

Ю.Ф. Мухопад<sup>1</sup>, А.Ю. Мухопад<sup>1</sup>, Д.Ц. Пунсык-Намжилов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «Химтех-Юкос», Российская Федерация

## УПРАВЛЯЮЩИЕ АВТОМАТЫ С НОВЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ СОСТОЯНИЙ

**Аннотация.** Анализируются управляющие автоматы сложных технических систем со структурой Мура, Мили и автомат с оригинальной структурой Мухопада, отличающийся существенным снижением аппаратных затрат. Предложен новый способ разметки состояний в граф-схемах алгоритма управления, который обеспечивает возможность перестройки, как на режим автомата Мура, так и на режим автоматов Мили без изменения структурной организации и с одной комбинационной схемой переходов. В структуре нового автомата выходы дешифратора разделяются на два непересекающихся подмножества для выбора логических условий и управляющих команд. Функции мультиплексора выполняет логический блок, адресуемый соответствующим подмножествам выходов дешифратора для выбора одного логического условия на каждом периоде работы автомата. Такие автоматы применимы как для управления технологическими процессами и мехатронными модулями, так и для управления радиоэлектронными быстродействующими средствами обработки информации в реальном времени.

**Ключевые слова:** Алгоритм, технические системы, управляющие автоматы, комбинационные схемы, разметка состояний.

## CONTROL MACHINES WITH THE NEW DEFINITION STATES

Yu.F. Mukhopad<sup>1</sup>, A. Yu. Mukhopad<sup>1</sup>, D. C. Punsik-Namzhirov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Russian Federation

<sup>2</sup> LLC «Himtex-Yukos», Russian Federation

**Abstract.** Analyzed control automatons are complex technical systems with the structure of Moore, Miles, and automatic with the original structure of Mukhopad, characterized by a significant reduction in hardware costs. The new method of marking States in graph-schemes of algorithm of control, which provides the ability to change the mode of a Moore automaton and the mode machines Miles without changing the structural organization and one matching scheme of the transitions. In the structure of the new automatons the outputs of the decoder are divided into two disjoint subsets for the logical conditions and control commands. The function of the multiplexer performs a logical unit, addressed to the respective subset of outputs of the decoder to select one of the logical conditions on each period of the machine operation. Such automatons are applicable to process control and mechatronic modules and control electronic high-speed information processing in real time.

**Keywords:** algorithm, the technical systems, control automatons, combinational circuit, markup states.

### Введение

При управлении сложными техническими системами (СТС), технологическими процессами, мехатронными модулями и роботами, количество вычислительных операций может быть небольшим по сравнению с операциями определения и проверки значений логических условий с формированием команд управления в реальном масштабе времени [1-3]. При создании специализированных процессоров по универсальной структурной модели [3] с функциональной (Ф), информационной (И), логической (Л), адресной (А) и управляющей (У) подсистем наиболее сложной является У подсистема, реализуемая в виде системы управляющих автоматов Мура (УАМ<sub>М</sub>) и Мили (УАМ<sub>М</sub>) [4-8].

### 1. Структурная организация управляющих автоматов

Для СТС рассматриваемого типа наиболее эффективны УА с оригинальной структурной организацией [9-12] УА Мухопада (УАМ<sub>Х</sub>), в которых на вход комбинационной схемы переходов  $F_1(1)$  подается не весь кортеж логических условий  $\alpha_1 \dots \alpha_q$ , (рис.1) а только одно  $\alpha_j \in \{\alpha\}$ . Такое условие выполняется, если за счет ввода пустых операторов в отдельные ветви граф-схемы алгоритма (ГСА) ликвидируются петли, разделяются

логические условия, если между ними нет операторов действия. Перед логическим условием также ставится пустой оператор, если к нему передается управление от двух и большего числа операторов.

Тогда объем комбинационной схемы  $F_1(1)$  при реализации на ПЗУ определится как  $W = m2^{m+1}$ , тогда как для УАМг он равен  $V = m2^{m+q}$ , здесь  $m$ - разрядность кода состояний  $a(t)$ ,  $q$ - количество логических условий.

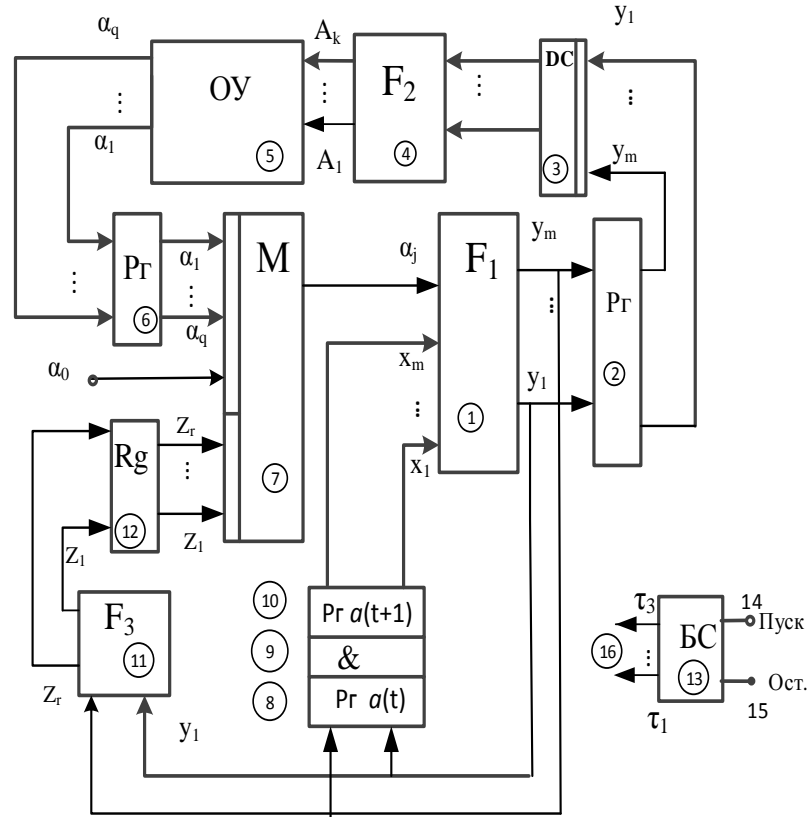


Рис. 1. Управляющий автомат Мухопада (УАМх)

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики всех типов УА для УАМг и УАМх. Согласно классификации [4] УА разделяются на сверхпростые (СП), простые (ПА), средней сложности (СА), сложные (АС), высокой сложности (ВС), особо сложные (ОС) и ультрасложные (УС). Для промышленных БИС с реальной  $m_p$  разрядностью ПЗУ равной 4 или 8, значение  $V_p = m_p 2^{m+q}$ . Как видно из табл.1 уже для УА класса СА реализация на промышленных ПЗУ не является простой задачей.

При реализации  $F_1(1)$  на ПЛИМ количество входов в УАМх сократится в  $K$  раз по сравнению с УАМг.

$K = (m+q)/(m+1)$ . Такая эффективность недостижима для УАМг при использовании всех известных способов декомпозиции ГСА и минимизации систем булевых функций.

Таблица 1. 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	$2 \cdot 10^3$

5	BC	7	15	22	8	32Мб	2кб	2,7	8	$16 \cdot 10^3$
6	OC	8	18	26	9	0,5Гб	4кб	2,9	8	$12 \cdot 10^4$
7	УС	9	21	30	10	12Гб	12кб	3	12	$1 \cdot 10^6$

## 2. Управляющие автоматы нового типа

Схема УАМх может быть дополнительно упрощена при использовании нового способа определения состояний  $a(t)$ . В УАМг, как и в УАМх состояния определяются по операторам действия  $A_1 \dots A_k$ . Определим состояния УА по входам всех операторов, т.е. отметим входы как операторов действия, так и логических операторов. ГСА предварительно не преобразуется, но пустые операторы ставятся в двух случаях:

- для ликвидации петель,
- когда вводятся ограничения на число входов к состояниям.

Для ГСА управления интерфейсом [13] количество входов к состояниям ограничено числом 3 (рис.2). Размеченному по новым правилам ГСА (рис.2) соответствует граф переходов (рис.3) по которому можно сделать следующие заключения:

1. Все переходы помечены символами  $A_i \in \{A\}$  или  $\alpha_j \in \{\alpha\}$ . Непомеченных безусловных переходов в графе нет.
2. Каждому переходу соответствует выбор логического условия (табл.2) по соответствующему состоянию. Поэтому, как и в УАМх  $W = m2^{m+1}$ .
3. Команды управления  $A_i \in \{A\}$  выдаются на переходах от  $a(t)$  к  $a(t+1)$  как в УАМ<sub>1</sub> (табл.3).
4. Как для выбора  $A_i \in \{A\}$ , так и для выбора  $\alpha_j \in \{\alpha\}$  соответствуют непересекающиеся подмножества выходов дешифратора.

Таблица 2. Выбор логических условий

$\alpha$	1	2	3	4	5	6	7	8
$a(t)$	2	3	4	5	6	7	9	13

Таблица 3. Выбор операторов действия

A	0	1	2	3	4	5	6	7	$A_{\Pi}$	$A_{\Pi}$	$A_{\Pi}$	$A_{\kappa}$
$a(t)$	0	1	14	15	16	18	19	10	11	12	17	8
$a(t+1)$	1	2	11	11	17	17	17	11	12	1	12	0

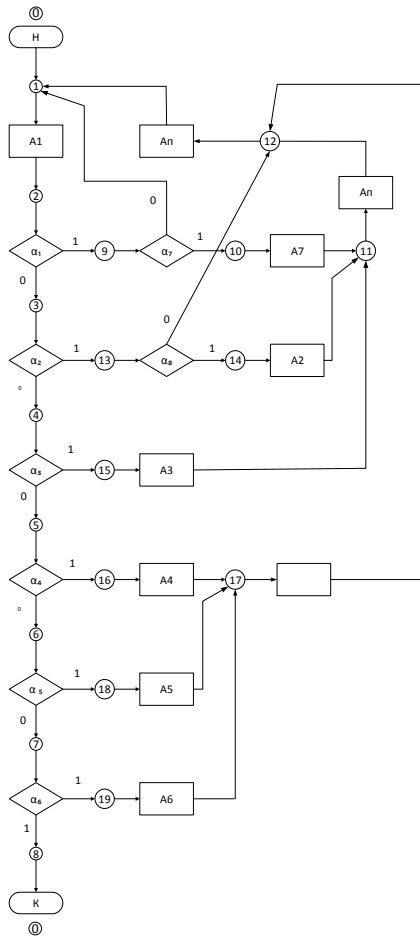


Рис.2 Алгоритм управления с новым способом разметки состояний

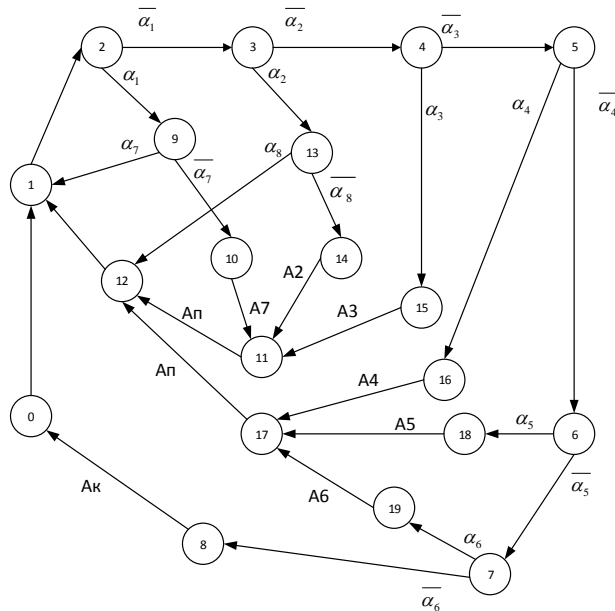


Рис.3 Граф переходов нового управляющего автомата Мухопода

На рис.4 представлен вариант УАМх, соответствующий новому принципу разметки ГСА, который обозначим как НУАМх [14,15]. Сравнивая рис.1 и рис.4 можно видеть, что в НУАМх:

- нет типовой БИС мультиплексора  $M(7)$ , схемы адресации  $F_3(11)$ , регистра адреса  $Rr(12)$ ;
- вместо БИС  $M(7)$  введен логический блок ЛБ(7), в котором используется  $q$  двухвходовых элементов «И», элемент «ИЛИ» и RS- триггер.

Логический блок ЛБ(7) также выполняет функции мультиплексора, но в отличие от типовой БИС в нем нет излишних элементов «И» и внутреннего дешифратора, а выбор  $\alpha_j \in \{\alpha\}$  осуществляется через соответствующее подмножество выходов дешифратора  $DC(3)$ . Через второе подмножество  $A_i \in \{A\}$  выходов  $DC(3)$  осуществляется выбор команд управления  $A_i \in \{A\}$ .

Упрощение структурной схемы НУАМх при меньшем числе блоков и элементов обеспечивает более высокий уровень надежности и безопасности СТС. Выходные команды  $A_i \in \{A\}$  формируются на переходах с длительностью синхроимпульса  $\tau$  как в УАМ<sub>1</sub>. Если в блоке синхронизации БС(11) предусмотреть таймер с выдержкой времени  $T \gg \tau$ , то команды будут формироваться с длительностью периода  $T$  как в УАМ<sub>r</sub>. Поэтому НУАМх можно назвать универсальным УА, т.к. реализуется возможность изменения принципа формирования выходных команд без изменения структурной организации самого НУАМх.

НУАМх наиболее эффективен для организации управляющих подсистем СТС с высоким уровнем быстродействия и надежности [16].

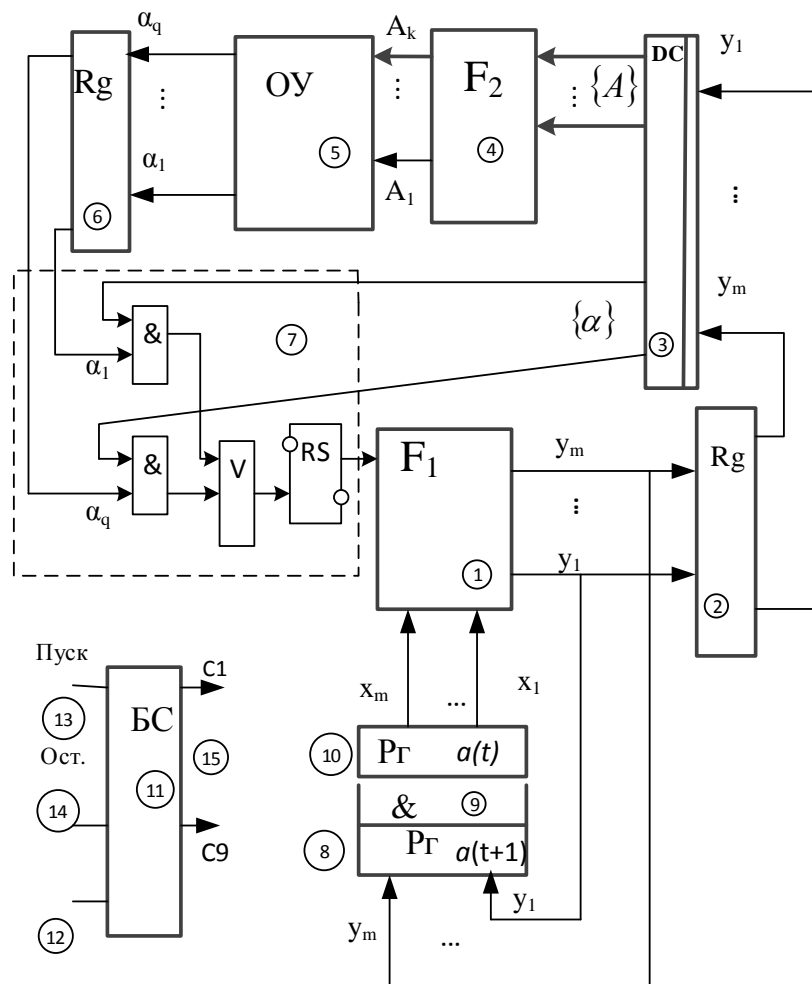


Рис.4 Универсальный управляющий автомат (НУАМх)

#### Заключение.

Предложен новый тип разметки граф-схем алгоритма управления при переходе к графам управляющих автоматов сложных технических систем. При этом также как и в схеме автомата с оригинальной структурой Мухопида обеспечивается выбор одного логического

условия при значительном снижении аппаратных затрат на реализацию комбинационной схемы переходов. С одной комбинационной схемой переходов в новом автомате без изменения структурной организации обеспечивается возможность работы, как в режимах автомата Мура, так и в режимах автомата Мили по внешней команде переключения. Такие автоматы наиболее эффективны в микропроцессорных системах высокого быстродействия с таблично-алгоритмическими преобразователями информации, а также для управления мехатронными модулями и технологическими процессами в жестких условиях воздействия вибраций, температурных перепадов и электромагнитных помех. Эффективно их применение для управления сложными системами токсичных, пожаро- и взрывоопасных производств.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбатов В.А. Теория автоматов / В.А. Горбатов, А.В. Горбатов, М.В. Горбатова.-М.: Астрель, 2008.- 699с.
2. Гаврилов М.А., Логическое проектирование дискретных автоматов / М.А Гаврилов, В.В. Девятков, Е.И. Пупырев.- М.: Наука, 1977. - 368 с.
3. 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.
4. Карпов Ю.Г. Теория автоматов / Ю.Г. Карпов.- СПб.: Питер, 2003. – 208 с.
5. Barry Wilkinson. The essence of digital design. Prentice Hall, Europe, 1998.-318p.
6. Закревский А.Д. Основы логического проектирования / А.Д. Закревский, Ю.В. Поттосин, Л.Д. Черемисинова // Кн.3. Проектирование устройств логического управления. - Минск: ОИПИНАП Беларусь, 2004.-226с.
7. Труды по теории синтеза и диагноза конечных автоматов и релейных устройств /под ред. В.В. Сапожникова и Вл.В. Сапожникова. СПб.: Элмор, 2009.-894с.
8. Соловьев В.В. Логическое проектирование цифровых систем на основе ПЛИС / В.В. Соловьев, А. Климович.- М.: Горячая линия – Телеком, 2008, - 374 с.
9. Мухопад Ю.Ф. Теория дискретных устройств / Ю.Ф. Мухопад.- Иркутск: ИрГУПС, 2010. - 172 с.
10. Мухопад А.Ю. Теория управляющих автоматов технических систем реального времени / А.Ю. Мухопад.- Новосибирск: Наука, 2015. – 176 с.
11. Мухопад А.Ю., Мухопад Ю.Ф. Патент на полезную модель № 82888. G06F 9/00; заявитель и патентообладатель Иркут. гос.ун-т путей сообщения.-2008149344/22; заявл.15.12.2008; опубл. 10.05.2009, Бюл.№ 13.
12. Мухопад А.Ю., Мухопад Ю.Ф, Пунсык-Намжилов Д.Ц., Матвеев Е.Н. Управляющий автомат / Патент на изобретение № 2527190 от 27.08.2014. БИ №24 G06F 9/00 (2006.01).
13. Хадлстон К. Проектирование интеллектуальных датчиков с помощью Microchip dsPIC / К. Хадлстон.- Киев: МК-Пресс, 2008.- 312с.
14. Мухопад А.Ю. Теория управляющих / А.Ю. Мухопад .- Иркутск: ИрГУПС, 2018. – 72 с.
15. Патент на полезную модель №183109 Управляющий автомат / Мухопад Ю.Ф.,Мухопад А.Ю., Пунсык-Намжилов Д.Ц. опубл. 11.09.2018, Бюл. № 26.
16. Мухопад Ю.Ф. Алгоритмические системы управления / Ю.Ф. Мухопад , А.Ю. Мухопад Иркутск: ИрГУПС, 2018–94 с.

## REFERENCES

1. In Gorbatov.A. Theory of automata / V. A. Gorbatov, A.V. Gorbatov, M. V. Gorbatov.-M.: Astrel 2008,- 699с.
2. Gavrilov M. A., Logical design of discrete automata / M. A. Gavrilov, V. V. Devyatkov, and E. I. Pupyrev.- Moscow: Science, 1977. - 368 p.
3. With Sheep.I. Synthesis of automata on the elements of matrix structure / S. And Baranov, V. N. Sinev, N. I. Yantsen // the Design of functionally oriented computational systems.- L.: Leningrad state University, 1990. – p. 90-108.
4. Karpov Yu. G. Theory of automata / Yu. G. Karpov.- SPb.: Peter, 2003. – 208 p.
5. Barry Wilkinson. The essence of digital design. Prentice Hall, Europe, 1998.-318p.
6. Zakrevsky A. D. Fundamentals of logic design / A. D. zakrevskij, Y. V. Pottosin, L. D. Cheremisinova // KN.3. Design of logical control devices. - Minsk: the Belarus OPENAP, 2004.- 226с.
7. Proceedings on the theory of synthesis and diagnosis of finite state machines and relay devices /ed. V. V. And Sapozhnikov VL.V. Sapozhnikova. SPb.: Elmore 2009,-894s.
8. Soloviev V. V. Logical design of digital systems based on FPGA / Vladimir Solovyov and A. Klimovich.- Moscow: Hotline – Telecom, 2008, - 374 p.
9. Mukhopad Yu. f. Theory discrete device / YF Muhopad.- Irkutsk: The Irkutsk State University Of Communications, 2010. - 172 p.
10. Theory of control automata of technical systems of real time / A. Yu. Muhopad.- Novosibirsk: Science, 2015. – 176 p.
11. Muhopad A. Yu, Y. F. Muhopad Patent for useful model No. 82888. G06F 9/00; applicant and patent holder Irkut. state UN-t ways of communication.-2008149344/22; declared.15.12.2008; publ. 10.05.2009, Byul. No. 13.
12. Muhopad A. Yu., Yu. F Mukhopad, Puncik Of Nemilov D. C., Matveev E. N. Managing automatic / Patent for the invention № 2527190 27.08.2014. BI №24 G06F 9/00 (2006.01).
13. Hallston K. the Design of intelligent sensors using the Microchip dsPIC / K. Hudleston.- Kyiv: MK-Press, 2008.- 312с.
14. Muhopad A. Y. Theory of control / A. Muhopad .- Irkutsk: The Irkutsk State University Of Communications, 2018. 72 p.
15. The patent for useful model No. 183109 the control machine / Mohamad Y. F.,A. Y. Mohamad, Puncik of Nemilov D. C. publ. 11.09.2018, Byul. No. 26.
16. Mohamad Y. F. Algorithmic control system / Yu. f Mohamad , A. Y. Muhopad Irkutsk, Irkutsk state University of communications, 2018-94 S.

### Информация об авторах

*Мухопад Юрий Федорович* – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [bts48@mail.ru](mailto:bts48@mail.ru).

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

*Пунсык-Намжилов Даба Цыренович* – к.т.н, доцент, генеральный директор ООО «Химтех-Юкос», e-mail: [tomskalina@mail.ru](mailto:tomskalina@mail.ru).

### Authors

*Mukhopad Yuriy Fedorovich* – Doctor of Engineering Science, Professor, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [bts48@mail.ru](mailto:bts48@mail.ru).

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

*Punsik-Namzhirov Daba Cyrenovich* – Candidate of Technical Sciences, docent, General Director of LLC "Himtech-Yukos", e-mail: [dablutf@mail.ru](mailto:dablutf@mail.ru)

**Для цитирования**

Ю.Ф. Мухопад, А.Ю. Мухопад, Д.Ц.Пунсык-Намжилов Управляющие автоматы с новым определением состояний // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2019. – № 2. – С. 26-33 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/23-2019>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 19.06.2019)

**For citation**

Yu.F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, D.C. Punsik-Namzhilov *Upravlyayushchiye avtomaty s novym opredeleniyem sostoyaniy* [Control machines with the new definition states] // *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. 2. P. 26-33 – Access mode: <http://ismm-irgups.ru/toma/23-2019>, free. – Title from the screen. – Language Russian, English. [Accessed 19/06/19]