

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, Иркутск

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ НОВОГО ТИПА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассматривается синтез управляющих автоматов с новым определением состояний через разметку начала любого оператора (как оператора действия $A_1 \dots A_k$, так и логического оператора $\alpha_1 \dots \alpha_q$). По сравнению с управляющими автоматами Мура и автоматами с оригинальной структурой на основе применения мультиплексора и схемы адресации автоматы нового типа имеют существенное преимущество за счет снижения числа элементов и связей. Показана эффективность новой структурной организации для автоматов всего спектра сложности. Для железнодорожной автоматики рассмотрена задача обеспечения безопасности движения на автомобильно-железнодорожном переезде и задача управления системой очистки сред с применением ультразвука и вихревого эффекта Ранка. Такая система экономична и наиболее эффективна для очистки стрелок и перегонов от слежавшегося снега и льда. Для первой задачи объем комбинационной схемы переходов при реализации на ПЗУ снижается в 512 раз, для второй – в 256 000 раз.

На сегодня неизвестны другие методики синтеза (кроме предложенной), обеспечивающие столь высокую эффективность, по снижению аппаратных затрат на реализацию комбинационных схем.

железнодорожная автоматика, автоматы, управление, алгоритм, комбинационная схема, структурная организация автоматов, ультразвук, вихревой эффект

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-244-255

Введение

В железнодорожной технике управляющие автоматы (УА) на БИС и СБИС могут составлять до 70 % затрат оборудования при реализации информационно-управляющей системы (ИУС). Имеются в виду ИУС с ограниченной точностью (≤ 16 двоичных разрядов ДПК с фиксированной запятой), функциональная (Ф) подсистема которых реализуется набором таблично-алгоритмических функциональных преобразователей (ФПК).

Информационная подсистема (И) – это типовые БИС ОЗУ и ПЗУ, логическая подсистема (Л) – это набор внешних двоичных датчиков и схемы сравнения аналоговых сигналов, адресная подсистема (А) обычно проста и реализуется с помощью дешифраторов и счетчиков. В работе [1] показано, что для таких ИУС сверхпростые (СП), простые (ПА) и автоматы средней сложности (СА) эффективно реализуются автоматами Мура (УАМг) с использованием унитарного кодирования состояний.

1. Структурная организация сложных автоматов

Для сложных (СА), высокосложных (ВС), особо сложных (ОС) и ультрасложных (УС) автоматов в УАМг вводится мультиплексор со схемой адресации [2, 3], что дает возможность снизить объем ПЗУ комбинационной схемы переходов в Q раз. Здесь $Q = 2^{q-1}$, q – число логических условий $\alpha_1 \dots \alpha_q$. Схема такого УА оригинальна и эффективна, если оценивать эффективность коэффициентом Q .

Однако введение мультиплексора и схемы адресации усложняет структурную организацию УА за счет дополнительных блоков и связей.

До сих пор при синтезе УА использовались только два типа разметки:

- статическая – через операторы действия $A_1 \dots A_k$ в УАМг;
- динамическая – через переходы от $a(t)$ к $a(t+1)$ в УА Мили (УАМ_Л).

При синтезе УАМг и УАМ_Л по известным методикам [4–12] не возникал вопрос об использовании каких-либо других разметок ГСА.

Далее будут рассматриваться автоматы Мура и новый тип автоматов (НУАМх) на примере ГСА (рис. 1).

2. Автоматы с новым определением состояний

В работе [13] в качестве состояния УА предложено использовать начало любого (как $A_i \in \{A\}$, так и $\alpha_j \in \{\alpha\}$) оператора. Для примера (см. рис. 1) по новой разметке получен ГСА (рис. 2) и граф переходов (рис. 3).

Причем пустые операторы (A_n) вводятся лишь для ликвидации петель и для ограничения числа входов до двух. Второе ограничение не обязательно, но целесообразно, если при синтезе УА вводятся встроенные средства самоконтроля.

Следствием изменения понятия состояний является новая организация УА, который назван новым УАМх (аббревиатура НУАМх). Математическая модель НУАМх имеет вид:

$$a(t+1) = F_1(\alpha_j x_1 \dots x_m); \alpha(t+1) = F_2(\alpha_j x_1 \dots x_m); J = F_3((y_1 \dots y_m)).$$

Здесь $\{x\}$ – код $a(t)$; $\{y\}$ – код $a(t+1)$; j – номер логического условия.

В новом УА число состояний увеличивается незначительно по сравнению с УАМх. При этом определились новые особенности УА: состояния $a(t)$ разделяются на два непересекающихся подмножества: соответствующие выбору $A_i \in \{A\}$ и $\alpha_j \in \{\alpha\}$. Поэтому реализация операторов действия $A_1 \dots A_k$, как и выбор необходимых $\alpha_j \in \{\alpha\}$ для данного периода (Т), производится за время синхронизации τ .

Структурная схема нового управляющего автомата Мухопادا (НУАМх) приведена на рис. 4.

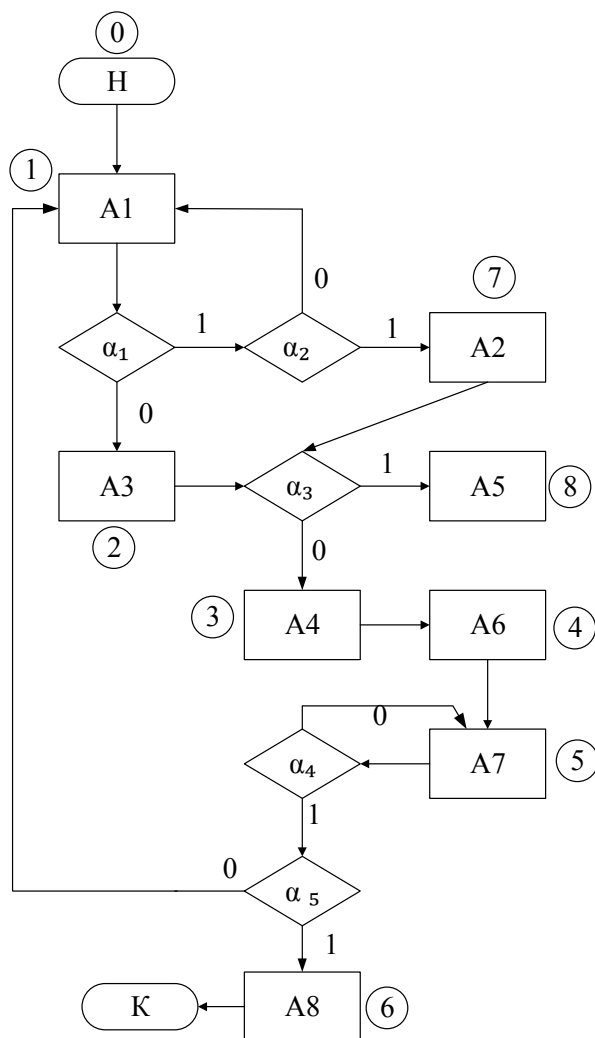


Рис. 1. ГСА с разметкой для УАМг

НУАМх по принципу действия соответствует УАМ_L, хотя для перевода его в режим УАМг потребуется ввести лишь таймер для выдержки времени, т. к. какие-либо другие изменения не требуются, если есть схема определения факта принадлежности $a(t)$ к $\{A\}$. В схеме НУАМх появился

лишь логический блок ЛБ(7) в виде q -двухвходовых элементов «И», одного q -двухвходового элемента «ИЛИ» и RS-триггера, фиксирующего для данного Т значения $\alpha_j \in \{\alpha\}$.

Адресация блока ЛБ(7) производится подмножеством выходов дешифратора DC(3), соответствующих $\alpha_j \in \{\alpha\}$, т. е. без мультиплексора и блока адресации достигается тот же эффект снижения затрат оборудования на комбинационную схему $F_1(1)$ для всех типов УА.

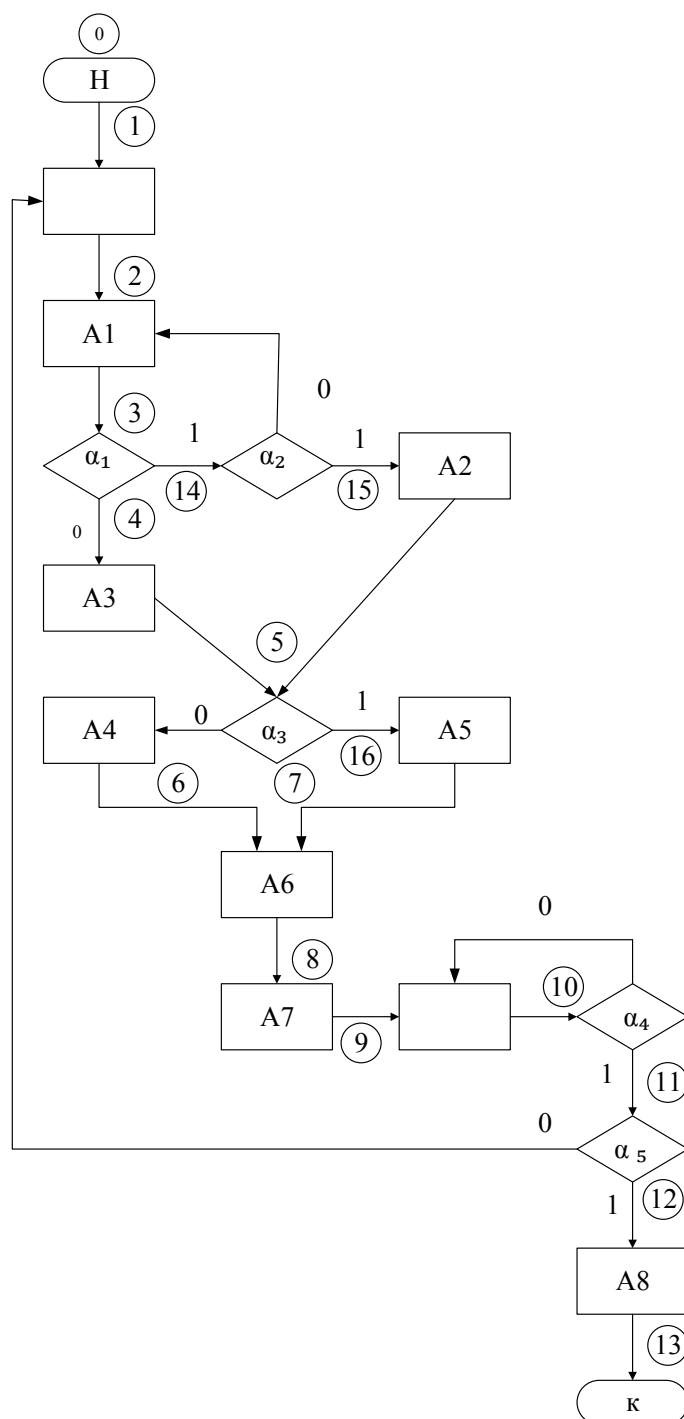


Рис. 2. ГСА с новым типом разметки состояний

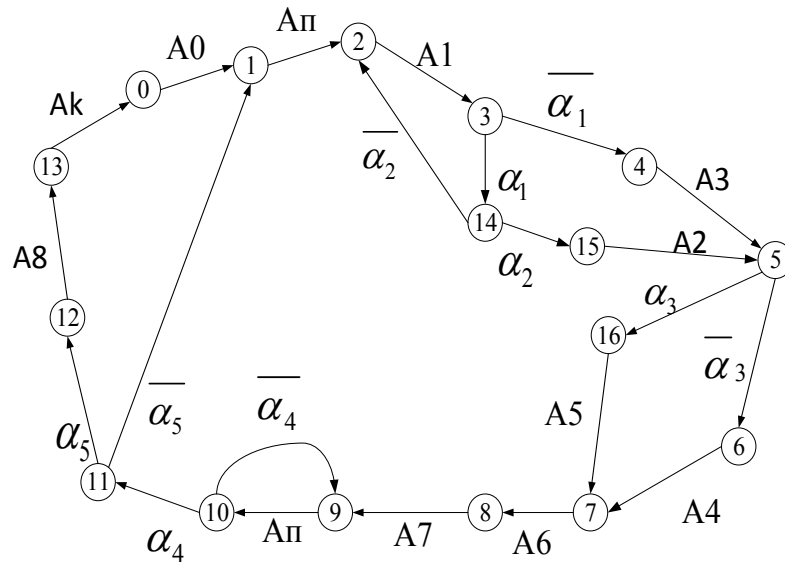


Рис. 3. Граф переходов с новым типом разметки состояний

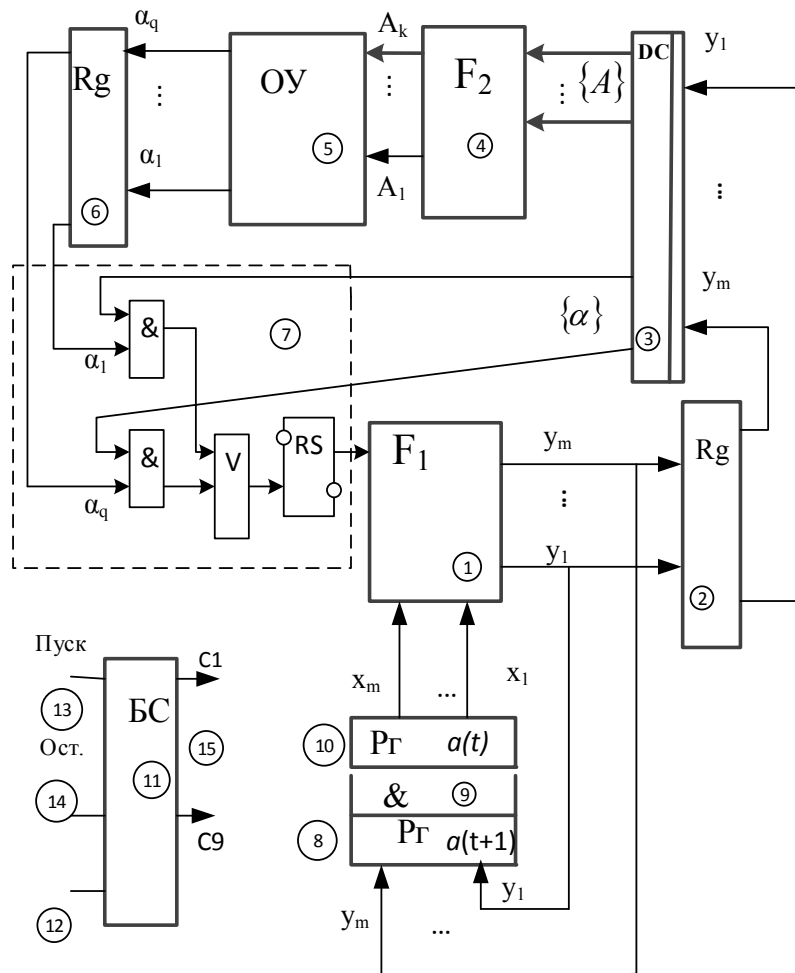


Рис. 4. Блок-схема нового управляющего автомата Мухопода (НУАМх)

Схема ГСА (рис. 6) запатентована как полезная модель [14] и является на сегодня наиболее простым вариантом реализации УАМг и УАМ_L, т. е. НУАМх в этом смысле является универсальным автоматом, т. к. по внешнему сигналу без структурной перестройки он может реализовать оба режима УА.

3. Реализация подсистем железнодорожной автоматики

В работах [1–3, 13, 15, 16] приведено достаточно много алгоритмов, реализация которых целесообразна на НУАМх.

В частности, для управления железнодорожным переездом (см. рис. 5) для предотвращения столкновения автомобилей с ж.-д. составом получим: $V_p = 0,5$ Мб. В работе [16] дана оценка УАМг для данной задачи. В этой статье приведены результаты синтеза НУАМх для управления переездом: $W_p = 1$ кб, $N = 40$, $m = 6$, $q = 10$. Следовательно, эффект сокращения объема ПЗУ для реализации схемы переходов $F_1(1)$ будет $Q = 2^{q-1} = 512$.

Ни один из известных методов (декомпозиция и минимизация систем булевых функций) не может обеспечить столь эффективное снижение затрат оборудования на реализацию комбинационной схемы переходов автоматов, кроме метода синтеза, предложенного авторами.

В Сибирских и Дальневосточных регионах очень актуальна задача очистки стрелок и перегонов от затвердевшего снега и льда.

В работе [15] предложена переносная, удобная в эксплуатации установка, в которой без нагревательных элементов на основе эффекта Ранка воздушный поток с давлением $\sim 3\text{--}5$ атм разделяется на горячие (~ 95 °С) и холодные струи. Холодные струи выбрасываются, а горячие вместе с ультразвуковыми колебаниями через рупор используются для очистки. Экспериментальное и фактическое применение установки подтвердило ее высокую эффективность, т. к. в ней нет тепловых нагревательных приборов, требующих больших энергетических затрат.

Управление данным прибором реализуется по ГСА (рис. 6) для НУАМх.

Для предложенного способа реализации УА $N = 51$, $m = 6$, $q = 19$, $m_p = 8$. Объем ПЗУ $W_p = m_p 2^{m+1} = 8 \cdot 2^{6+1} = 1$ кб. Тогда как для УАМг с классической структурной организацией потребовалось бы ПЗУ с объемом $V_p = m_p 2^{m+q} = 8 \cdot 2^{6+19} = 2^{28} = 0,25$ Гб. Использование НУАМх обеспечивает эффект $Q = 2^{q-1} = 2^{18} = 256 \cdot 10^3$ раз.

При реализации схемы переходов на ПЛМ эффект уменьшения числа входов ПЛМ определяется коэффициентом $k = (m + q)/m + 1$. Для данного случая $k = (6+19)/6 + 1 = 3,3$ раза. Граф переходов не приводится, т. к. здесь не рассматриваются вопросы функционально-схемной реализации. Не приводится также семантика операторов действия и логических условий для ГСА (см. рис. 5 и 6), т. к. в этой статье важно дать сравнительный анализ эффективности НУАМх по сравнению с УАМг. Расшифровка операторов приведена в работах [15, 16].

Заключение

Произведен анализ оригинальных автоматов Мухопода с мультиплексором и схемой адресации (УАМх) и показано, что наиболее эффективен (по затратам оборудования) новый автомат Мухопода (НУАМх), в котором состояния $a(t)$ определяются через начало любого оператора (как оператора действия $A_1 \dots A_k$, так и логического оператора $\alpha_1 \dots \alpha_q$).

В НУАМх уменьшается число связей между блоками и достигается тот же эффект снижения объемов ПЗУ в Q раз, как и в УАМх с мультиплексором и схемой адресации.

Два практических примера в задаче синтеза системы обеспечения безопасности движения поездов и управления системой очистки сред на основе эффекта Ранка подтверждают целесообразность использования НУАМх в технических системах железнодорожной автоматики.

Библиографический список

1. Мухопад А. Ю. Теория управляющих автоматов технических систем реального времени / А. Ю. Мухопад. – Новосибирск : Наука, 2015. – 176 с.
2. Пат. на полезную модель № 82888 Российская Федерация. Микропрограммный автомат / Мухопад А. Ю., Мухопад Ю. Ф. ГОБФ 9/00 ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщения ; заявка 200/8149344/22, 15.12.2008 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
3. Пат. на изобретение № 2527190 Российская Федерация. Микропрограммный автомат / Мухопад А. Ю., Мухопад Ю. Ф., Пунсык-Намжилов Д. Ц., Матвеев Е. Н. МПК (51) ГОБФ 9/00 ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщения ; № 2013110986/08 ; заявл. 12.03.2013 ; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
4. Брауэр В. Введение в теорию конечных автоматов / В. Брауэр. – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с.
5. Карпов Ю. Г. Теория автоматов / Ю. Г. Карпов. – СПб. : Питер, 2003. – 208 с.
6. Бирюков И. И. Теория автоматов. Ч. II. Логическое проектирование схем с памятью / И. И. Бирюков. – М. : МГИЭМ, 2012. – 59 с.
7. Ожиганов А. А. Теория автоматов / А. А. Ожиганов. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – 84 с.
8. Ульман Джерри Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений / Д. Ульман Джерри, Р. Мотвани, Д. Хопкрофт. – М. : Вильямс, 2016. – 528 с.
9. Кудрявцев В. Б. Теория автоматов / В. Б. Кудрявцев, Ф. Б. Алешин, А. С. Подколзин // МГУ им. М. В. Ломоносова. – М. : Юрайт, 2018. – 320 с.
10. Горбатов В.А. Теория автоматов / В. А. Горбатов, А. В. Горбатов, М. В. Горбатова. – М. : Астрель, 2008. – 699 с.
11. Соловьев В. В. Логическое проектирование цифровых систем на основе ПЛИС / В. В. Соловьев, А. Климович. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 374 с.
12. Труды по теории синтеза и диагноза конечных автоматов и релейных устройств / под ред. В. В. Сапожникова и Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Элмор, 2009. – 894 с.
13. Мухопад Ю. Ф. Управляющие автоматы мехатроники с новым определением состояний / Ю. Ф. Мухопад, А. Ю. Мухопад, Д. Ц. Пунсык-Намжилов // Тр. V Междунар. научно-практической конф. – Новокузнецк, 2018. – С. 53–61.

14. Пат. на полезную модель № 183109 Российская Федерация. Управляющий автомат / Мухопад Ю. Ф., Мухопад А. Ю., Пунсык-Намжилов Д. Ц. ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщения ; заявл. 23.04.2018 ; опубл. 11.09.2018, Бюл. № 26.
15. Пат. на полезную модель № 158372 Российская Федерация. Устройство ультразвуковой очистки технологических сред с применением вихревого эффекта / Филатов Д. А., Ванчиков В. Ц., Пунсык-Намжилов Д. Ц., Марюхненко В. С., опубл. 07.12.2015, БИ № 36.
16. Мухопад Ю. Ф. Алгоритмические системы управления / Ю. Ф. Мухопад, А. Ю. Мухопад. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 96 с.

Yuri F. Mukhopad

Aleksandr Yu. Mukhopad

Daba C. Punsik-Namzhirov

The chair of «Automation of production processes»

Irkutsk State Transport University

Structural organization of control finite-state machines of a new type for technical systems of railway automation

The article considers the synthesis of control machine with a new definition of states through marking the beginning of any operator (both the action operator $A_1 \dots A_k$ and the logical operator $\alpha_1 \dots \alpha_q$). Compared to Moore control machines and machines with an original structure based on the use of a multiplexer and an addressing scheme, new types of machines have a significant advantage by reducing the number of elements and connections. The effectiveness of the new structural organization for machines of the entire spectrum of complexity is shown. For railway automation, the problem of ensuring traffic safety at a road-rail crossing and the task of controlling a environment cleaning system using ultrasound and the Rank vortex effect are considered. Such a system is economical and most effective for cleaning arrows and hauls from packed snow and ice. For the first task, the volume of the combinational transition scheme when implemented on ROM is reduced by 512 times, and for the second – by 256,000 times.

To date, no other synthesis methods are known (except the proposed one) that provide such a high efficiency for reducing hardware costs for the implementation of combinational circuits.

railway automation, machines, control, algorithm, combinational circuit, structural organization of machines, ultrasound, vortex effect.

References

1. Mukhopad A. Yu. (2015) [Teoriya upravlyayushchih avtomatov tekhnicheskikh sistem realnogo vremeni]. Novosibirsk : Nauka. – 175 p.
2. Mukhopad A. Yu., Mukhopad Yu. F. (2009) Pat. for utility model No 82888 Russian Federation. Firmware machine [Pat na poleznuyu model 82888 Rossijskaya Federatsiya. Mikroprogrammnyj avtomat]. – BI No 13.

3. Muhopad A., Yu. Muhopad Yu. F., Punsyk-Namzhilov D. Ts., Matveev E. N. (2014) Microprogram automatic [Upravlyayuschiy avtomat] Patent for invention No 2527190, Russian Federation, No 24, 27.08.2014 [Pat na izobrenenie No 2527190, Rossijskaya Federatsiya]. No 27.08.2014, – BI No 24.
4. Brauehr V. (1987) Introduction to the theory of finite automata [Vvedenie v teoriyu konechnyh avtomatov]. Moscow, Radio and communication. – 392 p.
5. Karpov Yu. G. (2003) Automata Theory [Teoriya avtomatov]. St. Peterburg. Piter. – 208 p.
6. Biryukov I. I. (2012) Theory of automata. Part II. Logical design of schemes with memory [Teoriya avtomatov CH II Logicheskoe proektirovanie skhem s pamyatyu]. Moscow, MGIEHM. – 59 p.
7. Ozhiganov A. A. (2013) Theory of automata. Part II. Logical design of schemes with memory [Teoriya avtomatov]. St. Peterburg. NIU ITMO. – 84 p.
8. Ulman Dzherri D., R. Motvani, D. Hopkroft, M. Vilyams, (2016) Introduction to the theory of automata, languages, and computation [Vvedenie v teoriyu avtomatov yazykov i vychislenij]. – 528 p.
9. Kudryavtsev V. B., F. B. Aleshin, A. S. Podkolzin. (2018) The Theory of machines [Teoriya avtomatov]. MSU M. V. Lomonosova. M., YUrajt. – 320 p.
10. Gorbatov V. A., Gorbatov A. V., Gorbatova V. M. (2008) Theory of machines [Teoriya avtomatov]. Moscow, Astrel. – 699 p.
11. Solovev V. V., A. Klimovich M. (2008) The logical design of digital systems based on FPGA [Logicheskoe proektirovanie tsifrovyyh sistem na osnove PLIS]. Moscow, Hotline – Telecom. – 374 p.
12. Proceedings on the theory of synthesis and diagnosis of finite automata and relay devices [Trudy po teorii sinteza i diagnoza konechnyh avtomatov i relejnyh ustrojstv], ed V. V. Sapozhnikova i VI. V. Sapozhnikova. St. Peterburg, Elmor. – 2009. – 894 p.
13. Muhopad Yu. F., Muhopad A. Yu., D. Ts. Punsyk-Namzhilov (2018) Control machines mechatronics with a new definition of the States [Upravlyayushchie avtomaty mekhatroniki s novym opredeleniem sostoyanij]. Proc. V. Mezhdunar. Nauchno-prakticheskoy konf. Novokuznetsk. – Pp. 53–61.
14. Muhopad Yu. F., Muhopad A. Yu., Punsyk-Namzhilov D. Ts. Pat. for utility model No 183109 Russian Federation. Managing automatic. [Upravlyayushchij Avtomat]. publ 11.09.2018. Byul. No 26.
15. Filatov D. A., Vanchikov V. TS., Punsyk-Namzhilov D. Ts., Maryuhnenko V. S. Pat. na poleznuyu model No 158372. The device of ultrasonic cleaning of technological environments with the use of vortex effect [Ustrojstvo ultrazvukovoj ochistki tekhnologicheskikh sred s primeneniem vihrevogo ehffekta]. publ 07.12.2015. BI No 36.
16. Muhopad Yu. F., Muhopad A. Yu. (2018) Algorithmic control system [Algoritmicheskie sistemy upravleniya]. Irkutsk, IrGUPS. – 96 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 25.01.2019, принята к публикации 04.03.2019*

МУХОПАД Юрий Федорович – доктор технических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заслуженный профессор Иркутского государственного университета путей сообщения;

e-mail: 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: dablutf@mail.ru

© Мухопад Ю. Ф., Мухопад А. Ю., Пунсык-Намжилов Д. Ц., 2019