

## НОВОЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

Мараховский Л.Ф. – д.т.н., профессор,  
профессор Государственного экономико-технологического университета транспорта,  
член-корреспондент РАН

Мараховский Л.Ф. Новое междисциплинарное научное направление.

Работа содержит теоретическое обоснование и разработку новых принципов и методов нового междисциплинарного научного направления – синтез многофункциональных цифровых автоматов. Это теория многофункциональных автоматов, теория построения схем автоматной памяти и реконфигурируемых устройств управления. Отличительной чертой нового междисциплинарного направления является то, что обработку информации можно вести в интервалах между устанавливающими входными сигналами, иметь возможность на уровне схем памяти перестраивать функционирование устройств за один машинный такт и параллельно вести обработку общей и частной информации, а также повышать надежность и быстродействие устройств компьютерных систем. Такой подход дает предпосылки для создания конкурентоспособных реконфигурируемых компьютерных систем.

Ключевые слова: элемент, устройство, автомат, многофункциональная схема памяти, многоуровневое устройство памяти, перестраиваемые устройства.

Marakhovskiy L.F. New interdisciplinary scientific direction. Work contains a theoretical ground and development of new principles and methods of new interdisciplinary scientific direction – synthesis of multifunctional digital automata. It is a theory of multifunction automata, theory of construction of charts of automat memory and reconfigurable control devices. The distinguishing feature of new interdisciplinary direction is that treatment of information can be conducted in intervals between settings entrance signals, be in a position at the level of charts of memory to reconstruct functioning of devices in a single clock cycle and parallel to conduct treatment of general and private information, and also to promote reliability and fast-acting of devices of the computer systems. Such approach gives pre-conditions for creation of the competitive of reconfigurability computer systems.

Keywords: element, device, automat, multifunction chart of memory, multilevel device of memory, reconfigurable devices.

Мараховський Л.Ф. Новий міждисциплінарний науковий напрям. Робота містить теоретичне обґрунтування і розробку нових принципів і методів нового

міждисциплінарного наукового напрямку – синтез багатofункціональних цифрових автоматів. Це теорія багатofункціональних автоматів, теорія побудови схем автоматної пам'яті та реконфігурованих пристроїв управління. Відмінною рисою нового міждисциплінарного напрямку є те, що обробку інформації можна вести в інтервалах між установчими входними сигналами, мати можливість на рівні схем пам'яті перебудовувати функціонування пристроїв за один машинний такт і паралельно вести обробку загальної і приватної інформації, а також підвищувати надійність і швидкодію пристроїв комп'ютерних систем. Такий підхід дає передумови для створення конкурентоздатних реконфігурованих комп'ютерних систем.

Ключові слова: елемент, пристрій, автомат, багатofункціональна схема пам'яті, багаторівневий пристрій пам'яті, перебудовуванні пристрої.

### **Введение.**

Татур В.Ю. в статье «15 лет проекту «СКИФ»: история и итоги» [1] пишет, что среди важных отличий созданных изделий была «Возможность быстрого (за один такт) переключения с предыдущей программы на вновь введенную и обратно. Этот пункт является одной из основ оперативной реконфигурируемости модуля РВМ». Этот проект родился в 1997 году и имел двухуровневую структуру. Без сомнения, это великолепное решение, родившееся из работ новосибирских ученых по однородно-вычислительным средам.

### **Введение в новое междисциплинарное научное направление.**

Выявлено ограничение теоремы о структурной полноте, которую предложил еще в 1962 году В.М. Глушков [2]. Теорема о структурной полноте элементарных автоматов дала обоснование для построения всех в настоящее время существующих вычислительных машин, использующих комбинационные схемы и триггер. Многие ученые стали говорить, что теория автоматов в настоящее время не является инструментарием для построения вычислительных машин. Это не так! Она как воздух, которым мы дышим, но его не замечаем. Создавая машины с памятью на триггерах, они используют основную теорему о полноте структурных автоматов, описанную в книге В.М. Глушкова [2]. Но триггер в настоящее время, его ученик Л.Ф. Мараховский заменил многофункциональной автоматной памятью [3–5], что позволило расширить теорему о структурной полноте элементарных автоматов [6].

Формулировка расширенной теоремы о структурной полноте [6].

*Каждая система элементарных автоматов, содержащая элементарный многофункциональный автомат (МФСП), который имеет полные системы переходов,*

*выходов и систему функций сохранения состояний (где количество функций не меньше двух), и любую функционально полную систему логических элементов, является структурно полной системой.*

Существует единственный прием (канонический метод), что позволяет свести проблему структурного синтеза произвольных, многофункциональных автоматов 1-го, 2-го и произвольных автоматов 3-го рода к проблеме синтеза комбинационных схем [6].

Эта теорема даст обоснование для создания новых конкурентоспособных реконфигурируемых компьютеров с памятью на МФСП.

С системных позиций нового междисциплинарного научного направления – синтез многофункциональных цифровых автоматов – ниже рассмотрены следующие вопросы:

теории многофункциональных автоматов 1-го, 2-го и 3-го рода, которые способны одновременно обрабатывать информацию, как общего, так и частного характера. Принцип иерархического программного управления;

теории построения многофункциональных и многоуровневых схем памяти, которые обрабатывают информацию одновременно на всех уровнях иерархии;

методы построения типовых реконфигурируемых устройств компьютерных устройств на многоуровневых схемах памяти (МУСП). Предложен четвертый уровень управления на основе принципа иерархического программного управления.

**Теория многофункциональных автоматов Мараховского Л.Ф.** Она, в отличие от традиционной теории автоматов 1-го (Мили) и 2-го (Мура) рода, реализующих память на триггерах, рассматривает функционирование автоматов, реализующих память на многофункциональных схемах автоматной памяти, не в дискретное автоматное время, а в непрерывное автоматное время, где входные сигналы во время машинного такта  $T$ , рассматриваются в виде совокупности двух входных сигналов:  $x(t)$  и  $e(\Delta)$  (рис. 1) [6]. Во время временного такта  $t$  входной информационный сигнал  $x(t)$  является устанавливающим сигналом в схеме памяти, а во время между тактами  $t$  входной сигнал  $e(\Delta)$  является сохраняющим входным сигналом ( $T = t + \Delta$ ) в автоматах 1-го и 2-го рода.

Закон функционирования многофункциональных автоматов 1-го, 2-го и 3-го рода рассматривает во время такта  $t$  однозначный переход в состояние  $a(t)$  в зависимости от входного сигнала  $x(t)$  и предыдущего состояния автомата  $a(\Delta-1)$ . В автоматах 1-го и 2-го рода во время  $\Delta$  установленное состояние  $a(t)$  сохраняется под воздействием входного сигнала  $e(\Delta)$ . Отличаются эти два автомата только функциями выходов:  $y(t)$  – для автоматов 1-го рода и сдвинутой функцией  $y(T)$  для автомата 2-го рода [6].

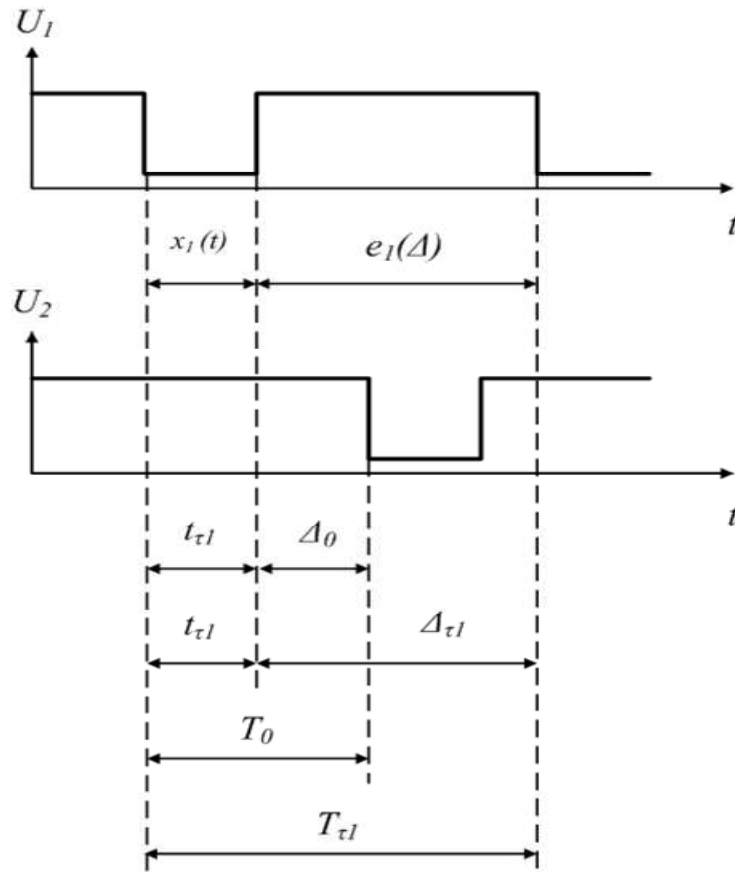


Рис. 1. Временные соотношения синхронизированных и входных сигналов

В автомате 3-го рода при поступлении входного сигнала  $e(\Delta)$  осуществляется укрупненный переход в новое состояние  $a(\Delta)$  и функция выходного сигнала является –  $y(\Delta)$ , что невозможно осуществить в автоматах 1-го и 2-го рода, реализующих элемент памяти на триггерах.

Закон функционирования абстрактного автомата в автоматном непрерывном времени в случае автомата 1-го рода задается уравнениями:

$$\begin{cases} a(t) = \delta_0(a(\Delta-1), x(t)); \\ a(\Delta) = \delta_e(a(t), e(\Delta)); \\ y_i^1(t) = \lambda_1(a(\Delta-1), x(t)), \\ a(t), a(\Delta) \in \pi_j; i=0, 1, 2, \dots; \Delta=0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (1)$$

Закон функционирования абстрактного автомата в автоматном непрерывном времени в случае автомата 2-го рода задается уравнениями:

$$\begin{cases} a(t) = \delta_0(a(\Delta-1), x(t)); \\ a(\Delta) = \delta_e(a(t), e(\Delta)); \\ y_L^2(T) = \lambda_2(a(t), a(\Delta)), \\ a(t), a(\Delta) \in \pi_j; i=0, 1, 2, \dots; \Delta=0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (2)$$

Закон функционирования абстрактного автомата в автоматном непрерывном времени в случае автомата 3-го рода задается уравнениями:

$$\begin{cases} a(t) = \delta_0(a(\Delta-1), x(t)); \\ a(\Delta) = \delta_y(a(t), e(\Delta)); \\ y_L^3(\Delta) = \lambda_3(a(\Delta), e(\Delta)), \\ a(t) \notin \pi_j, a(\Delta) \in \pi_j; i=0, 1, 2, \dots; \Delta=0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (3)$$

Установлением законов функционирования абстрактных автоматов 1-го, 2-го и 3-го рода обобщенного абстрактного  $M$ -автомата заканчивается определение абстрактного автомата.

Обобщенная структурная схема многофункциональных автоматов Мараховского представлена на рис. 2. Эта схема показывает, что на обобщенный  $M$ -автомат  $A$ , подается два множества входных сигналов  $X$  и  $E$ , количество типов выходных сигналов может быть три:  $Y_1$ ,  $Y_2$ , и  $Y_3$ .



Рис. 2. Структурная схема абстрактного  $M$ -автомата  $A$

**Многофункциональные схемы памяти.** Триггер типа  $RS$  состоит из двух групп, в каждой из которых содержится по одному логическому элементу И-НЕ (ИЛИ-НЕ), на которые поступают по одному устанавливающему  $x(t)$  входному сигналу. При отсутствии сигнала  $x(t)$  на триггер поступает входной сигнал  $e(\Delta)$ , который сохраняет установленное состояние. В многофункциональных схемах автоматной памяти (МФСП) в каждой группе может содержаться не менее двух логических элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ). На МФСП поступают два входных сигнала: устанавливающий  $x(t)$  и сохраняющий  $e(\Delta)$ . МФСП может изменять свои состояния под воздействием двух входных переменных  $x$  и  $e$  [6].

Функционирование автоматной памяти (МФСП) можно представить в матричном виде (рис. 3):

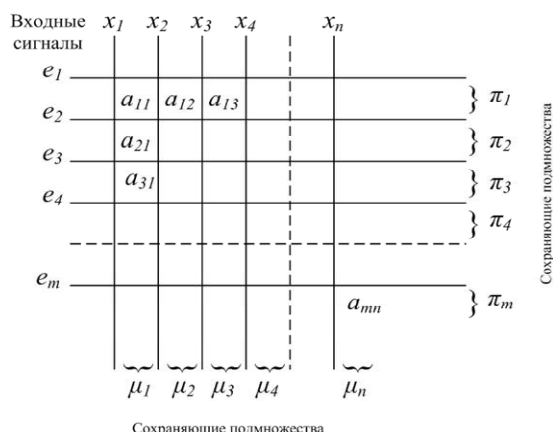


Рис.3. Функционирование автоматной памяти

Многофункциональная схема автоматной памяти класса  $L$  изображена на рис. 4. В теории построения таких схем рассмотрены принципы и методы построения двух классов таких схем: класса  $L$  и класса  $L^M$ . Функционирование аналогично для схем класса  $L$  и класса  $L^M$ , но класс  $L^M$  имеет больше на один логический элемент в каждой группе, что резко уменьшает количество связей между группами МФСП. МФСП (рис. 4) имеет возможность сохранять различные девять подмножеств состояний под воздействием

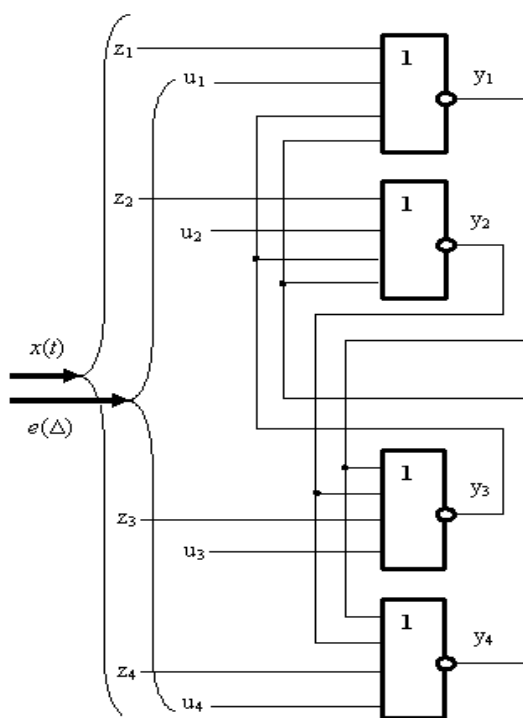


Рис. 4. Схема автоматной памяти

входных сигналов  $e(\Delta)$ . В этом случае МФСП работает как девять  $RS$ -триггеров (рис.5).

Детерминированные переходы в автоматах 1-го и 2-го рода являются однозначными, а в автоматах 3-го рода – укрупненными (рис. 6).

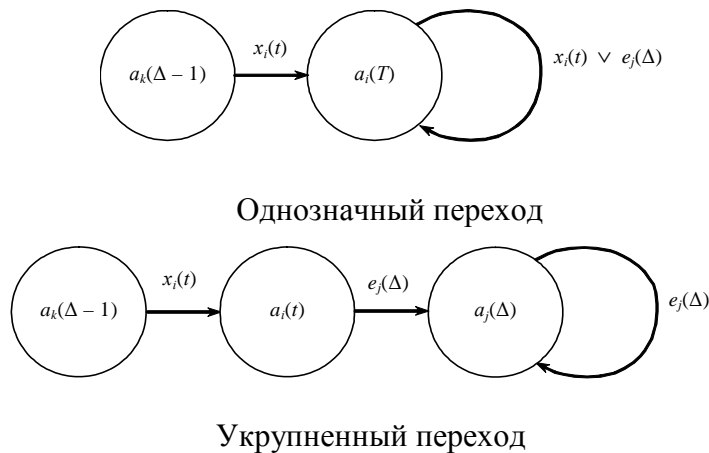


Рис. 6. Однозначный и укрупненный детерминированные переходы

Многофункциональные автоматы 3-го рода могут быть вероятностными и нечеткими [6, ]:

1) вероятностный переход первого типа, когда во время такта  $t$  происходит под воздействием входного сигнала  $x_p(t)$  переход в незапоминаемое состояние  $a_p(t)$ , при последующем входном сигнале  $e(\Delta)$  происходит переход в одно из запоминаемых состояний  $a(\Delta)$  блока  $\pi_i$  (см. рис. 7);

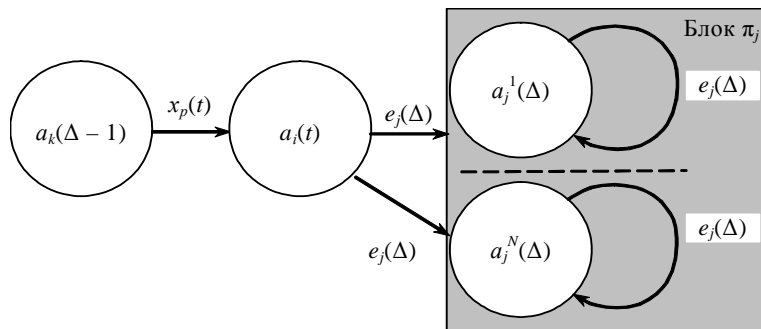


Рис. 7. Вероятностный переход первого типа

2) вероятностный переход второго типа, когда во время такта  $t$  происходит под воздействием входного сигнала  $x_p(t)$  переход в незапоминаемое состояние  $a_p(t)$ , при последующем вероятностном входном сигнале  $e^g(\Delta)$  происходит переход в одно из запоминаемых состояний  $a(\Delta)$  блока  $\mu_j$  (рис. 8).

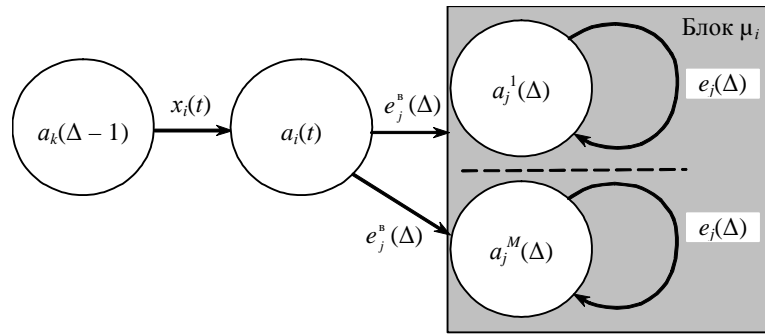


Рис. 8. Вероятностный переход второго типа

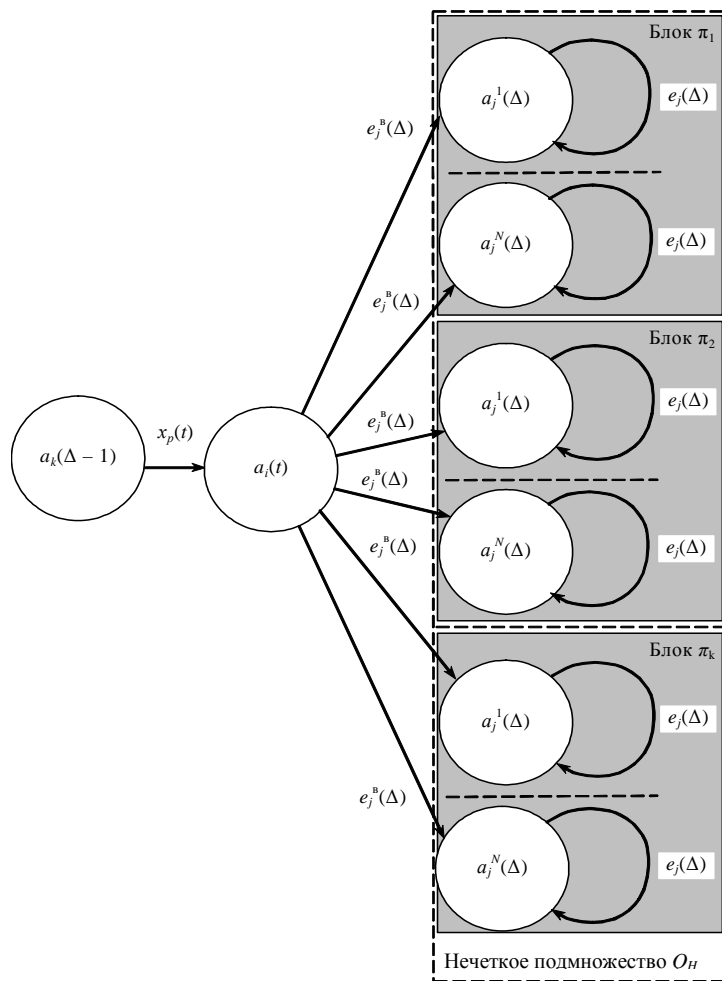


Рис. 9. Нечеткий переход в автомате 3-го рода

Нечеткие абстрактные автоматы 3-го рода используются для реализации функций нечеткого перехода в новое состояние  $a(\Delta)$  нечеткого подмножества  $Q_H$  при соответствующем входном элементарном слове  $p_n(T)$  с определенной вероятностью  $P_n$  во время внутреннего такта  $\Delta$ , как это изображено на рис. 9.

Таблица 1



### Параметры базовых схем памяти

Параметр	Многостабильная схема памяти (МСП)	МФСП класса $L$	МФСП класса $L^M$	Преимущества о класса МФСП
$M_{max}$	8	30	90	$L^M$
$F_p$	125 МГц	125 МГц	100 МГц	$L$
$n_Q$	3	6	9	$L^M$
$S_{внут.с.}$ (коли $M = 28$ )	756	18	12	$L^M$
$L$ (коли $M =$ 28)	1	0,2	0,3	$L$
$r_e$	1	>3	>3	$L$ $L^M$

- Максимальное количество запоминаемых  $M$  состояний ( $M_{max}$ );
- рабочая частота переключения ( $F_p$ );
- максимальная нагрузочная способность по выходам ( $n_Q$ );
- количество внутренних связей ( $S_{внутр.с.}$ );
- количество элементов на одно состояние ( $L$ );
- функциональные возможности, которые позволяют перестраивать структуру запоминания состояний схемы памяти ( $r_e$ ).

**Многоуровневые схемы памяти.** Для генерации сохраняющих входных сигналов для МФСП используется автомат стратегии, который может быть многозначным триггером или многоуровневой схемой памяти [7–8].

Устанавливающие входные сигналы  $x(t)$  поступают на автомат стратегии и на МФСП параллельно, а внутри многоуровневой схемы памяти из автомата стратегии генерируются сохраняющие входные сигналы  $e(\Delta)$  на МФСП. Это позволяет одновременно за один машинный такт  $T$  обрабатывать в автомате стратегии общую информацию, а в МФСП – частную. Такое новое качество позволяет перестраивать структуру запоминания подмножества состояний в МФСП (см. рис. 4) [6].

Предложены [6] два типа МУСП класса  $L_N$  и  $L_N^B$ . В МУСП класса  $L_N^B$  автомат стратегии используется не для всей МФСП, а каждой группы самостоятельно (рис. 10).

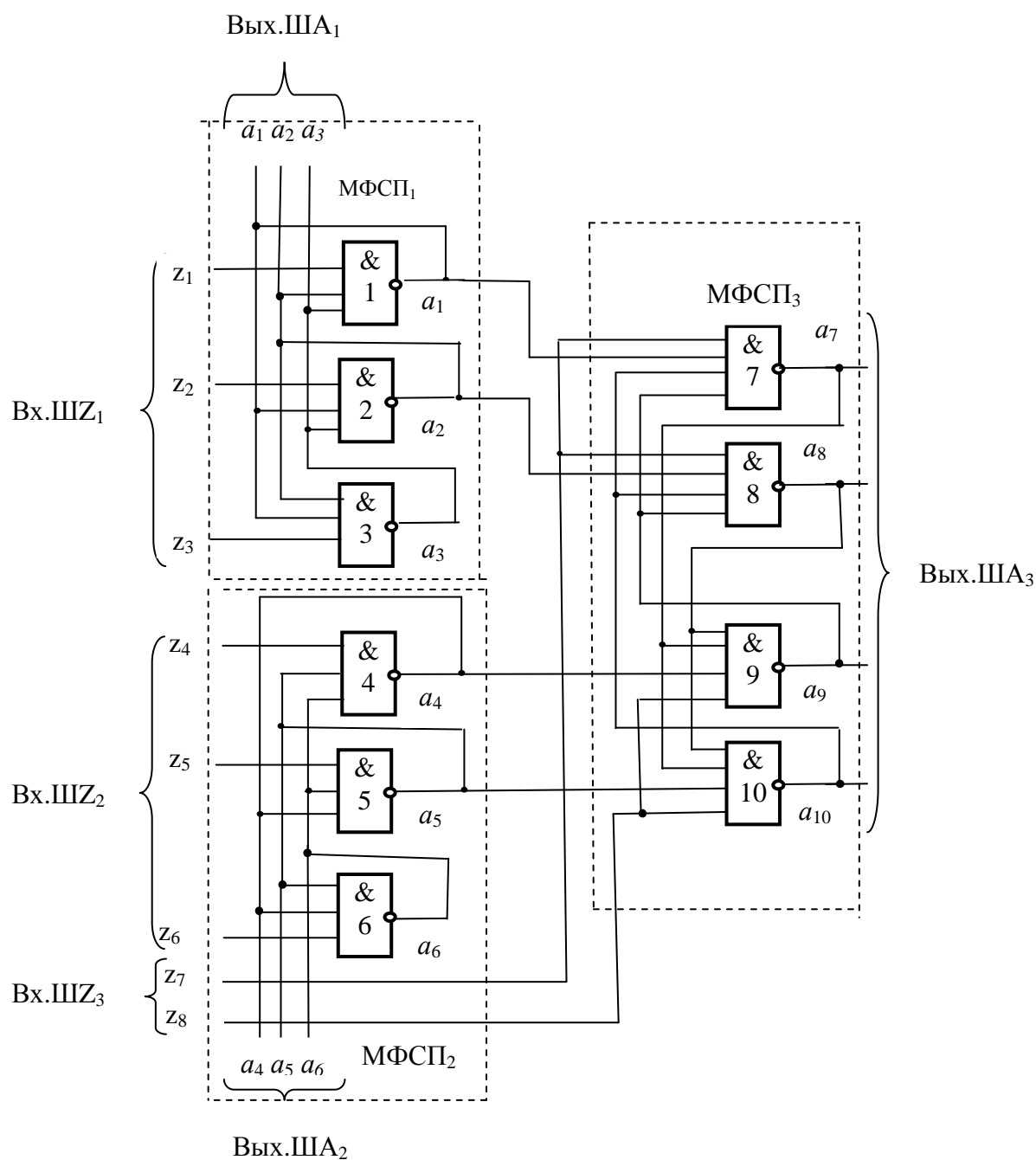


Рис. 10. Многоуровневая схема памяти класса  $L_N^B$ .

Такая МУСП (рис. 10) является минимальной и симметричной схемой памяти, которая по своим внешним качествам близка к общему принципу закона природы – Золотого сечения. Так МФСП состоит из четырех элементов И-НЕ, а автомат стратегии – из 6 элементов И-НЕ. При делении количества элементов МФСП на количество элементов автомата стратегии мы получаем число 0,66..., что близко к числу золотого сечения  $\Phi=0,618...$  При делении количество элементов автомата стратегии на общее число элементов МУСП получаем число 0,6, что еще ближе к числу  $\Phi=0,618...$  [12].

МУСП запоминает 18 состояний (рис. 10). Базовые схемы, которые запоминают 18 состояний, и их основные характеристики, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры базовых схем памяти, которые запоминают 18 состояний

Параметры	Однофазная МСП	МУСП
$F_p$	12,5 МГц	12,5 МГц
$n_Q$	1	10
$S_{внутр.с.}$	306	24
$S_{внеш.с.}$	36	18
$L$	1	0,56

### Принцип иерархического программного управления.

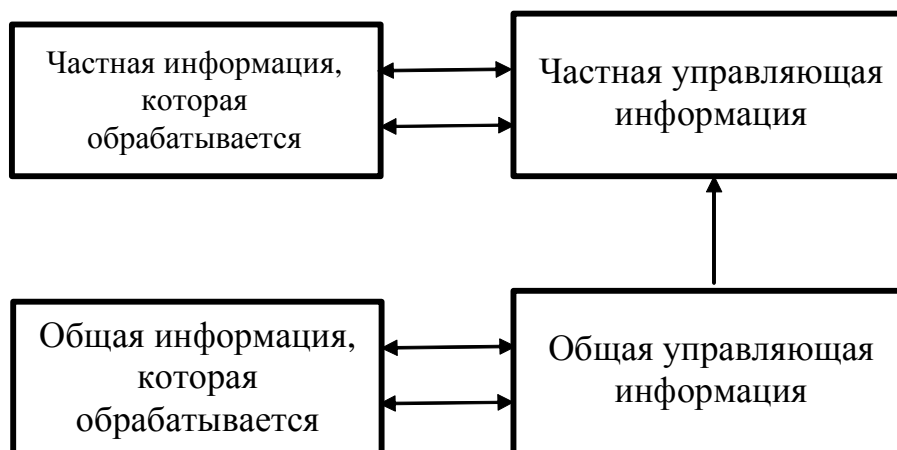


Рис. 11. Принцип иерархического программного управления

Принцип иерархического программного управления, в отличие от программного управления, предложенного Чарльзом Биббиджем, заключается в том, что информацию – которая обрабатывается, как и управляющую – разделяют на частную и общую, а общая управляющая информация осуществляет выбор частной управляющей информации (рис. 11) [6].

Предложенный иерархический принцип программного управления позволяет одновременно за один машинный такт  $T$  обрабатывать общую и частную информацию. Общая информация сохраняется в автомате стратегии, а частная – в многофункциональной схеме, которая в процессе работы может изменять подмножества запоминаемые состояния МФСП.

**Четвертый уровень управления.** В современных компьютерах с памятью на

триггерах используется принцип программного управления, предложенный Ч. Беббиджем, и трехуровневое программное управление: алгоритмический уровень управления, программный уровень управления и микропрограммный уровень управления, которые определяют последовательную обработку общей и частной информации. Автором, для построения реконфигурируемых устройств компьютерной техники с памятью на схемах автоматной памяти вводится дополнительный миллипрограммный уровень управления, обрабатывающий общую информацию. В этом случае, микропрограммный уровень управления обрабатывает частную информацию, выбор которой определяет миллипрограммный уровень управления. Два уровня: миллипрограммный и микропрограммный работают параллельно и совместно составляют полипрограммный уровень управления (рис. 12) [6].

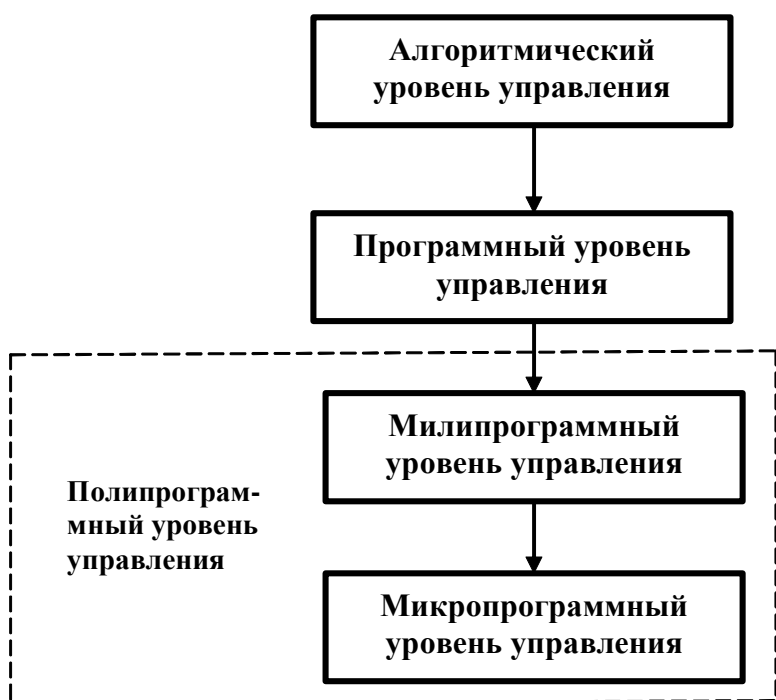


Рис. 12. Полипрограммный уровень управления

При использовании четвертого уровня управления реализуется иерархический принцип программного управления, позволяющий одновременно обрабатывать общую и частную информацию и являющийся основой для реализации конфигурируемых устройств компьютерной техники с учетом элементной базы элементарных схем автоматной памяти.

**Типовые реконфигурируемые устройства.** Современные реконфигурируемые устройства используют память на триггерах, что определяет последовательную обработку общей и частной информации [2; 9].

К типовым реконфигурируемым устройствам относятся: устройства управления, регистры, счетчики, процессоры и компьютеры, которые запатентованы [10].

Главное и принципиальное в новом междисциплинарном подходе [10]:

1. Разработана теория многофункциональных автоматов Мараховского и предложена расширенная теорема о структурной полноте автоматов.

2. Разработана теория синтеза многофункциональных и многоуровневых элементарных схем памяти, которые по быстрдействию не уступают триггерам, и:

- имеют меньше аппаратных затрат на одно запоминаемое состояние (выигрыш в аппаратуре!);

- имеют меньше на порядок внутренних связей, что очень важно при изготовлении интегральных схем;

- и самое главное – они способны изменять структуру запоминания состояний в процессе работы за один машинный такт  $T$ .

3. Разработаны методы построения типовых реконфигурированных компьютерных устройств: регистров, счетчиков, устройств управления, процессоров и компьютеров.

4. Предложен принцип иерархического программного управления:

5. Предложен четвертый миллипрограммный уровень управления, который вместе с микропрограммным управлением реализуют принцип иерархического программного управления, позволяя обрабатывать одновременно общую и частную информацию.

### **Заключение**

В достижениях России и Белоруссии в области создания суперкомпьютера «СКИФ» на мировом уровне отражается, как значительное достижение – возможность быстрого (за один такт) переключения с предыдущей программы на вновь введенную и обратно. Действительно, эта проблема очень важна при построении реконфигурируемых устройств вычислительной техники. Этот эффект был описан еще в 1987 году на уровне схем автоматной памяти в монографии [4], защищен в докторской диссертации Мараховского Л.Ф. в 1996 году и описан в книге «Основы новой информационной технологии» и монографии [10], которая распространена по всему миру: в США, Канаде, Европе, России.

Достижения России и Белоруссии стали возможными при поддержке финансированием их правительств, понимающих важность независимости от других государств в этой интеллектуальной области, что очень важно при развитии вычислительной техники в любой стране.

В 2013 году Виктору Михайловичу Глушкову исполнилось бы 90 лет, и можно сожалеть, что с нами сегодня его нет. Он мог на самом высоком правительственном

уровне объяснить и доказать важность развития отечественной вычислительной техники на Украине, без которой ей трудно стать интеллектуальной и независимой страной.

### Литература

1. Татур В.Ю., 15 лет проекту «СКИФ»: история и итоги // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.18063, 09.06.2013.
2. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
3. Мараховский Л.Ф., Байтлер В.И. Некоторые вопросы теории схем памяти типа R-S // Электроника и моделирование, 1977. – №16. – С. 73–67.
4. Мараховский Л.Ф. Дискретные устройства с многофункциональной организацией памяти // Киевский институт народного хозяйства. – К.: 1987. –244 с. Деп. в Укр НИИНТИ. 30.12.87. №3346 –Ук87.
5. Мараховский Л.Ф. Многофункциональные схемы памяти. – Киев: УСиМ – № 6.- 1996.– С. 59-69.
6. Мараховский Л.Ф. Основы теории проектирования дискретных устройств. Логическое проектирование дискретных устройств на схемах автоматной памяти: монография. – Киев: КГСУ, 1996.–128 с.
7. Мараховский Л.Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти / Л.Ф. Мараховский. I ч. – Киев: УСиМ, 1998. – №1. – С. 66 – 72.
8. Мараховский Л.Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти / Л.Ф. Мараховский. II ч. – Киев: УсиМ, 1998. – №2. – С. 63 – 69.
9. Палагин А.В. Реконфигурируемые вычислительные системы: Основы и приложения / А.В. Палагин, В.Н. Опанасенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.
10. Мараховский Л.Ф. Основы новой информационной технологии: монография / / Л.Ф. Мараховский, Н.Л. Михно. – Saarbrcken, Germany / www.lap-publishing.ru, 2013. – 369 с.