

## *Проектирование и тестирование логических устройств*

УДК 681.518.5:004.052.32

**Ю. Ф. Мухопад, д-р техн. наук,  
А. Ю. Мухопад, д-р техн. наук,  
Д. Ц. Пунсык-Намжилов, канд. техн. наук**

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»,  
Иркутский государственный университет путей сообщения

### **СТРУКТУРА УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ**

В статье рассматривается структурная организация управляющих автоматов железнодорожных систем. Описана математическая модель автоматов Мура. Показана оригинальная структура управляющих автоматов нового типа, названных автоматами Мухопада, которые отличаются малыми затратами на реализацию комбинационных схем за счет ввода мультиплексора и комбинационной схемы адресации для выбора одного логического условия из всего множества на каждый период работы. Дана сравнительная оценка сложности комбинационной схемы переходов для управляющих автоматов Мура и Мухопада при реализации на постоянном запоминающем устройстве и программируемых логических матрицах. Рассмотрена новая организация управляющих автоматов Мура с унитарным кодированием состояний с предварительным преобразованием алгоритма управления за счет ввода пустых операторов, разделяющих логические условия. Показано, что в новой структуре управляющих автоматов Мура существенно снижается сложность комбинационной схемы за счет использования только двухходовых логических элементов «И», количество которых в два раза больше логических условий. Приводятся системный анализ всех типов управляющих автоматов и заключение о том, что эффект снижения затрат на комбинационную схему достигнут за счет ввода адресной подсистемы, которой не было в управляющих автоматах Мура.

железнодорожная автоматика; управляющие автоматы; алгоритм; комбинационная схема; структурная организация автоматов

### **Введение**

Железнодорожная автоматика имеет свои особенности, это:  
– необходимость обработки информации о движении в реальном времени;

– необходимость контроля и диагностики в целях обеспечения работоспособности в условиях высокого уровня электромагнитных помех и механических воздействий (удары, вибрации и др.);

– использование в едином комплексе элементов и устройств с разной природой информационных носителей (электромеханические, пневматические, радио- и микроэлектронные);

– использование преимущественно аппаратных средств управления в связи с высокими требованиями к быстродействию и безотказности железнодорожной автоматики.

В системах железнодорожной автоматики используются в основном две структурные схемы устройств:

1) микроконтроллер со специальным программным обеспечением и релейные схемы реализации исполнительных команд [1, 2];

2) комплекс взаимодействующих блоков в виде функциональных (Ф), информационных (И), логических (Л), адресных (А) и управляющих (У) подсистем [3, 4].

В мехатронике, железнодорожной автоматике, как правило, используется малое число вычислительных операций в функциональной подсистеме, поскольку преобладают операции контроля, сравнения аналоговых величин и операции формирования управляющих команд в определённой логической и временной взаимосвязи. Поэтому функциональная подсистема представляется в виде малоразрядного микропроцессора с таблично-алгоритмическими преобразователями информации. Самой сложной подсистемой является управляющая, которая реализуется как конечный автомат или несколько управляющих автоматов.

Цель статьи – краткий анализ широко распространенных структур управляющих автоматов и определение применимости в железнодорожных технических системах автоматов нового типа, предложенных авторами, так как именно для реализации таких автоматов требуются существенно меньшие затраты логических элементов.

## 1 Описание управляющих автоматов

В работе [5] управляющие автоматы разделяются на сверхпростые (СП), простые (ПА), средние (СА), сложные (АС), высокосложные (ВС), особо сложные (ОС) и ультрасложные (УС). Критерием классификации является разрядность памяти состояний ( $m$ ) и количество входных логических условий ( $q$ ). В системах железнодорожной автоматики используются практически все типы управляющих автоматов, кроме ОС и УС. Если алгоритм управления соответствует ОС и УС, то используются методы декомпозиции и представление управляющей подсистемы комплексом взаимодействующих управляю-

щих автоматов меньшей сложности. В железнодорожной автоматике наиболее применимы управляющие автоматы со структурной организацией Мура. Математические уравнения управляющих автоматов Мура имеют вид

$$a(t+1) = F_1(\alpha_1 \dots \alpha_q x_1 \dots x_m); A(t+1) = F_2(y_1 \dots y_m).$$

Команды, формируемые управляющими автоматами Мура, соответствуют периоду ( $T$ ) смены состояний. Для железнодорожной автоматики исполнение команд осуществляется через включение реле, поэтому  $T=1-4$  мс, тогда как длительность сигнала синхронизации  $\tau \leq 1$  мкс.

Управляющий автомат Мура (рис. 1) состоит из комбинационной схемы  $F_1(2)$ , формирующей код  $y_1 \dots y_m$  следующего состояния  $a(t+1)$  по конкатенации множества логических условий  $\alpha_1 \dots \alpha_q$  и кода  $x_1 \dots x_m$  предыдущего состояния  $a(t)$ . Выходной код  $y_1 \dots y_m$  преобразуется дешифратором DC (4) в унитарный код, по которому схемой  $F_1(2)$  формируются выходные команды  $A_1 \dots A_k$ . Для сокращения текстовой части управляющий автомат Мура обозначаются как УАМ<sub>г</sub>, а управляющий автомат Мили как УАМ<sub>л</sub>.

Информационная подсистема УАМ<sub>г</sub> состоит из двух регистров хранения кодов состояний  $a(t)$  и  $a(t+1)$  с парафазной передачей информации. Блок синхронизации УАМ<sub>г</sub> формирует сигналы  $\tau_1(t) \wedge \tau_2(t) = \emptyset$ .

Система булевых функций для  $F_1(2)$  реализуется на элементах алгебры логики, программируемых логических матрицах (ПЛМ) или на постоянных запоминающих устройствах (ПЗУ) с электрическим стиранием информации. При реализации на ПЗУ объем автомата определяется как  $V = m2^{m+q}$  в битах.

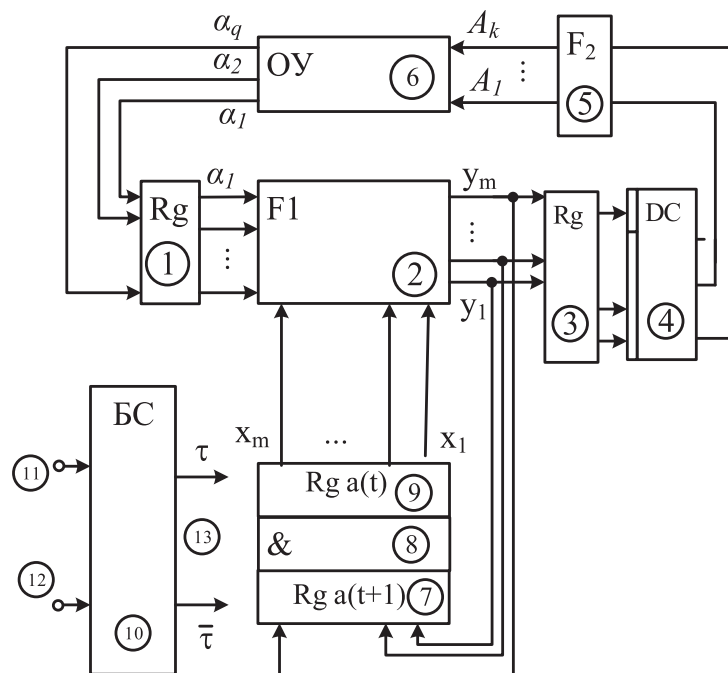


Рис. 1. Управляющий автомат Мура

Варианты структурной организации УАМг достаточно подробно описаны в научной и учебной литературе. Краткое описание УАМг потребовалось здесь для последующего сравнения с новой структурной организацией управляющих автоматов, предложенной авторами.

Характеристики всех типов УАМг представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, для АС объем ПЗУ значителен. Поэтому используется несколько методик структурного и функционального синтеза УАМг для снижения сложности комбинационных схем [6–11]. Смысл столбцов  $K$ ,  $W$ ,  $Q$  будет показан далее по тексту статьи.

**Таблица 1.** Сравнительный анализ управляющих автоматов

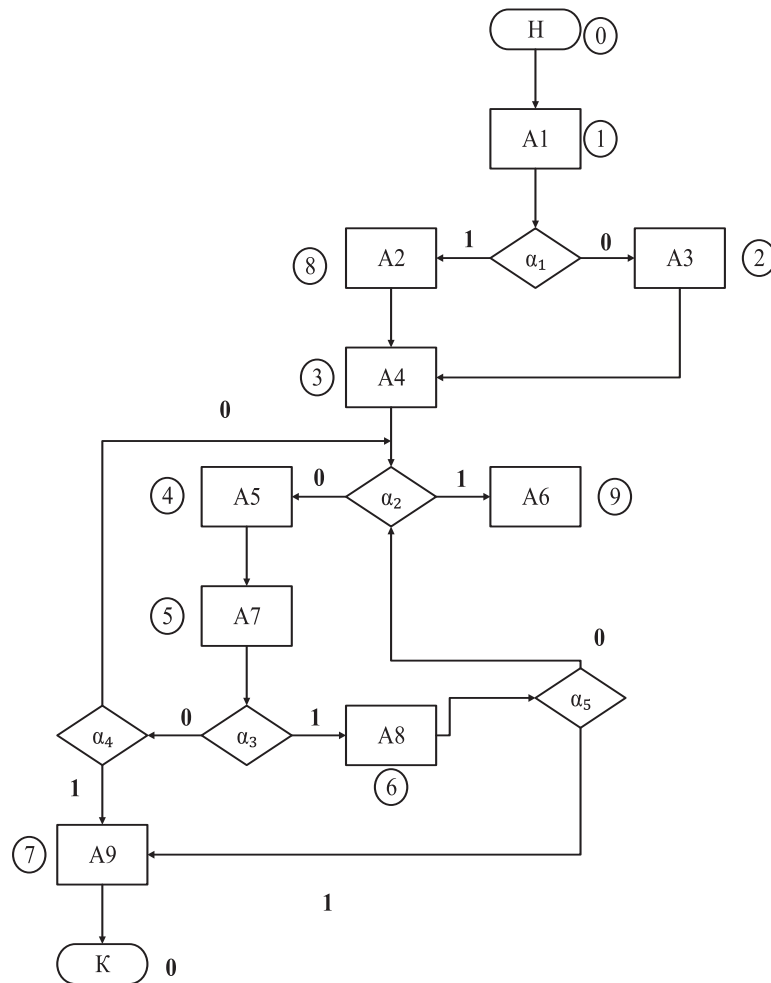
№	Тип	$m$	$q$	$m+q$	$m+1$	$V$	$K$	$W$	$Q$
1	СП	3	2	5	4	128	1,2	64	2
2	ПА	4	5	9	5	2560	1,8	160	16
3	СА	5	8	13	6	$48 \cdot 10^3$	2,1	384	128
4	АС	6	11	17	7	$9 \cdot 10^5$	2,4	696	1024
5	ВС	7	14	21	8	$16 \cdot 10^6$	2,6	2048	$8 \cdot 10^3$
6	ОС	8	17	25	9	$0,3 \cdot 10^8$	2,7	4608	$6,4 \cdot 10^4$
7	УС	9	20	29	10	$5 \cdot 10^9$	2,9	$1 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^6$

Для управления радиотехническими и навигационными железнодорожными системами [12] используются УАМ<sub>L</sub>, для которых  $T = 2\tau$ , причем  $\tau \approx 10$  нс. Команды  $A_1 \dots A_k$  формируются на переходе от  $a(t)$  к  $a(t+1)$  по переднему фронту импульса синхронизации. Поэтому аргументом функции  $F_2$  является не только код  $y_1 \dots y_m$ , но и конкатенация условий  $\alpha_1 \dots \alpha_q$ .

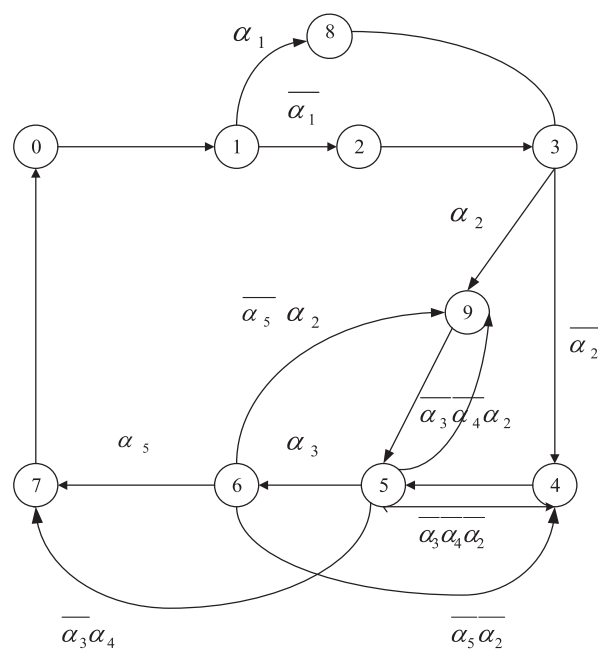
В работе [3] показано, что при параллельной организации памяти состояний в УАМг значение  $T$  может быть равным  $2\tau$ , т. е. УАМг по быстродействию могут не уступать УАМ<sub>L</sub>, но при этом не требуется усложнение  $F_2$ .

Рассмотрим реализацию автоматического выбора режимов скоростного поезда [13] по алгоритму (рис. 2) сверхпростым УАМг. Семантика логических и управляющих операторов не приводится, поскольку она несущественна для синтеза управляющих автоматов. Граф переходов УАМг представлен на рис. 3. В графе направленные стрелки без надписей над ними соответствуют безусловным переходам. По графу легко определить разрядность выходного кода УА ( $m$ ). При  $m = 4$ ,  $q = 5$  объем ПЗУ  $V = m_p 2^{m+q}$ , где  $m_p$  – реальная разрядность ПЗУ, равная 4 или 8, тогда  $V = 2048$  битов (512 четырехразрядных слов).

Второй пример. На железнодорожном транспорте исключительно важной задачей является защита конфиденциальной и другой информации, связанной с управлением движением. Программные системы защиты [14] не отличаются высоким быстродействием и поэтому исключительно важны аппаратные



**Рис. 2.** Алгоритм выбора решений скоростного поезда



**Рис. 3.** Граф переходов управляющим автоматом выбора режимов скоростного поезда

методы, основанные на применении автоматного подхода и управляющих автоматов. Рассмотрим алгоритм управления аппаратных средств криптографической защиты информации железнодорожных систем (рис. 4) [15] как основу для синтеза управляющих автоматов СА. С целью сокращения объема статьи на рис. 5 приведена граф-схема автомата (ГСА) сразу с рядом пустых

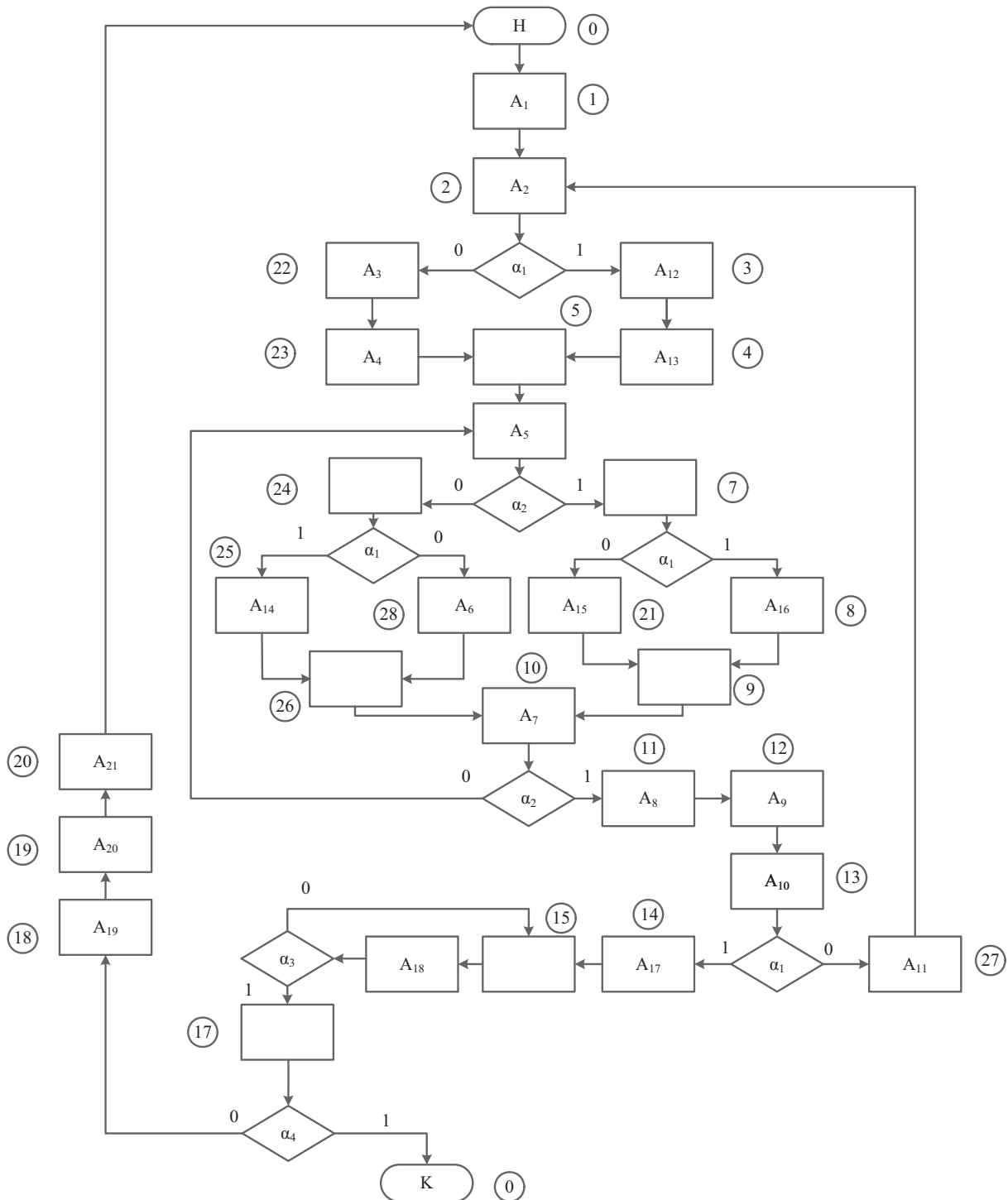


Рис. 4. Алгоритм управления устройством криптографической защиты информации

операторов – 7, 5, 9, 15, 17, 24, 26. Необходимость и правило ввода пустых операторов поясняются далее по тексту. Специфика этой ГСА имеет три аспекта:

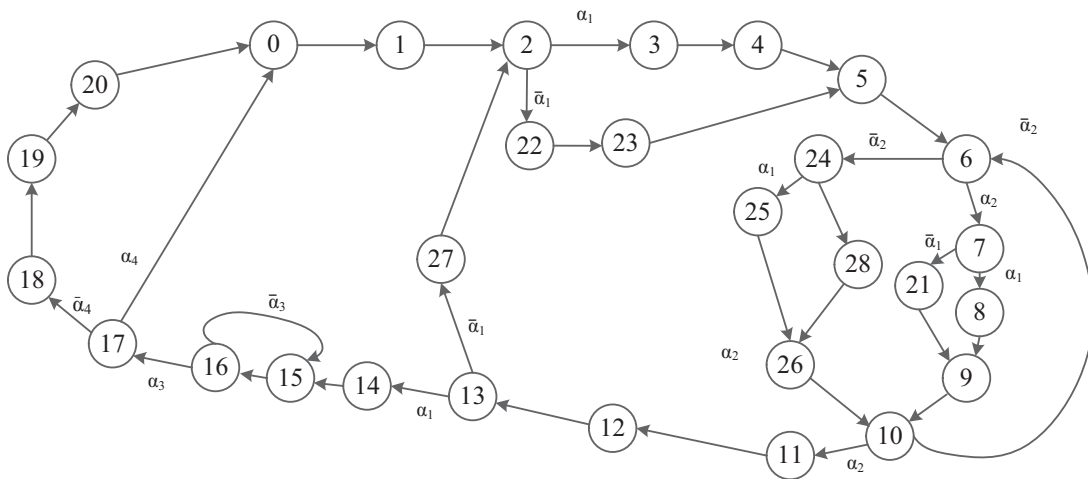
1) несмотря на малое число логических условий ( $q = 4$ ) одно и то же условие проверяется многократно в разных ветвях ГСА;

2) по одному и тому же условию передается управление от нескольких операторов;

3) имеется несколько путей с приблизительно одинаковым числом операторов.

Поэтому количество переходов в графе (см. рис. 5) значительно превосходит величину  $N + 2q$ , что приводит к усложнению схемы  $F_1$  при реализации на элементах логики и ПЛМ.

Как видно из графа, УАМг характеризуется параметрами:  $m = 5$ ,  $q = 4$ , поэтому  $V = 8 \cdot 2^9 = 4096$  бит.



**Рис. 5.** Граф переходов управляющим автоматом криптографической защиты информации

## 2 Структурная организация управляющего автомата нового типа

Даже для несложных управляющих автоматов комбинационная схема переходов представляется относительно сложным блоком в виде ПЗУ или ПЛМ, поэтому для железнодорожной автоматики при высоких требованиях к безопасности необходимо разрабатывать новые методы снижения сложности автоматов.

В работах [3–5] предложен управляющий автомат нового типа (рис. 6), в котором имеются мультиплексор  $M$  (2), схема адресации  $F_3$  (12) и регистр адреса  $Rg$  (13). Математические уравнения нового автомата имеют вид

$$a(t+1) = F_1(\alpha_j \dots x_1 \dots x_m); A(t+1) = F_2(y_1 \dots y_m); j = F_3(y_1 \dots y_m),$$



где  $j$  – номер логического условия  $\alpha_j$ , которое выбирается для каждого периода работы (Т) автомата из всего множества логических условий  $\alpha_1 \dots \alpha_q$ .

В новом управляющем автомате (рис. 6) на вход комбинационной схемы (4) подается одно (единственное) логическое условие  $\alpha_j \in \{\alpha_1 \dots \alpha_q\}$  с выхода (3) мультиплексора М (2). Такая возможность появляется за счет того, что в отдельные ветви ГСА вводятся пустые операторы.

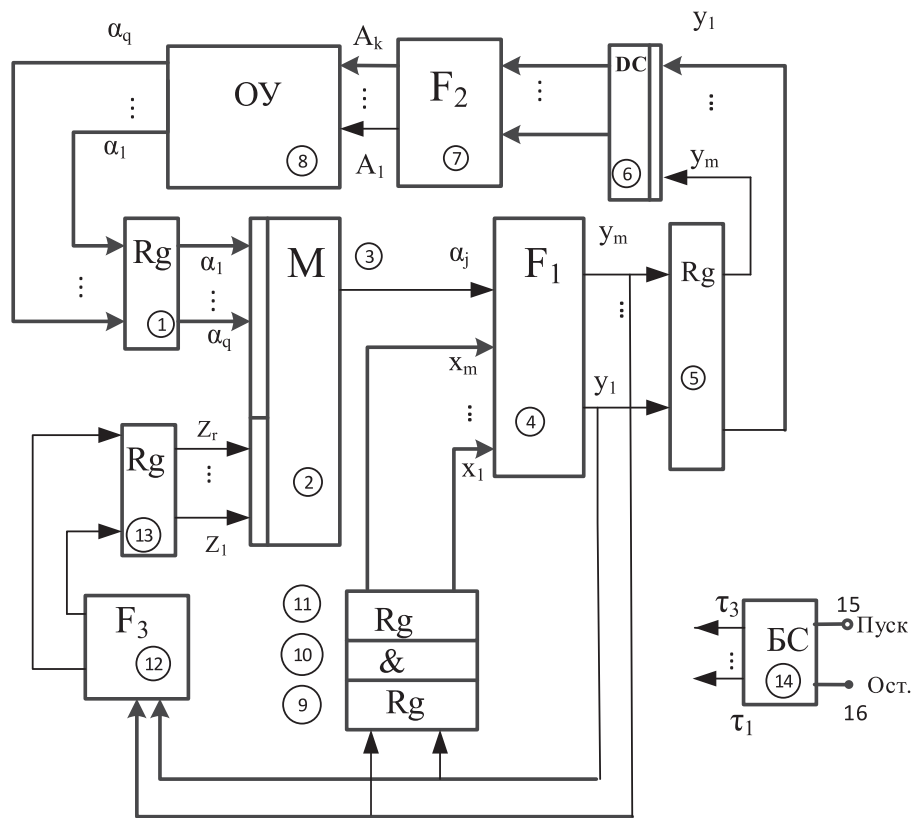


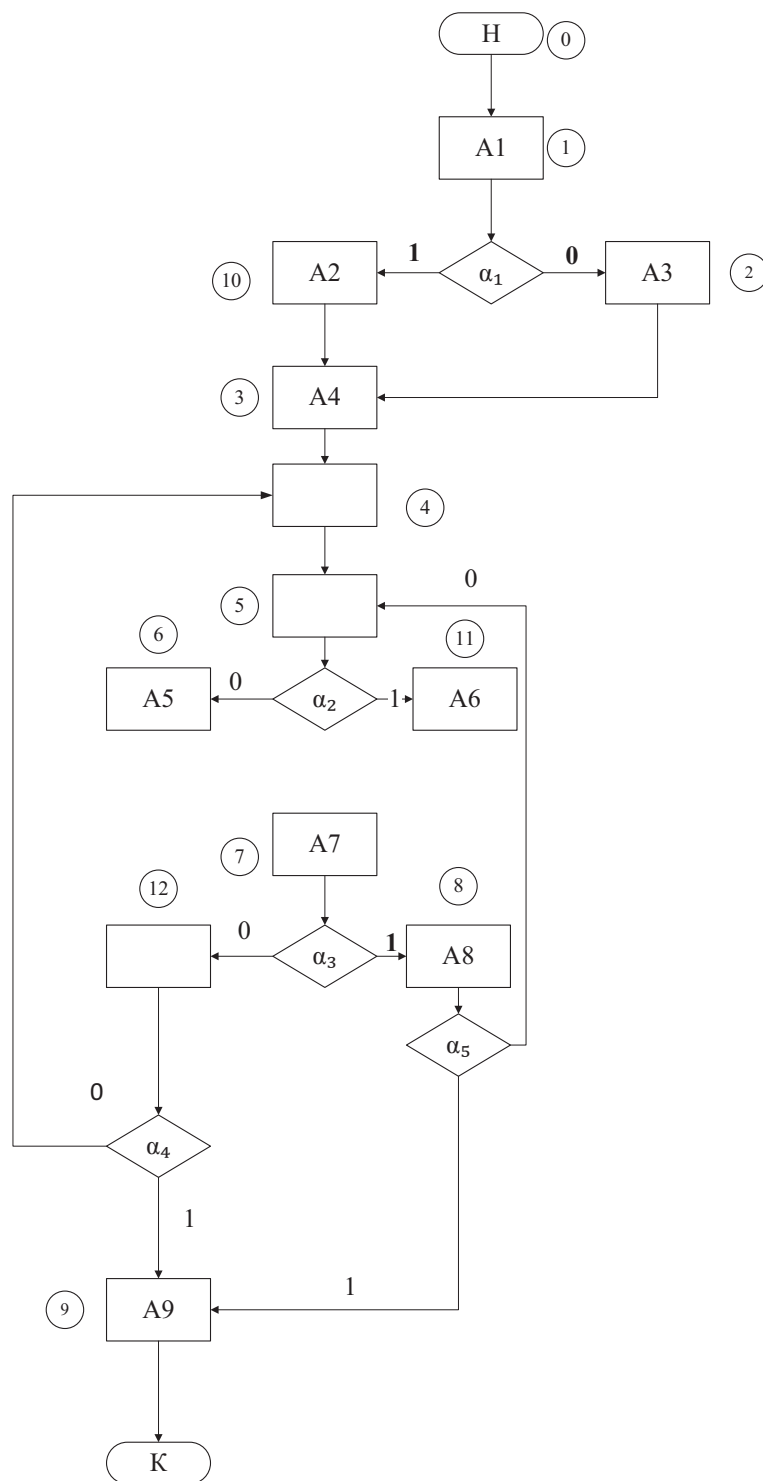
Рис. 6. Управляющий автомат Мухопода

Методика преобразования ГСА детально изложена в работе [5]. Основные этапы методики сводятся к следующему:

1. Рядом стоящие логические условия  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  разделяются пустым оператором.
2. Пустой оператор ставится перед любым логическим условием  $\alpha_j$ , если к нему осуществляется переход от двух других операторов и более.
3. За счет ввода пустых операторов ГСА приводится к такому виду, чтобы к любому оператору действия передавалось управление не более чем от двух других операторов.

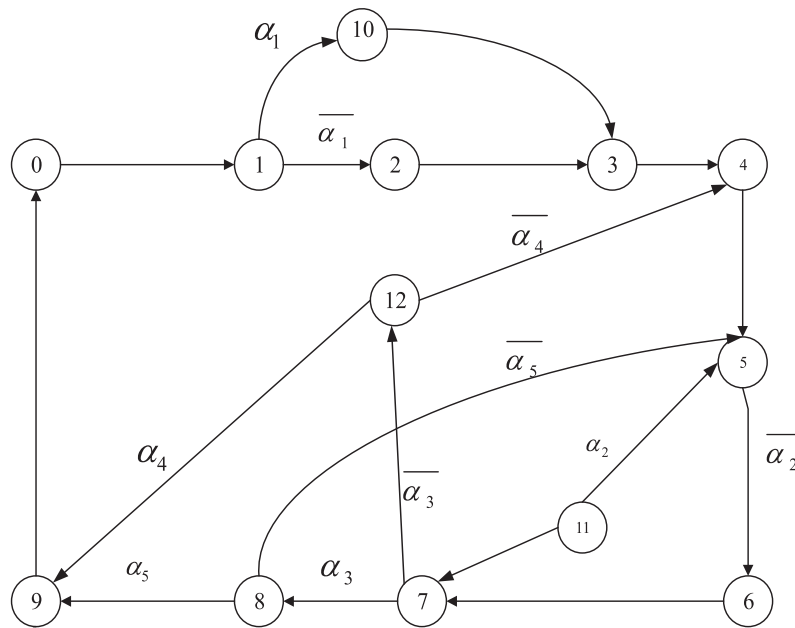
Алгоритм выбора режимов скоростного поезда (рис. 2) преобразуется к виду ГСА (рис. 7) с графом переходов (рис. 8), на которых состояниям 4, 12 соответствуют пустые операторы. Для управляющего автомата нового типа объем ПЗУ  $W = m_p 2^{m+1}$ . Для ГСА криптографической защиты  $q = 5$ ,  $m_p = 8$ ,  $W$





**Рис. 7.** Преобразованный алгоритм выбора режимов скоростного поезда

= 512 бит. Выигрыш в объеме комбинационной схемы переходов составляет  $Q = V/W = 2^{q-1} = 16$ . При реализации  $F_1(4)$  на ПЛМ число входов ПЛМ снизится в  $K$  раз;  $K = (m + q) / (m + 1) = 1,8$ . Сравнительный анализ УАМг и УА нового типа приведен в столбцах 6–9 **табл. 1**. Кроме комбинационной схемы



**Рис. 8.** Граф переходов нового управляющего автомата

переходов, в управляющем автомате нового типа имеется комбинационная схема адресации  $F_3$  (12), которая реализует вычисления адреса одного логического условия в текущем периоде работы  $\alpha_j(T)$  управляющего автомата. Для определения режимов скоростного поезда  $\alpha_j$  выбирается в соответствии с табл. 2.

**Таблица 2.** Выбор логических условий

$\alpha_j$	1	2	3	4	5	0
$a(t)$	1	5	7	12	8	0, 2–4, 6, 9–11

Сложность схемы  $F_3$  (12) ниже сложности схемы  $F_1$  (4), так как на ее входе только код состояния  $a(t+1)$  без логических условий, а выходная разрядность кода адреса  $z_1 \dots z_r$  определяется по формуле  $r = \lceil \log_2 q \rceil$ , где символы  $\lceil \cdot \rceil$  обозначают правило получения целой части числа с округлением к большему значению. Для данного примера  $r = 3$ . Поэтому общие затраты оборудования на блоки  $M$  (2),  $F_3$  (12),  $P_7$  (13) примерно равны затратам на  $F_1$  (4).

Управляющий автомат нового типа имеет оригинальную структурную организацию [16], поэтому по аналогии с УАМг и УАМ<sub>л</sub> такие УА названы управляющими автоматами Мухопада с соответствующим обозначением УАМх. Наиболее эффективны УАМх для реализации ГСА с большим числом логических условий и состояний.

Общий вывод об эффективности УАМх не может быть сделан на основании нескольких примеров, даже если они относятся к типовым ГСА. Поэтому в табл. 1 приведена сравнительная оценка для всех типов управляющих авто-

матов. В структуре УАМх при реализации комбинационных схем как на ПЗУ, так и на ПЛИМ достигается значительное снижение объема комбинационных схем. Такая эффективность не может быть достигнута ни при одном из известных методов декомпозиции и минимизации булевых функций в структуре УАМг [7–11, 17]. УАМх соответствует простая программная модель, преимущества которой по сравнению с известными программами моделирования управляющих автоматов подробно описаны в работах [5, 18].

Способ предварительного преобразования ГСА с вводом пустых операторов дает возможность создавать и УАМг с меньшими затратами оборудования на реализацию комбинационной схемы переходов. В этом случае используется тот же граф переходов (см. рис. 5), как и в УАМх. Специфика этого графа в том, что в нем используются два типа переходов: безусловные и условные, которые осуществляются при проверке только одного логического условия. Эта особенность дает возможность использовать новую структурную организацию УАМг (рис. 9) с использованием унитарного кода для представления состояний автомата. В структуру УАМг вводится второй дешифратор DC (10). Хотя на  $F_1(2)$  подается полный кортеж логических условий  $\alpha_1 \dots \alpha_q$ , в схеме  $F_1(2)$  для реализации будет выбрано лишь одно значение  $\alpha_j \in \{\alpha\}$ .

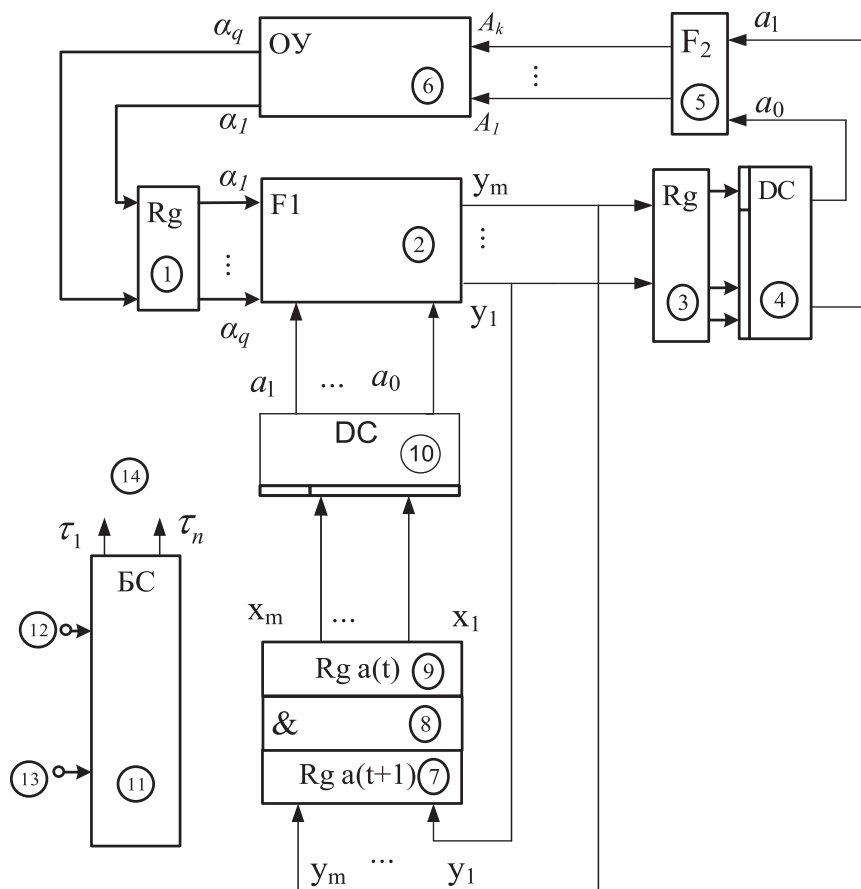


Рис. 9. Управляющий автомат Мура с унитарным кодированием состояний

Такая выборка  $\alpha_j$  без мультиплексора осуществляется за счет того, что второй дешифратор выдает считывающий импульс на  $F_1(2)$  только для одного текущего состояния  $a(t)$ , которому соответствует свое значение  $\alpha_j \in \{\alpha\}$ . Правильно выбора логических условий для ГСА криптографической защиты информации (см. рис. 4) приведено в табл. 3, а для задачи выбора режимов скоростного поезда – в табл. 2.

**Таблица 3.** Выбор логических условий

$\alpha_j$	1	2	3	4	0
$a(t)$	2, 7, 24, 13	6, 10	16	17	0, 1, 3–5, 11, 12, 14, 15, 18–23, 25, 27, 28

Реализацию комбинационной схемы, показанной на рис. 9, целесообразно осуществлять по двухступенчатой структуре в виде последовательности схем «И-ИЛИ». При этом в схеме будут использоваться только двухвходовые схемы «И». Следовательно, по сравнению с типовыми управляющими автоматами Мура комбинационная схема переходов предельно проста, так как в ней всего  $2q$  двухвходовых схем «И».

Новая структурная организация УАМг целесообразна для несложных автоматов, поскольку при увеличении сложности управляющим автоматом увеличивается число разрядов унитарного кода. Следовательно, число входов комбинационной схемы переходов может быть ограничивающим фактором для реализации.

Как УАМх, так и УАМг нового типа эффективны для реализации пневмо- и гидроавтоматики, для которой не разработаны ПЛИМ. Использование унитарного кода в УАМг не является новым подходом [6, 17, 19]. Так, например, в работе [19] предложены управляющие автоматы, в которых используется регистр сдвига с одной единицей, названный генератором распределенных во времени импульсов или генератором тактов. Однако для синтеза УАМг с предварительным преобразованием ГСА предложений не было.

При синтезе управляющего автомата для железнодорожной автоматики, мехатроники и технологических процессов необходимо рассматривать три возможных решения: управляющий автомат Мура; управляющий автомат Мура с унитарным кодированием; управляющий автомат Мухопида.

### 3 Анализ структурной организации управляющего автомата

Проанализируем эти управляющие автоматы по структурным моделям систем. Простейшей является структурная модель В.М. Глушкова в виде операционного устройства (объект управления) и автомата управления. Эта модель наиболее распространена, но она недостаточна для анализа аналогово-цифровых

систем и даже конечных автоматов. В работе [4] доказано, что пятиблоковая модель является универсальной. Произведем системный анализ управляющего автомата по модели ФИЛАУ.

Управляющий автомат Мура:

Ф – комбинационная схема переходов  $F_1$ ;

И – два регистра памяти состояний с парафазной связью;

Л – регистр памяти логических условий;

А – подсистема отсутствует;

У – блок синхронизации.

Управляющий автомат Мура нового типа: дополнительно введена адресная подсистема (А) в виде второго дешифратора, формирующего унитарный код состояния  $a(t)$  для выбора соответствующего логического условия в каждом периоде работы автомата.

Управляющий автомат Мухопода:

– введена адресная подсистема (А), которая реализована в виде третьей комбинационной схемы  $F_3$  с регистром адреса мультиплексора;

– кроме регистра памяти, в логическую подсистему (Л) введен мультиплексор.

Во всех трех типах управляющих автоматов имеются дешифратор и комбинационная схема формирования исполнительных команд  $F_2$ , однако эти блоки обычно относят к объекту управления для снижения количества связей между этим объектом и управляющим автоматом.

Системный анализ структурной организации управляющего автомата позволяет сделать вывод о том, что именно отсутствие адресной подсистемы приводит к необходимости усложнения функциональной подсистемы управляющего автомата. В УАМх и УАМг нового типа удастся существенно снизить аппаратные затраты на реализацию комбинационных схем. Рассматриваемые структурные организации управляющего автомата нового типа не являются единственными, но для всех вариантов общим является предварительное преобразование ГСА и введение адресной подсистемы.

## Заключение

Для управления сложными техническими системами железнодорожной автоматики, мехатроники и технологических процессов наиболее эффективны управляющие автоматы, созданные по алгоритмам с предварительно преобразованной граф-схемой. Основу преобразований составляет ввод пустых операторов между рядом стоящими логическими условиями, если между ними нет оператора действия; а также перед логическим условием, если к нему передается управление от двух операторов, или перед оператором действия, если к нему передается управление от двух и более операторов. Такие преоб-

разования дают возможность ввести мультиплексор для передачи на вход комбинационной схемы с оригинальной структурной схемой автомата Мухопида только одного логического условия в каждом периоде или для выбора одного логического условия без мультиплексора в автомате Мура при использовании унитарного кодирования состояний. Управляющие автоматы Мухопида наиболее эффективны для систем со сложными алгоритмами управления при большом числе логических условий и операторов действия. Управляющие автоматы Мура, синтезированные по методике с предварительно преобразованным алгоритмом, ранее не применялись, они эффективны для создания простых систем управления пневмо- и гидроавтоматикой. Для железнодорожной автоматики возможно существенное упрощение и повышение безопасности функционирования сложных технических систем с применением автоматов нового типа.

## Библиографический список

1. Сапожников Вал. В. Теория дискретных устройств ж. д. автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Ю. М. Кравцов. – М. : Транспорт, 2001. – 368 с.
2. Уилмсхерст Т. Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров PIC / Т. Уилмсхерст. – М. : МК-Пресс, 2008. – 543 с.
3. Мухопида Ю. Ф. Микроэлектронные системы управления / Ю. Ф. Мухопида. – Братск : БрГУ, 2009. – 285 с.
4. Мухопида Ю. Ф. Теория дискретных устройств / Ю. Ф. Мухопида. – Иркутск : ИрГУПС, 2010. – 172 с.
5. Мухопида А. Ю. Теория управляющих автоматов сложных технических систем реального времени / Ю. Ф. Мухопида. – Новосибирск : Наука, 2015. – 175 с.
6. Закревский А. Д. Алгоритмы синтеза дискретных автоматов / А. Д. Закревский. – М. : Наука, 1971. – 511 с.
7. Гаврилов М. А. Логическое проектирование дискретных автоматов / М. А. Гаврилов, В. В. Девятков, Е. И. Пупырев. – М. : Наука, 1977. – 368 с.
8. Баранов С. И. Синтез автоматов на элементах с матричной структурой / С. И. Баранов, В. Н. Синев, Н. Я. Янцен // Проектирование функционально-ориентированных вычислительных систем. – Л. : ЛГУ, 1990. – С. 90–108.
9. Горбатов В. А. Теория автоматов / В. А. Горбатов, А. В. Горбатов, М. В. Горбатова. – М. : Астрель, 2008. – 699 с.
10. Соловьев В. В. Логическое проектирование цифровых систем на основе ПЛИС / В. В. Соловьев, А. Климович. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 374 с.
11. Уилкинсон Барри. Основы проектирования цифровых схем / Барри Уилкинсон. – М. ; Киев ; СПб. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 320 с.
12. Марюхненко В. С. Информационное обеспечение подвижных транспортных средств на основе интегрированных навигационных систем / В. С. Марюхненко,

- В. В. Демьянов, Ю. Ф. Мухопад, Б. М. Миронов. – Новосибирск : Наука, 2014. – 256 с.
13. Юренко К. И. Математическое моделирование движения скоростного поезда / К. И. Юренко, В. В. Фандеев, В. В. Нефедов // Труды XXVII Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». Т. 5. – Саратов : СарГТУ, 2014. – С. 150–154.
  14. Яковлев В. В. Информационная безопасность и защита информации в корпоративных сетях железнодорожного транспорта / В. В. Яковлев, А. А. Корниенко. – М. : Транспорт, 2002. – 336 с.
  15. Пат. 2475838 Российская Федерация. Устройство криптографической защиты информации / Мухопад А. Ю., Мухопад Ю. Ф., опубл. 07.11.2011, Бюл. № 5.
  16. Пат. 2527190 Российская Федерация. Управляющий автомат. Мухопад А. Ю., Мухопад Ю. Ф., Пунсык-Намжилов Д. Ц., Матвеев Е. Н., опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
  17. Труды по теории синтеза и диагноза конечных автоматов и релейных устройств ; под ред. Вал. В. Сапожникова и Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Элмор, 2009. – 894 с.
  18. Мухопад Ю. Ф. Проектирование специализированных микропроцессорных вычислителей / Ю. Ф. Мухопад. – Новосибирск : Наука, 1981. – 162 с.
  19. Мухопад А. Ю. Структурно-автоматное программирование / А. Ю. Мухопад // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов : сб. науч. статей VI Международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2016. – С. 43–48.

Yuri F. Mukhopad,  
Aleksandr Yu. Mukhopad,  
Daba C. Punsik-Namzhirov  
*The chair of «Automation of production processes»  
Irkutsk State Transport University  
Russia*

### **Structure organization of controlling automatic of technical systems of railway automatics**

These issues were observed in the article structural organization of the controlling automata of (CA) railway systems. There is given a mathematical model of the Moore automata. There presented the original structure of CA of a new type, called Mukhopad automata, which are characterized by small costs of implementation of combinational schemes due to the input of the multiplexer and combinative addressing scheme for the selection of one logical conditions out of the entire variety for each period of work of the CA. There is a comparative evaluation of the complexity of the combinational scheme of transitions for the CA of Moore and



the CA of Mukhopad at the implementation at ROM and PLA. There given a new organization of CA of Moore with a unitary encoding of the states with preliminary conversion of the controlling algorithm due to the introduction of empty operators separating logical conditions. It is shown that in the new structure of CA of Moore the complexity of the combinational circuit is significantly reduced by using only double-enter logical elements «I», the number of which is only twice as more logical conditions. There given a systematic analysis of all types of CA and it is concluded that the effect of reducing the cost of the combinative scheme is achieved by the input of an address subsystem, which was absent in CA of Moore.

railway automatics; controlling automata; algorithm; combinational circuit; the structural organization of automata

## References

1. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Kravtsov Yu. M. (2001). Theory of discrete devices of railway automatics, telemechanics and communication [Teoriya diskretnykh ustroystv zh d avtomatiki telemekhaniki i svyazi]. Moscow, Transport. – 368 p.
2. Wilmshurst T. (2008). The designing of embedded systems with PIC microcontrollers [Razrabotka vstroennykh sistem s pomoschyu mikrokontrollerov PIC]. Moscow, MK-Press. – 543 p.
3. Mukhopad Y. F. (2009). Microelectronic control systems [Mikroelektronnye sistemy upravleniya]. Bratsk, BrGU. – 285p.
4. Mukhopad Yu. F. (2010). Theory of discrete devices [Teoriya diskretnykh ustroystv]. Irkutsk, Irkutsk State Transport University [IrGUPS]. – 172 p.
5. Mukhopad A. Y. (2015). Theory of control automata of complex technical real time systems [Teoriya upravlyayuschih avtomatov slozhnykh tekhnicheskikh sistem realnogo vremeni]. Novosibirsk, Nauka. – 175 p.
6. Zakrevsky A. D. (1971). Algorithms of synthesis of discrete automats [Algoritmy sinteza diskretnykh avtomatov]. Moscow, Nauka. – 511 p.
7. Gavrilov M. A., Devyatkov V. V., Pupyrev E. I. (1977). The logical design of discrete automats [Logicheskoe proektirovanie diskretnykh avtomatov]. Moscow, Nauka. – 368 p.
8. Baranov S. I., Sinev V. N., Janzen N. I. (1990). The Synthesis of automats on the elements with a matrix structure [Sintez avtomatov na elementah s matrichnoy strukturoy]. Design of functionally oriented computational systems [Sintez avtomatov na elementah s matrichnoy strukturoy]. Leningrad, LSU. – Pp. 90–108.
9. Gorbatov V. A., Gorbatov A. V., Gorbatova M. V. (2008). Theory of automats [Teoriya avtomatov]. Moscow, Astrel. – 699p.
10. Solovyov V. V., Klimovich A. (2008). Logical design of digital systems based on FPGA [Logicheskoe proektirovanie tsifrovyykh sistem na osnove PLIS]. Moscow, Goryachaya Liniya – Telekom. – 374 p.

11. Wilkinson Barry (2004). The basics of design of digital circuits [Osnovy proektirovaniya tsifrovyykh skhem]. Moscow, Publishing house «Williams» [Izdatelskiy dom Vilyams]. – 320 p.
12. Mariyukhnenko V. S., Demyanov V. V., Mukhopad Yu. F., Mironov B. M. Information support of mobile vehicles on the basis of integrated navigational systems [Informatzionnoe obespechenie podvizhnykh transportnykh sredstv na osnove integrirovannykh navigatsionnykh sistem]. Novosibirsk, Science [Nauka]. – 256 p.
13. Urenco K. I., Fandeyev V. V., Nefedov V. V. (2014). Mathematical modeling of a high-speed train [Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya skorostnogo poezda]. Proceedings of the XXVII int. scientific. conf. «Mathematical methods in technique and technology» [Trudy XXVII mezhd nauchn konf Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah], vol. 5. Saratov, Saratov State Technical University. – Pp. 150–154.
14. Yakovlev V. V., Kornienko A. A. (2002). Information security and information protection in corporate networks of railway transport [Informatsionnaya bezopasnost i zaschita informatsii v korporativnykh setyah zhd transporta]. Moscow, Transport. – 336 p.
15. Mukhopad A. Yu., Mukhopad Yu. F. Device cryptographic protection of information [Ustroystvo kriptograficheskoy zaschity informatsii]. Patent for the invention № 2475838 from 07 November 2011. BI No. 5, 2013. RU 2475 838 C1 МПК G06F 21/00 2013.01) H04L 9/00.
16. Mukhopad A. Yu., Mukhopad Y. F., Punsik-Namzhilov D. C., Matveev E. N. Microprogram automatic [Upravlyayuschiy avtomat]. Patent for invention No. 2527190, Russian Federation, IPC (51) G06F 9/00, No. 2013110986/08; Claimed: 12/03/2013.
17. Proceedings on the theory of synthesis and diagnosis of finite automata and relay devices [Trudy po teorii sinteza i diagnoza konechnykh avtomatov i releynykh ustroystv], under the editorship of Val. V. Sapozhnikov and Vl. V. Sapozhnikov (2009). St. Petersburg, Elmore. – 894 p.
18. Mukhopad Yu. F. (1981). Design of specialized microprocessor-based computers [Proektirovanie spetsializirovannykh mikroprotsessornykh vychisliteley]. Novosibirsk, Nauka. – 162 p.
19. Mukhopad A. Yu. (2016). Structural-automatic programming of multi-core processors, parallel programming, FPGA, system of processing of signals [Strukturno-avtomatnoe programmirovaniye mnogoyadernye protsessory parallelnoe programmirovaniye PLIS sistemy obrabotki signalov]. Collection of scientific articles VI International scientific-practical conference [Sbornik nauchnykh statey VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]. Barnaul. – Pp. 43–48.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым  
Поступила в редакцию 17.11.2017, принята к публикации 04.12.2017*

*МУХОПАД Юрий Федорович* – доктор технических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный профессор Иркутского государственного университета путей сообщения.  
e-mail: [bts48@mail.ru](mailto:bts48@mail.ru)

---

*МУХОПАД Александр Юрьевич* – доктор технических наук, доцент Иркутского государственного университета путей сообщения.  
e-mail: jcmg@mail.ru

*ПУНСЫК-НАМЖИЛОВ Даба Цыренович* – кандидат технических наук, доцент, генеральный директор ООО «Химтех-Юкос».  
e-mail: tomskalina@mail.ru

© Мухопад Ю. Ф., Мухопад А. Ю., Пунсык-Намжилов Д. Ц., 2018