 УДК 681.586:681.587.357

Ю.Ф. Мухопад[1], А.З., Комков[2], А.Ю. Мухопад[1], Д.Ц.Пунсык-Намжилов[3]

[1] Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация
[2] ООО «Кубань», г. Краснодар, Российская Федерация
[3] ООО «Химтех-Юкос», Российская Федерация

УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ПНЕВМОАВТОМАТИКИ

Аннотация. Рассматриваются вопросы синтеза управляющих автоматов сложных систем пневмоавтоматики. Для снижения объема пневмоматриц комбинационных схем переходов предлагается использовать новый принцип определения состояний управляющих автоматов с разметкой в граф-схемах алгоритмов входов, как операторов действия, так и операторов проверки логических условий. При этом с одной комбинационной схемой переходов, как в автоматах Мура, может осуществляться режим формирования команд как в автоматах Мили, но с сохранением преимуществ автомата Мухопада за счет выбора одного логического условия по коду состояния. Комбинационная пневмоматрица схемы переходов реализуется в виде многослойной структуры с передачей пневмоимпульсов при использовании специального кода из нескольких трехразрядных групп с одной единицей в группе. Рассмотрен пример реализации пневмосистемы управления замедлением и торможением железнодорожных вагонов. Подтверждена высокая эффективность новой структурной организации автоматов с объемными пневмоматрицами.

Ключевые слова: алгоритм, технические системы, управляющие автоматы, комбинационные схемы, пневмоэлементы, пневмоматрицы, вагонные замедлители.

THE CONTROL DEVICES OF PNEUMATIC

Yu.F. Mukhopad[1], A.Z Komkov[2], A.Yu. Mukhopad[1], D.C.Punsik-Namzhilov[3]

[1] Irkutsk State Transport University, Russian Federation
[2] LLC «Kuban», Russian Federation
[3] LLC «Himtex-Yukos», Russian Federation

Abstract. Deals with the synthesis of control automata complex systems of pneumoautomatics. To reduce the amount of pneumometric combinational circuits transitions is proposed to use a new principle determining the conditions of control automata with markup in graph-schemes of algorithms inputs as action statements, and operators test the logical conditions. With the one matching scheme of the transitions, as in Moore machines may be the mode of formation of commands in the machines Miles, but maintaining the advantages of automatic Muhopad by selecting one of the logical conditions for the status code. Combinational pneumometric navigation scheme is implemented in a multilayer structure with the transfer of pneumoimpulsive using a special code from several three-digit groups with one group. The example of implementing the pneumatic control deceleration and braking of railway cars. Confirmed high effectiveness of the new structural organization of the machines with a volumetric pneumatically.

Keywords: Algorithm, technical systems,control machines, combinational circuit, the gas strut, pneumometric, railway car retarders.

Введение

Для управления технологическими процессами невысокого быстродействия используются аппаратно-программные структуры на микроконтроллерах. Но для ряда технологических процессов в нефтегазовых распределенных системах, токсичных, пожаро- и взрывоопасных производствах использование электрических элементов даже с низким

уровнем напряжения оказывается недопустимым. В этих случаях осуществляется переход к пневмоавтоматике [1-3]. Необходимость применения пневмоавтоматики возникает также для сложных технических систем (СТС), подвергающихся интенсивным электромагнитным, радиационным, вибрационным, ударным воздействиям и большим температурным перепадам [4-6]. Пневмоэлементы используются в специализированных приводах, хотя имеются примеры создания логических схем и управляющих автоматов (УА) в пневмонике [7-10]. УА таких систем реализуются по структуре Мура (УАМr), основой которой является комбинационная схема переходов (пневмоматрица) объемом $V = m2^{m+q}$, где m – разрядность кода состояний a(t), q- количество логических условий $\propto_1 \ldots \propto_q$ [11-14]. Пример ГСА для УАМr приведен на рис.1 с графом переходов рис.2 и таблицей переходов 1.

1.Постановка задачи исследований

УА разделяются на сверхпростые (СП), простые (ПА), средней сложности (СА), сложные (АС), высокой сложности (ВС), особо сложные (ОС) и ультрасложные (УС). Даже для УА средней сложности объем пневмоматрицы значителен, т.к. при m=5, q=9, значение V>80кб. Для СТС целесообразно использовать УА с новой структурной организацией Мухопада (УАМх), основанной на введении в УАМr мультиплексора, дополнительной схемы адресации и регистра адреса для выбора одного $\alpha_j \in \{\alpha\}$ по коду $y_1 \ldots y_m$ следующего состояния a(t+1), в этом случае объем пневмоматрицы схемы переходов снизится в $Q=2^{q-1}$ раз и определится как $W = m2^{m+1}$. Для УАМх класса СА значение W=6кб [15-17].

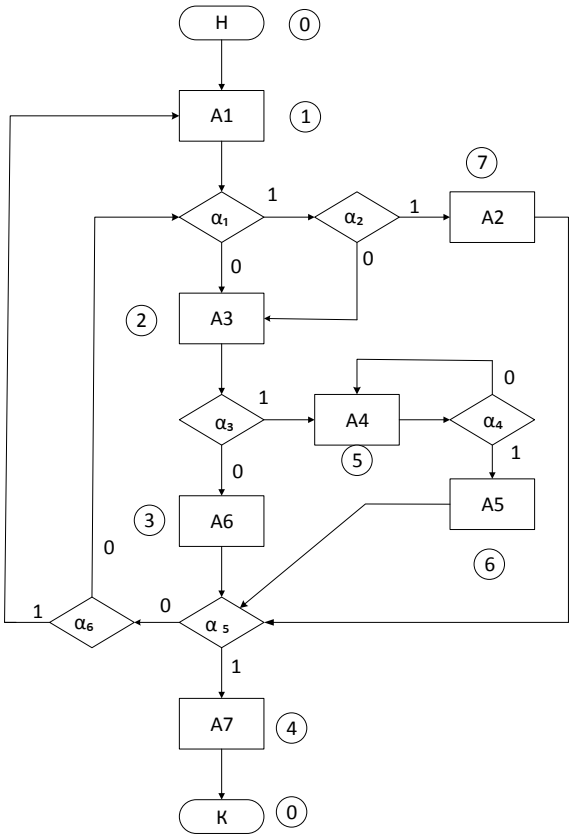

Рис.1 Разметка ГСА для управляющего автомата Мура (УАМr)

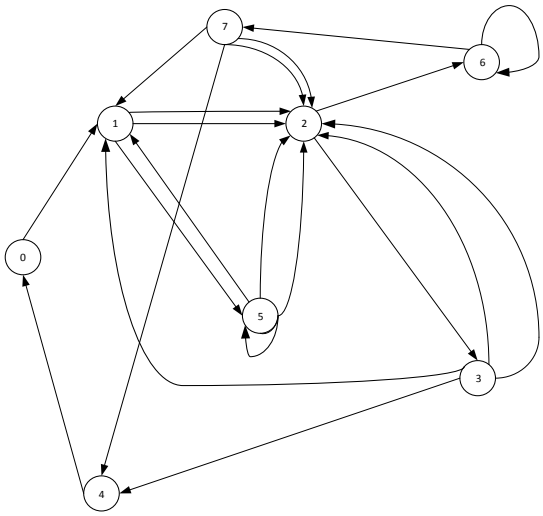

Рис.2 Граф переходов УАМr

Таблица 1

Таблица переходов

a(t)	α	a(t+1)	a(t)	α	a(t+1)
0	-	1	3	$\overline{\alpha_5}\ \overline{\alpha_6}\ \overline{\alpha_1}$	2
1	$\overline{\alpha_1}$	2	3	$\overline{\alpha_5}\ \overline{\alpha_6}\alpha_1$	2
1	$\alpha_1\overline{\alpha_2}$	2	7	$\overline{\alpha_5}\ \overline{\alpha_6}\ \overline{\alpha_1}$	2
2	$\overline{\alpha_3}$	3	7	$\overline{\alpha_5}\ \overline{\alpha_6}\alpha_1$	2
3	α_5	4	2	α_3	6
4	-	0	3	$\overline{\alpha_4}$	6
1	$\alpha_1\alpha_2$	5	3	α_4	7
5	$\overline{\alpha_5}\alpha_6$	1	7	$\overline{\alpha_5}$	4
5	$\overline{\alpha_5}\ \overline{\alpha_6}\alpha_1\alpha$	5	3	$\overline{\alpha_5}\alpha_6$	1
5	$\overline{\alpha_5}\ \overline{\alpha_6}\ \overline{\alpha_1}$	2	7	$\overline{\alpha_5}\alpha_6$	1
5	$\overline{\alpha_5}\ \overline{\alpha_6}\alpha_1\overline{\alpha}$	2	5	$\overline{\alpha_5}\alpha_6$	1

На рис.3 представлена преобразованная ГСА для синтеза УАМх, а граф переходов на рис.4. Сравнительный анализ комбинационных схем переходов для всех типов УАМr и УАМх приведен в таблице2. В таблице 2 значение q-V/W определяет степень снижения объемов ПЗУ, а коэффициент К показывает снижение количества входов в ПЛМ.

Хотя объем пневмоматрицы значительно снижается, структура УАМх более сложна за счет ввода нескольких непростых блоков и связей между ними. Возникает необходимость определить такую структуру УАМх в которой была бы только одна комбинационная схема.

2. Метод синтеза управляющих устройств пневмоавтоматики

Такую структуру можно разработать, если изменить принцип определения состояния УА. Определим состояние a(t) по входам, как операторов действия, так и логических операторов. Тогда заданный алгоритм управления (рис.1) после разметки состояний по новому принципу примет вид рисунка 5 с графом переходов рис.6. Заметим, что в граф-схему алгоритма (ГСА) рис.5 введен пустой оператор для ликвидации петли. Как видно из графа в нем нет простых безусловных переходов непомеченных символами логических условий или операторов действия.

Структурная схема нового автомата (НУАМх) представлена на рис.7[21]. Вместо типового мультиплексора введен логический блок, который выполняет ту же функцию, что и мультиплексор, но с использованием только q логических элементов «И». Дешифратор DC(3) разделен на два непересекающихся подмножества, одно из которых осуществляет выбор операторов действия $A_1 \ldots A_k$, а второе выбор логических условий.

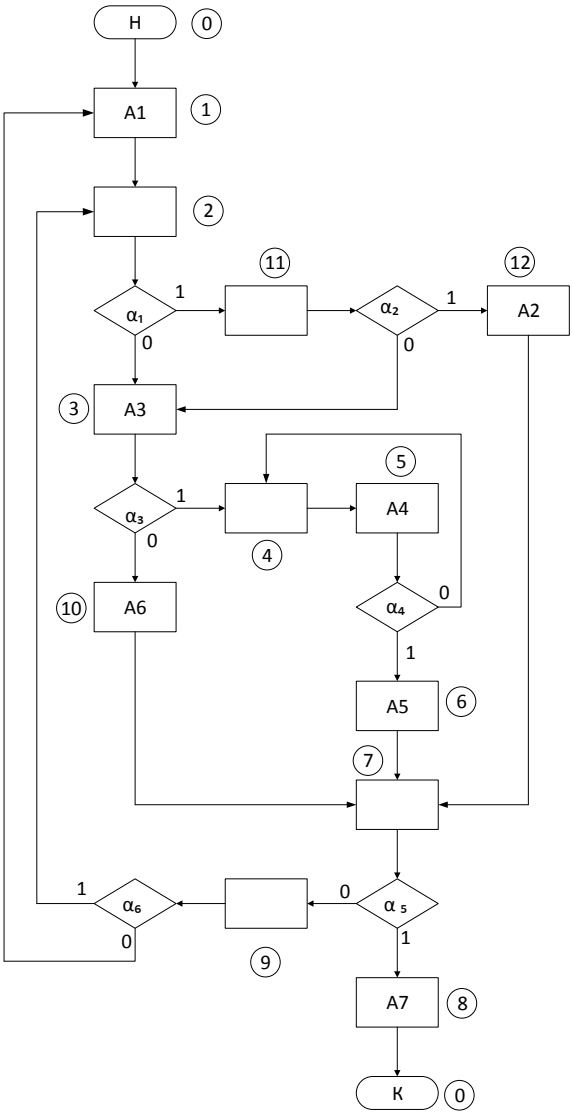

Рис.3 Разметка ГСА для УАМх

Таблица 2

Характеристики управляющих автоматов

№	Тип	m	q	m+q	m+1	V	W	K	m_p	Q
1	СП	3	3	6	4	256	64	1,5	4	4
2	ПА	4	6	10	5	2кб	256	2,0	4	8
3	СА	5	9	14	6	128кб	512	2,3	8	256
4	АС	6	12	18	7	2Мб	1кб	2,6	8	$2*10^3$
5	ВС	7	15	22	8	32Мб	2кб	2,7	8	$16*10^3$
6	ОС	8	18	26	9	0,5Гб	4кб	2,9	8	$12*10^4$
7	УС	9	21	30	10	12Гб	12кб	3	12	$1*10^6$

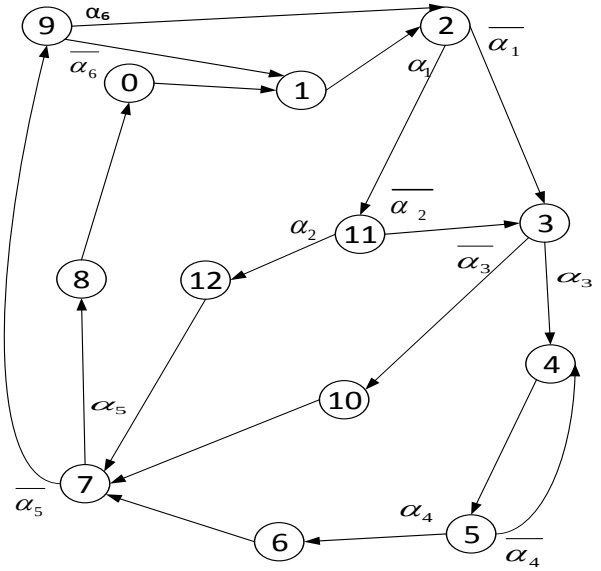

Рис.4 Граф переходов УАМх

В НУАМх команды выдаются на переходах, но при этом нет дополнительной комбинационной схемы как в УА Мили (УАМ$_l$).

Длительность команд в этом случае равна длительности синхроимпульса переходов – τ. Если необходимы команды большей длительности (T>>τ), то в блоке синхронизации необходимо предусмотреть таймер для выдержки времени. Как видно уровень сложности нового управляющего автомата понизился и при том же объеме комбинационной схемы переходов W реализация пневмоматрицы на элементах пневмоавтоматики или пневмоники не представит затруднений.

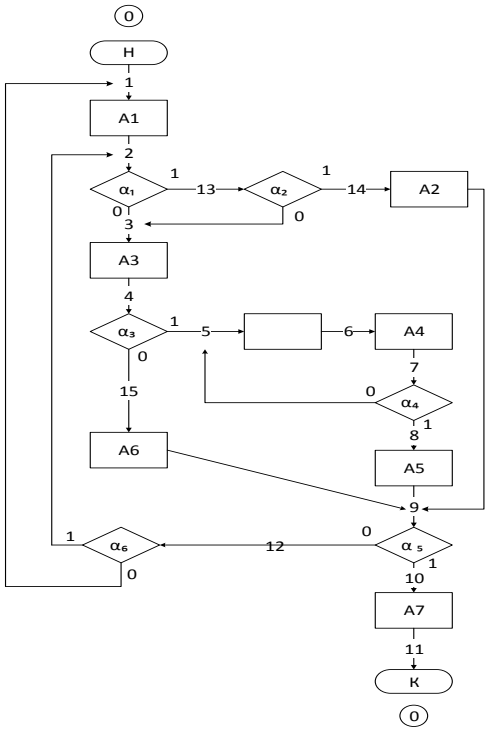

Рис.5 Разметка ГСА для НУАМх

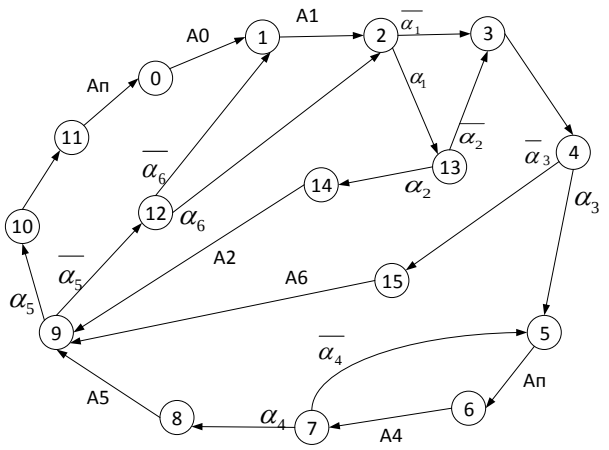

Рис.6 Граф переходов НУАМх

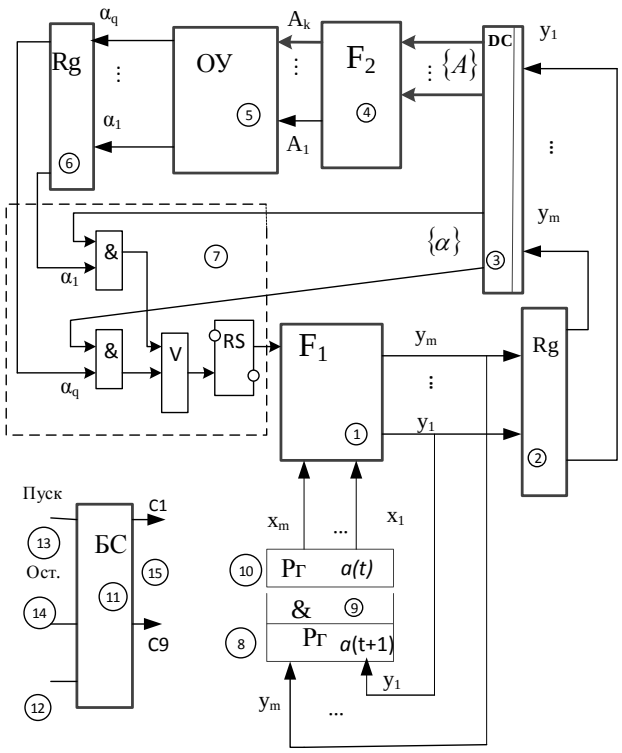

Рис.7 Структурная схема нового управляющего автомата (НУАМх)

3. Реализация пневмоматриц

Авторы работ [18-20] предложили новый подход к конструктивной реализации пневмоматриц. Основными принципами этого подхода являются:

1. Отход от плоскостной конструкции и использование метода построения объемной комбинационной техники за счет управляемого перехода от одного на другой уровень в многопакетной слоистой структуре;
2. Использование вместо двоичного позиционного кода (ДПК) геометрического кода (ДГК), в котором каждым двум разрядам ДПК сопоставляются три выхода, соответствующих комбинациям 001,010,100. Тогда любому числу ДПК соответствует ДГК с фиксированным числом единиц в коде. Количество единиц равно числу трехразрядных групп. Общая разрядность ДГК ≈ в полтора раза выше общей разрядности ДПК, однако все элементы связи в пневмоматрице имеют один и тот же коэффициент ответвления.

3. Использование в качестве активных пневмоэлементов ниппельных элементов или резко сужающихся пневмопроводов (струйных пневмодиодов) с выходом в основной пневмопровод.

На рис. 8 приведен элемент связи для матричной структуры одной группы (т.е. для ДГК соответствующего двум разрядам ДПК) и его электрический аналог.

Одна из созданных конструкций предусматривает два варианта перенастройки:

- при редкой смене программ корпус отсоединяется от верхней платы и в гнезда, соответствующие программе устанавливаются глухие или полые пальцы;

- при частом перепрограммировании снимается только нижняя плита и ее чашеобразное углубление закладываются упругие запирающие подушки также в соответствие с программой.

При использовании второго варианта требуется во все узлы матрицы при первоначальной сборке устанавливать только полые пальцы. Если несколько (2-4) расположенных рядом выходных каналов объединить в одну группу и дополнить их промежуточными каналами с выходами в особый дешифратор, то программирование возможно установкой лишь одного детектирующего элемента в узел, где пересекаются входной канал и определенный, входящий в данную группу выходной либо относящийся к группе промежуточный канал. Причем в зависимости от числа объединяемых в группу выходных каналов, общее число промежуточных каналов составляет соответственно 1,4 или 11, обеспечивая всевозможные комбинации проводящих и непроводящих узлов. В этом случае, неработающие узлы либо отключаются, либо запираются соответствующими способами. Уменьшение общего числа детектирующих элементов пневмоматрицы в пределах рассматриваемой группы, обеспечивается за счет того, что дешифратор является общим для группы выходных каналов. Таким образом, появляется возможность экономии достаточно сложных детектирующих элементов путем их замены более простыми: пробками или заглушками.

4. Структурная организация

На ж.д. транспорте для расформирования и формирования поездов используются сортировочные горки. В составе средств автоматизации роспуска составов используется управляющая пневмоаппаратура со сжатым воздухом и регулированием давления в тормозных цилиндрах вагонных замедлителей. Аппаратура состоит из воздухосборника, двух электропневматических клапанов и контактного регулятора давления, который содержит три кольцевых трубки, изгиб каждой из которых уменьшается с возрастанием давления подаваемого в нее воздуха. Вагонные замедлители используются для регулирования скорости движения скатывающихся с горки отцепов. Замедлитель рассчитан на 4 ступени торможения. Градации давления в тормозном цилиндре для каждой ступени торможения, представляющие собой 3 кольцевые трубки, запаянные с одного конца и систему контактов. Замыкание и размыкание контактов происходит за счет изменения кривизны трубок под давлением.

Вместо существующей системы с изгибаемыми трубками для включения контактов при различных уровнях давления можно применить программно-ориентированную настройку регулятора давления и реализовать полностью пневматическую систему управления нижнего уровня на основе пневмоматриц (рис. 9). В гнездах матрицы устанавливаются турбулентные пневматические дроссели с одинаковым проходным сечением, либо пробки – заглушки. Различное количество дросселей обеспечивает различный расход воздуха в каждом из выходных пневмопроводов матрицы. При увеличении количества гнезд для установки дросселей или пробок-заглушек для каждого из выходов матрицы увеличивается точность настройки устройства, а следовательно и точность регулирования давления в тормозных цилиндрах вагонных замедлителей. В составе управляющей аппаратуры используется четырехпозиционный электропневматический клапан с двумя входами и

четырьмя выходами, подключаемый к пневмоматрице четырьмя выходами. Два входа подключаются к тормозной магистрали и к объекту управления – тормозному цилиндру.

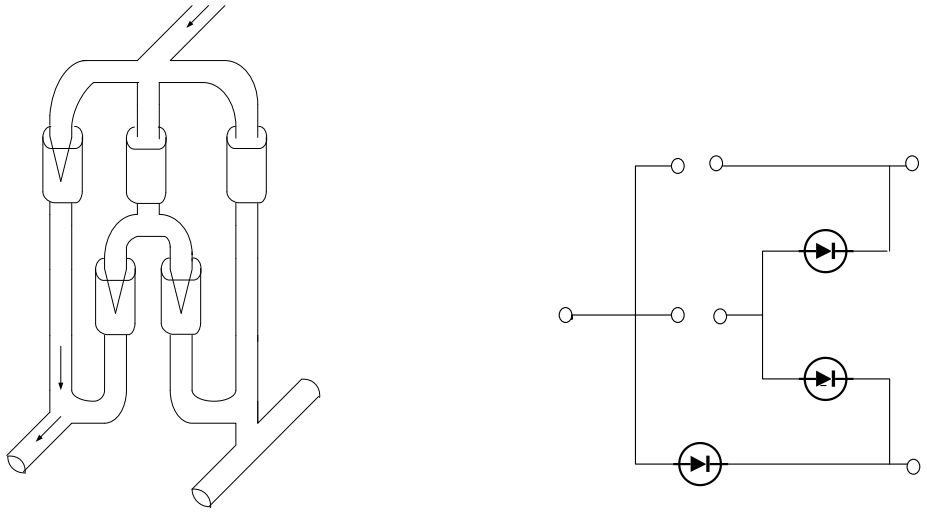

Рис.8 Элемент связи для матричной структуры и его электрический аналог

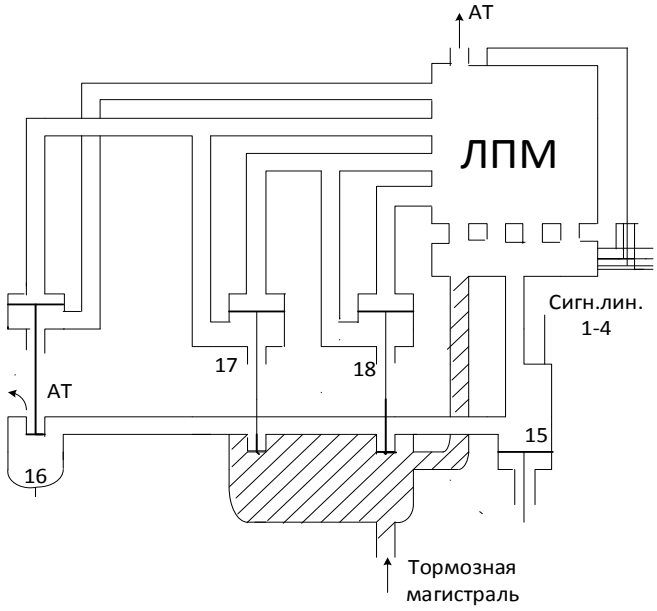

Рис.9.Альтернативная схема управления вагонными замедлителями

Предлагаемая система управления вагонным замедлителем работает следующим образом: регулирование давления в тормозном цилиндре 15 для каждой ступени торможения обеспечивается за счет различных временных интервалов открытия клапанов 16,17,18, которые устанавливаются по заранее заложенной программе. Фактически пневматическая программно-перестраиваемая матрица (ЛПМ) обеспечивает различный расход сжатого воздуха на каждом из своих выходов и изменяется скорость нарастания давления в каждом из приемников. Тем самым изменяется время открытия управляющих клапанов. Функционирование первой ступени торможения подробно описано в работе [20].

Серийно изготавливаемые пневматические средства работают со стандартным изменением давления на входе матрицы на величину $1{,}4*10^5$Па. Линейные размеры пневмоматрицы определяются из допустимых размеров составляющих ее элементов:

толщина верхних и нижних плат – 5мм, средняя плата с совмещенными в ней ниппельными элементами – 10мм, длина одного пневматического ниппеля – 8мм, а диаметр проходных сечений ниппелей и пневмокоммуникаций составляет 1,8мм и 2мм соответственно. Толщина стенок между каналами пневмокоммуникаций =2мм и при числе входов =12 при 10 выходах габаритные размеры пневмоматрицы составят 35х40х20мм. При этом тактовая частота составит порядка 800гц.

Заключение

Применение матричных пневмоструктур обеспечивает их эффективное использование в составе пневматических управляющих комплексов на предприятиях нефтяной, газовой, химической, горной промышленности и транспорте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пашков Е.В., Электропневмоавтоматика в производственных процессах/Е.В.Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. – 495с.
2. Компоненты пневмоавтоматики: Каталог. – СПб.: ООО «ЭМСИ Пневмоавтоматика», 2002.–800с.
3. Рачков М.Ю. Пневматические средства автоматизации/М.Ю.Рачков. –М.: МГИУ, 2005. – 288с.
4. Юревич Е.И. Авария на Чернобыльской АЭС и экстремальная робототехника/Е.И. Юревич // Мехатроника, автоматизация, управление, 2004.– №3. – С.45-49.
5. Взрывозащищенная выносная система сопряжения с оборудованием нижнего уровня АСУ ТП // Индустриальные технологии: электронный журнал .– http://www.i-techno.ru/developers/note1_2002_2.pdf
6. Рачков М.Ю. Особенности управления пневматическими системами в ракетно-космической технике/М.Ю.Рачков // Наукоемкие технологии производства РКТ: сб. научн. тр.– М. , 2001.– вып.1.–С.267-273.
7. Мухопад Ю.Ф., Сажин Б.В. Мостовые вычислительные и управляющие устройства. –Иркутск: ИГУ, 1984. – 168 с.
8. Горюнов В.А. Разработка метода повышения эффективности струйных управляющих устройств систем автоматического управления технологическим оборудованием: Автореф. Дис. канд.техн. наук .– Волгоград: ВолгГТУ, 2001. – 19 с.
9. Шидловский С.В. Перестраиваемый структуры в системах автоматического управления технологическими процессами: Дис. канд. техн. наук. – Томск: ТУСУР, 2004. – 256с.
10. Хессе С. Пневмоавтоматика: 99 примеров/ С.Хессе.- Festo, 2000. – 297с.
11. Карпов Ю.Г. Теория автоматов/Ю.Г.Карпов.– СПб.: Питер, 2003. – 208 с.
12. Соловьев В.В., Логическое проектирование цифровых систем на основе ПЛИС / В.В.Соловьев, А.Климович.– М.: Горячая линия – Телеком, 2008, – 374 с.
13. Труды по теории синтеза и диагноза конечных автоматов и релейных устройств /под ред. В.В. Сапожникова и Вл.В. Сапожникова. – СПб.: Элмор, 2009. – 894с.
14. Мухопад Ю.Ф Теория дискретных устройств/Ю.Ф.Мухопад. – Иркутск: ИрГУПС, 2010.– 172 с.
15. Мухопад А.Ю., Мухопад Ю.Ф. Микропрограммный автомат// Патент на полезную модель № 82888, 2009. – БИ № 13.
16. Мухопад А.Ю., Мухопад Ю.Ф. Пунсык-Намжилов Д.Ц., Матвеев Е.Н. Управляющий автомат //Патент РФ № 2527190 от 27.08.2014. БИ №24 G06F 9/00 (2006.01).
17. Мухопад А.Ю. Теория управляющих автоматов технических систем реального времени / А.Ю. Мухопад. – Новосибирск: Наука, 2015. – 176с.
18. Комков А.З. Пневматические матричные структуры управления / А.З.Комков // Вестник ИрГТУ.Иркутск: ИрГТУ, 2006.-№4. – С.98-106.

19. Мухопад Ю.Ф, Бовкун А.Ф., Комков А.З. Программная матрица для пневматических систем управления дискретного действия / Полезная модель РФ № 62717, БИ №12, 2007, № 64792, БИ № 19,2007.

20. Комков А.З., Мухопад Ю.Ф. Управляющая аппаратура регулирования давления в рабочих цилиндрах вагонных замедлителей //Патент на полезную модель РФ№ 63307. – БИ № 15, 2007.

21. Положительное решение по заявке на полезную модель № 2018115113 /08(023616) Управляющий автомат. Мухопад Ю.Ф. Мухопад А.Ю., Пунсык-Намжилов Д.Ц. Приоритет от 23.04.2018.

REFERENCES

1. Pashkov E. V., Electropneumatice in production processes/E. V. Pashkov, Y. Osinskiy, A. A. Chetverkin. – Sevastopol: Publishing house SevNTU, 2003. – 495 p.

2. Pneumatic components: Catalogue.- SPb.: LLC "EMSI Pneumoautomatics", 2002. – 800 p.

3. Rachkov M. Pneumatic means of automation / M. Rachkov.- Moscow: MGIU, 2005. – 288p.

4. Accident at the Chernobyl nuclear power plant and extreme robotics/E. I. Yurevich / / mechatronics, automation, control, 2004. – №3. – P. 45-49.

5. Explosion-proof remote system interfacing with the equipment of the lower level APCS / Industrial technology: an electronic journal . – http://www.i- techno.ru/developers/ note1_2002_2.pdf.

6. Rachkov, M. Y. features of pneumatic control systems in rocket and space technology/M. Y. Rachkov // high technologies of production RKT: sat. scientific. Tr. – M., 2001. – vol.1. – P. 267-273.

7. Mukhopad Yu. F., Sazhin V. B. Overhead of computing and control devices. – Irkutsk: ISU, 1984. – 168 p.

8. Goryunov V. A. Development of a method for improving the efficiency of jet control devices for automatic control of technological equipment. Dis. kand.tech. sciences'. -Volgograd: Volggtu, 2001. – 19 p.

9. Shidlovsky S. V. Tunable structures in systems of automatic control of technological processes: Dis. kand. tech. sciences'. – Tomsk: TUSUR, 2004. – 256p.

10. Hesse S. Pneumatics: 99 examples/ S. Hesse.- Festo, 2000. – 297p.

11. Karpov Yu. G. automata Theory/Yu. G. Karpov.- SPb.: Peter, 2003. - 208 p.

12. Solovyov V. V., Logical design of digital systems based on FPGA / Vladimir Solovyov and A. Klimovich.- M.: Hotline-Telecom, 2008, - 374 p.

13. Works on the theory of synthesis and diagnosis of finite automata and relay devices /under the editorship of V. V. Sapozhnikov and VL.V. Sapozhnikov.- SPb.: Elmore, 2009.- 894s.

14. Mukhopad Yu. F. The theory of discrete devices/ Yu. F. Mukhopad.- Irkutsk: Irkutsk State University Of Communications, 2010.- 172 p.

15. Mukhopad A. Yu, Muhopad Y. F. Firmware machine// Patent for useful model No. 82888, 2009.- B № 13.

16. Mukhopad A. Yu, Muhopad Y. F., Puncak-Nemilov D. C., Matveev E. N. Managing the machine //Patent RF № 2527190 27.08.2014. BI NO. 24 G06F 9/00 (2006.01).

17. Mukhopad A. Yu. Theory of control machines technical real-time systems / A. Yu. Mukhopad.- Novosibirsk: Science, 2015.- 176s.

18. Komkov A. Z. Pneumatic matrix management structure / Komkov A. Z. // Bulletin of ISTU.- Irkutsk: ISTU, 2006.- №4.- P. 98-106.

19. Mukhopad Yu F, Bovkun A. F., Komkov A. Z. Software matrix for pneumatic control systems discrete steps / Useful model of the Russian Federation No. 62717, BI №12, 2007, NO. 64792, BI No. 19,2007.

20. Komkov, A. Z., Mukhopad Y. F. Control equipment regulating the pressure in the working cylinders of wagon retarders //Patent for useful model RF # 63307. - BI № 15, 2007.

21. Positive decision on the application for utility model № 2018115113 / 08 (023616) control machine. Mukhopad Yu. F., Mukhopad A. Yu., Punsik-Namzhilov D. C. The Priority of 23.04.2018.

Информация об авторах

Юрий Федорович Мухопад, д. т. н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bts48@mail.ru

Андрей Зинурович Комков, к.т.н., заместитель главного инженера ООО «Кубань», komkov@yandex.ru

Александр Юрьевич Мухопад, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: jcmg@mail.ru

Даба Цыренович Пунсык-Намжилов, к.т.н, доцент, генеральный директор ООО «Химтех-Юкос», e-mail: dablttf@mail.ru

Authors

Yuri Fedorovich Mukhopad, Doctor of Technical Science, Professor of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bts48@mail.r

Andrey Zinurovich Komkov, Candidate of Technical Science, the chief engineer of JSC"Kuban" komkov@yandex.ru

Aleksandr Yuryevich Mukhopad, Doctor of Technical Science, docent of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: jcmg@mail.ru

Daba Cyrenovich Punsik-Namzhilov, Candidate of Technical Sciences,docent, General Director of LLC "Himtech-Yukos", e-mail: dablttf@mail.ru

Для цитирования

Мухопад Ю.Ф., Комков А.З., Мухопад А.Ю., Пунсык-Намжилов Д.Ц. Управляющие устройства пневмоавтоматики // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2019. – №1. – С. 94-104 – Режим доступа: http://ismm-irgups.ru/toma/12-2019, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 25.03.2019)

For citation

Mukhopad Yu.F., Komkov A.Z, Mukhopad A. Yu., Punsik-Namzhilov D. C. The control devices of pneumatic [upravlaushie ustrostva pnevmoavtomatiki] // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2019, No. 1, P. 94-104. [Accessed 25/03/19]