое  $\mathbf{D}$ -преобразование, то в силу (П1.1) можно записать

$$\begin{aligned}
F(d) &= \mathbf{D}\{f(k) = f(k+T)\} = \\
&= (f(0) + f(1)d + f(2)d^2 + \mathbf{K} + f(T-1)d^{T-1})(1 + d^T + d^{2T} + d^{3T} + \mathbf{K})
\end{aligned}
\tag{П1.20}$$

Если к выражению (П1.20) применить формулу суммы членов геометрической прогрессии с показателем  $d^T$ , то получим для периодической последовательности с учетом специфики модулярной арифметики по  $\text{mod } 2$

$$\begin{aligned}
F(d) &= \mathbf{D}\{f(k+T)\} = \\
&= \frac{f(0) + f(1)d + f(2)d^2 + \mathbf{K} + f(T-1)d^{T-1}}{1 + d^T} \blacksquare
\end{aligned}
\tag{П1.21}$$

Если встает задача преобразования модулярных многочленов над простым полем Галуа  $GF(p)$  при  $p=2$  с привлечением возможностей аппарата  $\mathbf{D}$ -преобразования, то возникает необходимость ввести в рассмотрение прямого  $\mathbf{D}$ -преобразования ММ

$$f(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + a_2x^{n-2} + \mathbf{K} + a_{n-1}x + a_n, \tag{П1.22}$$

где  $a_i \in GF(p)|_{p=2}$ ,  $i = \overline{0, n}$ ; с целью вычисления его образа  $F(d) = \mathbf{D}\{f(x)\}$ . Вычисление  $\mathbf{D}$ -образа ММ  $f(x)$  зависит от того, каким разрядом вперед ММ  $f(x)$  передается в канальной среде: младшим или старшим, в силу чего модулярный многочлен имеет два  $\mathbf{D}$ -образа  $F(d)$ . Способы вычисления  $\mathbf{D}$ -образов ММ  $f(x)$  (П1.22) зададим с помощью утверждений.

**Утверждение П1.1 (УП1.1).**  $\mathbf{D}$ -образ  $F(d)$  модулярного многочлена  $f(x)$  (П1.22) при его передаче младшим разрядом вперед задается соотношением

$$\begin{aligned}
F(d) &= \mathbf{D}\{f(x)\} = f(x)|_{x=d} = \\
&= a_n + a_{n-1}d + a_{n-2}d^2 + \mathbf{K} + a_1d^{n-1} + a_0d^n. \quad \square
\end{aligned} \tag{П1.23}$$

**Доказательство** утверждения строится на формировании последовательности  $f(k)$  из коэффициентов ММ  $f(x)$  с учетом его передачи младшим разрядом вперед

$$f(k): \quad a_n, a_{n-1}, a_{n-2}, \mathbf{K}, a_1, a_0, \theta, \theta, \theta, \mathbf{K} \tag{П1.24}$$

с последующим применением к (П1.24)  $\mathbf{D}$ -преобразования (П1.1). ■

**Утверждение П1.2 (УП1.2).**  $\mathbf{D}$ -образ  $F(d)$  модулярного многочлена  $f(x)$  (П1.22) при его передаче старшим разрядом вперед задается соотношением

$$\begin{aligned}
F(d) &= \mathbf{D}\{f(x)\} = \tilde{f}(x^{-1})|_{x^{-1}=d} = \\
&= a_0 + a_1d + a_2d^2 + \mathbf{K} + a_{n-1}d^{n-1} + a_nd^n, \quad \square
\end{aligned} \tag{П1.25}$$

где  $\tilde{f}(x^{-1})$  – полином по отрицательным степеням  $x^{-1}$  задается в силу представления

$$\begin{aligned}
f(x) &= x^n \tilde{f}(x^{-1}) = \\
&= x^n (a_0 + a_1x^{-1} + a_2x^{-2} + \mathbf{K} + a_{n-1}x^{-(n-1)} + a_nd^{-n}) \quad \square
\end{aligned} \tag{П1.26}$$

**Доказательство** утверждения строится на формировании последовательности  $f(k)$  из коэффициентов ММ  $f(x)$  с учетом его передачи старшим разрядом вперед

$$f(k): \quad a_0, a_1, a_2, \mathbf{K}, a_{n-1}, a_n, \theta, \theta, \theta, \mathbf{K} \tag{П1.27}$$

с последующим применением к последовательности (П1.27) прямого  $\mathbf{D}$ -преобразования (П1.1) и констатацией факта совпадения порядка следования коэффициентов  $a_i$  ( $i = \overline{0, n}$ ) в последовательности (П1.27) и в ММ  $\tilde{f}(x^{-1})$  (П1.26). ■

## ЛИТЕРАТУРА

1	Автоматизация проектирования цифровых устройств/ <i>С. И. Баранов, С. А. Майоров, Ю. П. Сахаров, В. А. Селютин.</i> – Л.: Судостроение, 1979.
2	Автоматы//Сборник статей под ред. <i>К.Э. Шеннона и Дж. Маккарти</i> – М.: ИЛ, 1956.
3	<i>Акунов Т.А., Алишеров С., Оморов Р.О., Ушаков А.В.</i> Матричные уравнения в исследовании дискретных процессов над бесконечными и конечными полями. Бишкек: Илим, 1993.
4	<i>Алгебраические методы в теории устройств дискретной автоматики и телемеханики</i> //Труды лаборатории телемеханики кафедры автоматики и телемеханики. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2001.
5	<i>Андреев Ю.Н.</i> Управление конечномерными линейными объектами. М.: Наука, 1976.
6	<i>Арбиб М.</i> Теория автоматов: в кн. <i>Калман Р., Фалб П., Арбиб М.</i> Очерки по математической теории систем. – М.: Мир, 1971.
7	<i>Баев А.П., Салмыгин И.П., Ушаков А.В.</i> Автоматный синтез циклических кодирующих и декодирующих устройств. //Изв. вузов. Приборостроение, 1998. Т.41. №7.
8	<i>Баранов С. И.</i> Синтез микропрограммных автоматов. – Л.: “Энергия”, 1979.
9	<i>Бохман Д., Постхофф Х.</i> Двоичные динамические системы. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
10	<i>Букреев И.Н., Манеуров Б.М., Горячев В.И.</i> Микроэлектронные схемы цифровых автоматов. – М.: Советское радио, 1975.
11	<i>Буханова Г. В.</i> Высоконадежные оперативные запоминающие устройства, тенденции развития//Автоматика и телемеханика. 1993. №2.
12	<i>Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А.</i> Матрицы и вычисления. – М.: Наука, 1984.
13	<i>Гантмахер Ф. Р.</i> Теория матриц. – М.: «Наука», 1967.
14	<i>Гилл А.</i> Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1965.
15	<i>Гилл А.</i> Линейные последовательностные машины. – М.: Наука, 1974.
16	<i>Голуб Дж., Ван Лоун Ч.</i> Матричные вычисления: Пер. с англ. – М.: «Мир», 1999.



17	<i>Горбатов В. А.</i> Фундаментальные основы дискретной автоматики. Информационная математика. – М.: «Наука». Физматлит, 1999.
18	<i>ГОСТ 14422 – 72</i> Системы передачи данных.
19	<i>ГОСТ 17422 – 82</i> Система передачи данных и основные параметры помехоустойчивых циклических кодов.
20	<i>ГОСТ 20687 – 75</i> Коды помехоустойчивые итеративные. Структура кода.
21	<i>ГОСТ 24734 – 81</i> Устройство защиты от ошибок аппаратуры передачи данных. Типы и основные параметры.
22	<i>ГОСТ 26.205-88Е</i> Комплексы и устройства телемеханики.
23	<i>ГОСТ Р МЭК 870-5-101-2001</i> Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 101. Обобщающий стандарт по основным функциям телемеханики.
24	<i>ГОСТ Р МЭК 870-5-104-2004</i> Аппаратура и системы телеуправления. Часть 5-104. Протоколы передачи данных. Доступ к сетям, использующим стандартные профили по МЭК 60870-5-101.
25	<i>Заде Л., Дезоер Ч.</i> Теория линейных систем/Пер. с англ. М.: Наука, 1970.
26	<i>Золотарев В.В., Овечкин Г.В.</i> Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник/Под ред. чл.-кор. РАН Ю.Б. Зубарова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004.
27	<i>Интегральные микросхемы: Справочник / Б.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин, Ю.Н. Смирнов и др.; под ред. Б.В. Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1984.</i>
28	<i>Ирвин Дж., Харль Д.</i> Передача данных в сетях: инженерный подход: Пер. с англ. – СПб.: БХВ–Питер, 2003.
29	<i>Калман Р., Фалб П., Арбиб М.</i> Очерки по математической теории систем. – М.: Мир, 1971.
30	<i>Калужнин Л. А.</i> Введение в общую алгебру. М.: «Наука», 1973.
31	<i>Квакерпаак Х., Сиван Р.</i> Линейные оптимальные системы управления / Пер. с англ. М.: Мир, 1977.
32	<i>Кирюшин А.А., Рассветалова Л.А., Ушаков А.В.</i> Модальное управление в задаче синтеза двоичных динамических систем в логике линейных триггеров//Автоматика и телемеханика, 1993 №8.
33	<i>Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2004.</i>
34	<i>Крутько П.Д.</i> Обратные задачи теории управления. М.: Наука, 1987.
35	<i>Кузовков Н.Т.</i> Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976.
36	<i>Лазарев В. Г., Пийль Е. И.</i> Синтез управляющих автоматов. – М.: Энергия, 1978.
37	<i>Мельников А. А., Рукуйжа Е. В., Ушаков А. В.</i> Использование свойств матриц для обнаружения неустойчивых циклов и неподвижных состояний двоичных динамических систем / Научно-технический вестник СПбГИТМО(ТУ). 2002. Выпуск 6.

38	<i>Мельников А. А., Ушаков А. В.</i> Алгебраические структурные свойства матричных компонентов модельных представлений линейных УДАТ в задаче редуцирования их размерности//Алгебраические методы в теории устройств дискретной автоматики и телемеханики. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2001.
39	<i>Мельников А. А., Ушаков А. В.</i> Устройства дискретной автоматики гарантированной информационной надежности с редуцированным ресурсом помехозащиты.//Изв. вузов. Приборостроение, 2001. Т.44. №2.
40	<i>Никифоров В. О., Ушаков А. В.</i> Управление в условиях неопределенности: чувствительность, адаптация, робастность. СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2002.
41	<i>Оре О.</i> Теория графов. — М.: Наука, 1980.
42	<i>Питерсон У., Уэлдон Э.</i> Коды, исправляющие ошибки. – Пер. с англ. М.: «Мир», 1976.
43	<i>Рассветалова Л. А., Ушаков А. В.</i> Двоичное динамическое наблюдение в задаче помехоустойчивого кодирования. // Автоматика и телемеханика. 1993. №6.
44	<i>Рукуйжа Е.В., Ушаков А.В.</i> Сравнительный анализ матричных и дивидендных представлений процессов кодирования и декодирования в задачах защиты информации // Совр. Технологии: Сборник научных статей / Под. ред. С.А. Козлова и В.О. Никифорова. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2002.
45	<i>Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Гессель М.</i> Самодвойственные дискретные устройства. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2001.
46	<i>Свами М., Тхуласираман К.</i> Графы, сети, алгоритмы. / Пер. с англ. М.: Мир, 1976
47	<i>Селлерс Ф.</i> Методы обнаружения ошибок в работе ЭЦВМ, – М.: «Мир», 1972.
48	<i>Синтез дискретных регуляторов при помощи ЭВМ /</i> В.В. Григорьев, В. Н. Дроздов, В. В. Лаврентьев, А. В. Ушаков. Л.: Машиностроение, 1983.
49	<i>Согомонян Е. С. Слабаков Е.В.</i> Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. – М.: Радио и связь, 1989.
50	<i>Темников Ф. Е., Афонин В. А., Дмитриев В. И.</i> Теоретические основы информационной техники. – М.: Энергия, 1979.
51	<i>Тутевич В. Н.</i> Телемеханика. М.: «Высшая школа», 1985.
52	<i>Уонем М.</i> Линейные многомерные системы: геометрический подход. М.: Наука, 1980.
53	<i>Ушаков А.В.</i> Обобщенное модельное управление. // Изв. вузов. Приборостроение. 2000. т.43. №3.
54	<i>Ушаков А. В.</i> Синтез циклических кодирующих и декодирующих устройств в логике произвольных триггеров//Автоматика и телемеханика. 1997. №11.
55	<i>Фараджев Р. Г.</i> Линейные последовательностные машины. – М.: Сов. радио, 1975.
56	<i>Щербатов Н.С.</i> Достоверность работы цифровых устройств. – М.: Машиностроение, 1989.
57	<i>Hadjicostis C.N.</i> “Nonconcurrent Error Detection and Correction in Fault-

	Tolerant Linear Finite-State Machines”, <i>IEEE Trans. Automat. Contr.</i> , vol.48, no.12, pp.2133–2140, Dec. 2003.
58	Massey J.L. and Sain M.K., “Codes, automata and continuous systems: Explicit interconnections”, <i>IEEE Trans. Automat. Contr.</i> , vol.AC-12, pp.644–650, Dec. 1967.
59	Massey J.L. and Sain M.K., “Inverses of linear sequential circuits”, <i>IEEE Trans. Comp.</i> , vol.C-17, pp.330–337, Apr. 1968.
60	Rosenthal J. “Some interesting problems in systems theory which are of fundamental importance in coding theory”. in <i>Proc. 36 Conf. Decision Control</i> , vol.5, San Diego, CA, 1997, pp. 4574–4579.
61	Rosenthal J. and Marcus B., Eds., <i>Codes, Systems and Graphical Models</i> . ser IMA Volumes in Mathematics and its Applications. New York: Springer-Verlag, 2001, vol.123.
62	Rosenthal J. and Smarandache R., “Maximum distance separable convolutional codes”, <i>Appl. Alg. Eng., Commun. Comput.</i> , vol.10, no1, pp.15–32, 1999.
63	Rosenthal J. and York F.V. “BCH convolutional codes”, <i>IEEE Trans. Inform. Theory</i> , vol.45, pp.1833–1844, Sept.1999.
64	Rosenthal J. , York F.V. and Schumacher J.M. “On the relationship between algebraic systems theory and coding theory: Representations of codes”, in <i>Proc. 34 Conf. Decision Control</i> , vol.3, New Orleans, LA, 1995, pp.3271–3276.
65	Sellers F., Hsio M. Y., Bearson L. W. Analyzing errors with Boolean difference // <i>IEEE Trans. Comp. C-17</i> . 1968. pp. 676–683.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### Автомат

- абстрактный 102
- конечный 57, 102

### Автоматика дискретная 10

### Алгоритм

- автоматного синтеза канонический 102
- по граф-схеме алгоритма 109
- синтеза линейных двоичных динамических систем 19, 30

### Алфавит

- входа 102, 121
- выхода 102, 121
- высокого уровня 102
- состояния 102, 121

### Анализ

- структуры замкнутых циклов 74
- неподвижных состояний 74

### Аппарат

- передаточных функций 13
- селлерсовского дифференцирования 142

### Базис

- Жегалкина 189
- канонический наблюдаемый 31, 32
- управляемый 31, 32

### Блок памяти 24

### Вектор

- входа 23
- выхода 23
- состояния 23, 38, 43, 47, 56

### Вес

- производной булевой функции 145

### Время

- аппаратное 199
- канальное 198

### Вычисление

- производной Селлера булевой функции 143
- степени образующего модулярного многочлена помехозащищенного кода 99, 118

Граф переходов и выходов 106  
Граф-схема алгоритма (ГСА) 11, 101, 109

#### Декодирование

- помехозащитное векторно-матричное 59
  - – дивидендное 93, 99, 199
  - – – укороченных циклических кодов 135, 137, 138
  - – на основе концепции наблюдения состояния канала связи 56
- Деление модулярных многочленов 17  
Дешифратор синдрома ошибки 129, 139  
Достоверность передачи 135

#### Код

- Грея 157
- двоичный 157
- Джонсона 157
- искаженный 51, 59
- помехозащищенный 51, 53, 59, 61, 62, 68
- – укороченный 135
- помехонезащищенный 59, 61, 66, 198
- циклический 54, 57, 66, 69

#### Кодирование

- помехозащитное векторно-матричное 60
- – дивидендное 99, 199
- – – укороченных циклических кодов 135
- – кодов состояния конечного автомата 181
- – на основе концепции наблюдения состояния канала связи 51
- элементами простого поля Галуа  $GF(p)$  102
- элементов алфавитов абстрактного автомата 102

#### Кодопреобразование

- линейное 24
- нелинейное 24

#### Код

- помехи в канале связи 59
- синдрома ошибки 59
- Хэмминга помехозащищенный 20, 104

#### Коды

- линейные 62
- систематические 61
- с полной блоковой систематикой 62, 69
- соседние 103

Концепция подобия 43, 44

#### Критерий

- наблюдаемости линейных двоичных динамических систем 26, 27
- управляемости линейных двоичных динамических систем 26, 27

#### Матрица

- входа 24
- выхода 24
- наблюдаемости 27, 36
- нильпотентная 44, 47, 51
- образующая 53, 60 – 62, 66, 136
- передаточная 15, 28, 34
- проверочная 54, 61, 62, 65, 136
- остатков 69
- принадлежащая показателю 47, 51, 53, 96
- состояния 24, 30, 47
- преобразования подобия 43, 46
- управляемости 25, 26, 40
- Многочлен
  - модулярный 13, 16, 19, 21, 29, 30, 34 – 36, 41, 66
  - – неприводимый 36, 66, 118
  - – образующий 54, 69, 136
  - – помехозащищенного кода 96, 118
  - – принадлежащий показателю 35, 37, 136
  - – характеристический 30, 35, 44, 83

Наблюдаемость линейных двоичных динамических систем 38

Наблюдатель

- состояния регистра канала связи 52

Надежность информационная 180, 181

Нуль-пространство матрицы 63, 68, 80

Опознаватель (синдром) ошибки (искажения) в коде 59 – 61, 64

Ошибка

- исправляемая 62, 182
- обнаруживаемая 63, 182

Памяти элемент 19, 20, 30, 51

Полином (*см. многочлен*)

Последовательность

- кодовая 15, 20, 51
- периодическая 20, 36, 37
- – скремблирующая 164

Проблема заполнения кодового пространства 155

Производная Селлера булевой функции 143

Пространство

- аппаратурное 198 – 200
- кодовое 101
- – вырожденное 156
- – невырожденное 156

Ранг 26, 27  
Расстояние кодовое 73, 99  
Регистр сдвига 47, 51  
Редуцирование 34, 38

Синдром

(см. *опознаватель*) ошибки

Система

- двоичная динамическая 13, 15, 17, 23
- гибридная двоичная динамическая 11, 155
- линейная двоичная динамическая 13, 15, 17, 21, 24, 26, 27, 29, 30
- нелинейная двоичная динамическая 10, 101
- динамическая над бесконечным полем 13, 39
- – над конечным полем 13, 39

Скремблирование 164

Сходимость процессов над двоичным полем 44

Тип триггера 55, 56, 103

Триггер 19, 55, 56, 117

Управляемость системы линейной двоичной динамической 38

Устройство

- дискретной автоматики 10, 11, 17
- кодирующее 51, 117
- декодирующее 54, 76, 117

Функция

- булева возбуждения входа триггера 103, 104
- – формирования выхода 104

Цикл замкнутый 74, 85

Число

- ошибок 73, 99
- проверочных разрядов 66, 73, 135, 136
- синдромов 73, 99

Ядро (см. *нуль-пространство*) матрицы

## ИЗ ИСТОРИИ ЛАБОРАТОРИИ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Лаборатория телемеханики, как проблемное подразделение кафедры систем управления и информатики (до 2001 года кафедры автоматике и телемеханики) Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), организована в ее составе в 1945-м году одновременно с основанием кафедры в структуре факультета *электроприборостроения*, со временем переименованным в *радиотехнический*. Основание кафедры и лаборатории телемеханики связано с именем ее первого заведующего и одновременно первого декана факультета *электроприборостроения* профессора Марка Львовича Цуккермана. На кафедру автоматике и телемеханики (ИТМО), в отличие от существовавших к тому времени кафедр аналогичного профиля в ЛПИ им. М. И. Калинина (ныне СПбГТУ) и ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина) (ныне СПбГЭТУ («ЛЭТИ»)), была возложена задача по подготовке специалистов в области автоматизации и телемеханизации приборостроительной, оптической и оборонной промышленности.

Профессор Цуккерман М. Л. в 1910-м году закончил Санкт-Петербургский государственный политехнический институт им. Петра Великого. В 20-е годы XX в. он организовал в Ленинграде (ныне Санкт-Петербург) отраслевую лабораторию электроизмерений (ОЛИЗ) и был известен в стране как крупный специалист в области телеизмерения. Научные интересы профессора Цуккермана М. Л. и персонала новой кафедры и лаборатории телемеханики на многие годы определили основные направления научной, учебной и методической деятельности лаборатории, проблемным куратором которой профессор Цуккерман М. Л. оставался вплоть до своей кончины в 1959-м году. В этот период основное направление научно-исследовательской работы лаборатории составили задачи автоматизации и телемеханизации измерения и регистрации параметров кораблей во время их ходовых испытаний, выполнявшихся по заданию ВМФ. Учебный процесс лаборатория проводила для студентов специальности *0606 – приборы и устройства автоматике и телемеханики* по программам дисциплин «Телемеханические приборы и устройства» и «Телеизмерение», причем лекции по последней из них читал проф. Цуккерман М. Л., которому ассистировал ассистент Шпаков А. М. Курсы лекций по дисциплине «Телемеханические приборы и устройства» были поставлены и читались доцентом Юргенсоном Р. И. и старшим преподавателем Соколовым В.В., которым в лабораторном практикуме ассистировала выпускница кафедры ассистент Никифорова Л. Т. Основу лабораторного оборудования в это время составляли устройства дистанционного управления тренажеров специального назначения, промышленные устройства релейно-контактной телемеханики типа РВКБ, а также макеты релейно-контактной телемеханики, изготовленные силами сотрудников лаборатории и экспериментально-производственных мастерских (ЭПМ) ИТМО.

С 1959-го года по 1970-й год кафедру возглавляет ученик профессора Цуккермана М. Л., выпускник кафедры автоматике и телемеханики ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина) 1936-го года доцент Танский Е.А. За этот период по разным причинам кафедру покидают Юргенсон Р.



И. и Шпаков А. М., дисциплина «Телеизмерение» входит в качестве содержательного компонента в дисциплину «Телемеханические приборы и устройства», обучение по которой в рамках всех видов учебной деятельности дневного и вечернего образования легло на плечи сотрудников лаборатории старших преподавателей Никифоровой Л.Т. и Соколова В. В. Содержание дисциплины заметным образом модернизируется: в нем появляются разделы по алгебраическому синтезу дискретных устройств телемеханики, использующему возможности булевой алгебры, а также элементы современной теории помехозащитного кодирования дискретной информации при ее передаче. Устанавливаются творческие связи с Ленинградским научно-производственным предприятием «Электропульт», в результате которых в лаборатории телемеханики для нужд учебного процесса появляются образцы телемеханической аппаратуры заводского изготовления типа ТНЧ-2. В рамках научно-технического сотрудничества с НИИЭТУ (г. Ленинград) лаборатория принимает участие в разработке фототелеграфной аппаратуры комплекса "Газета-2". Теоретические исследования в лаборатории в это время сосредоточены на обеспечении помехоустойчивости процесса фазирования фототелеграфной аппаратуры передающего и приемного комплексов комплекса, а также эффективной буферизации передаваемой информации.

В 1970-м году по результатам конкурса заведующим кафедрой становится известный в стране специалист в области автоматизированного электропривода и фотоэлектрических следящих систем выпускник ЛПИ им. М. И. Калинина 1938-го года профессор Сабинин Ю. А., который руководил кафедрой до мая 1990-го года. Происходят изменения в составе сотрудников лаборатории телемеханики, на смену старшему преподавателю Соколову В. В. приходит выпускник кафедры доцент (ныне профессор) Ушаков А. В., позднее состав лаборатории пополняется выпускниками кафедры ассистентом (ныне старшим преподавателем) Салмыгиным И. П. и лаборантом (позднее инженером) Рукуйжей Е. В., а также доцентом Баевым А. П.

В учебном плане специальности **0606 – автоматика и телемеханика** дисциплина «Телемеханические приборы и устройства» получает название «Телемеханика», появляется дисциплина «Теоретические основы кибернетики» (ТОК), в программу которой включается раздел по прикладной теории информации, проблемно ориентированный на теоретические основы канализации информации и кодообразования в задачах телемеханики; по дисциплине вводится **курсовая работа**. В составе лабораторного оборудования появляются отечественные ПЭВМ типа ТЗ-16, ДВК-3М, а к 1986-му году благодаря усилиям и инициативе старшего преподавателя Никифоровой Л. Т. и заведующего кафедрой Сабинина Ю. А. лабораторная база была подвергнута полной модернизации, в результате чего лаборатория телемеханики была оснащена лабораторными макетами типа ЛАТ-01 и ЛАТ-011, разработанными с участием сотрудников лаборатории и изготовленными на предприятии Союзвузприбора. Лабораторная база нового поколения позволила осуществить фронтальный метод проведения лабораторного практикума. Лаборатория установила научные контакты с предприятиями и НИИ телемеханической проблемной ориентации НПО им. Коминтерна и НПО «Дальняя связь» (г. Ленинград), три сотрудника которых Яковлев А. А., Кирюшин А. А. и Рассветалова Л. А. по программе аспирантского обучения выполнили диссертационные исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук по проблематике своих организаций под научным ру-

ководством профессора Ушакова А. В. В рамках хоздоговорных отношений с ОКБ МЭИ (г. Москва) во исполнение Комплексной целевой программы «Излучение» по созданию высокоточной аппаратуры для контроля деформаций металлоконструкций больших полноповоротных радиотелескопов с диаметром раскрыва главного рефлектора 32, 64 и более метров типа ТНА-400 и ТНА-1500 в процессе юстировки перед вводом их в эксплуатацию и в процессе эксплуатации разработана уникальная локальная сеть с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) МС-8201, ППЗ-структур и ПК для комплексных телеизмерения и телесигнализации с целью введения поправок на деформацию элементов радиотелескопа при его наведении на объект радиоастрономического наблюдения. Теоретическая работа лаборатории направлена на использование алгебраических методов в теории устройств дискретной автоматики и телемеханики, опирающихся на теорию микропрограммных автоматов и результаты алгебраизации общей теории систем над бесконечными и конечными полями, как следствие этой работы заметно выросло число публикаций сотрудников и аспирантов лаборатории. В этот период кафедра, а вместе с ней лаборатория телемеханики, пережила две реорганизации структуры факультетом института. С 1970-го года по 1980-й год кафедра была в составе факультета оптико-электронного приборостроения, с 1980-го по 1993-й – точной механики и вычислительной техники.

С 1990-го года кафедрой руководит ее воспитанник профессор Григорьев В. В. На время его руководства кафедрой пришлось реформы высшей школы России, кафедра входит в состав факультета компьютерных технологий и управления. На кафедру помимо традиционной подготовки инженеров электриков по специальности **2101.00. – управление и информатика в технических системах** возлагается подготовка бакалавров и магистров по направлению **5502.00. – управление и автоматизация**. В образовательный стандарт указанных специальности и направления вводится отдельной строкой дисциплина «Прикладная теория информации». Происходит изменение в кадровом составе лаборатории телемеханики, учебный процесс в лаборатории во всей его полноте возлагается на старшего преподавателя Салмыгина И. П. и профессора Ушакова А. В. Лаборатория телемеханики в этот период осваивает возможности программных оболочек ELECTRONICS WORKBENCH 3.0 (EWB 3.0) и EWB 5.0, позволяющих моделировать аналоговые и цифровые устройства автоматики и телемеханики, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразования электрических сигналов, все виды кодовых преобразований, триггеров в любой логике, автоматное представление устройств кодопреобразования в логике Мура и Мили и линейное в любом базисе представления устройств дискретной автоматики и телемеханики и многое другое, для целей адаптации их к задачам дипломного и курсового проектирования, а также перевода лабораторного практикума на технические средства нового компьютерного поколения. Лаборатория в инициативном порядке включается в проведение научных исследований по разработке устройств дискретной автоматики и телемеханики гарантированной информационной надежности с гибким использованием ресурса помехозащиты по Региональной комплексной целевой программе (РКЦП) «ТЕЛЕМЕХАНИКА – 2000», возложенной на НИИ Точной механики (НИИ ТМ) (г. Санкт-Петербург) для модернизации управления стрелочным и инженерным хозяйством метрополитена. В рамках инициативного участия в РКЦП «ТЕЛЕМЕХАНИКА – 2000» в лаборатории под руководством профессора Ушакова А. В. ведутся теоретические разработки проблем анализа и синтеза устройств дискретной автоматики и телемеханики и завершаются диссертационные исследования по проблеме «устройства дискретной автоматики с гибким использованием

ресурса помехозащиты» аспирантом кафедры Мельниковым А. А. на соискание ученой степени кандидата технических наук, которые получили одобрение диссертационного совета университета, выразившегося в присуждении советом в 2001-м году ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05.- «элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» автору исследований.

В 2001-м году сотрудники лаборатории телемеханики предприняли попытку обобщить полученные за последние годы научные достижения, в результате чего свет увидел сборник трудов лаборатории телемеханики под редакцией профессора А.В.Ушакова, объединенных названием «Алгебраические методы в теории устройств дискретной автоматики и телемеханики». Авторами сборника были бывшие и нынешние сотрудники лаборатории: профессор Ушаков А.В., доцент Баев А.П., старшие преподаватели Никифорова Л.Т. и Салмыгин И.П., заведующая лабораториями кафедры Рукуйжа Е.В., а также аспиранты Белоконов Г.В., Мельников А.А., Рассветалова Л.А..

В 2001-м году кафедра автоматики и телемеханики под воздействием сложившихся в научно-техническом сообществе тенденций в модификации терминологии сменила свое название, в результате чего она стала называться кафедрой систем управления и информатики. Одновременно произошли изменения в нумерации направления подготовки бакалавров так, что студенты бакалавриата кафедры систем управления и информатики стали обучаться по направлению 651900 – «автоматизация и управление». Произошли изменения в министерских учебных планах в части распределения дисциплин между подготовкой по «направлению» и «специальности», а также в содержании некоторых дисциплин. Так в учебном плане подготовки специалиста-инженера исчезла дисциплина «Телемеханика» цикла специальных дисциплин СД, но при этом в учебных планах подготовки как бакалавра техники и технологии по направлению 651900, так и специалиста-инженера по специальности 210100 появилась дисциплина «Информационные сети и телекоммуникации (в задачах диспетчерского управления техническими объектами)» цикла федеральных специальных дисциплин СД.Ф. В этой связи кафедра и лаборатория устанавливают творческие связи с Санкт-Петербургской фирмой – «Закрытое акционерное общество: Системы связи и телемеханики (ЗАО ССТМ)», которая появилась на рынке телемеханической продукции в 1994-м году и заявила о себе целой гаммой систем телемеханики и диспетчерского управления, созданной на основе базового комплекта «Телеканал-М», удачно агрегируя телемеханическую аппаратуру прежних поколений с сетевыми телекоммуникационными технологиями типа Ethernet различных скоростных модификаций.

Продолжается научная работа в области анализа и синтеза двоичных динамических систем в составе аппаратуры устройств дискретной автоматики, разработки декодирующих устройств дивидендного типа с коммутируемыми входными цепями, гибридных двоичных динамических систем УДА, обобщением которой является предлагаемая вниманию читателей монография «Двоичные динамические системы устройств дискретной автоматики».

В рамках программы подготовки специалистов высшей научной квалификации успешно ведутся диссертационные исследования докторантом кафедры Мельниковым А.А. по научной проблеме «Концепция гибридности в теории устройств дискретной автоматики», а также аспирантом кафедры Осипцевой О.С. по теме «Синтез законов цифрового дистанционного управления с учетом фактора канальной среды» и соискателем Е.В. Рукуйжей по теме «Дивидендные кодирующие и деко-

дирующие устройства помехозащищенных кодов с коммутируемыми структурами».

Лаборатория телемеханики на настоящий момент представляет собой компактный активный коллектив, полный творческих планов. Лаборатория телемеханики приглашает желающих в аспирантуру и открыта для научного сотрудничества.