

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ ПРОЦЕССОРОВ ОТ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ КРИСТАЛЛОВ

А.Е. Фалин¹, В.В. Алексеев¹, А.Н. Щепанов¹, О.В. Киклевич¹,
Ю.Т. Котов², Т.Д. Знаменская²

¹ФГУП «МНИИРИП», 141002, Московская обл., г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2а

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

tzn957@gmail.ru

Рассматриваются вопросы, связанные с зависимостью тактовой частоты процессоров от топологической нормы изготовления кристаллов. Приведены некоторые аспекты влияния размеров кристаллов на тактовую частоту процессоров компаний AMD, Intel, Samsung, Qualcomm. Представлены графики зависимости тактовой частоты процессоров от топологических норм размеров кристаллов для компаний Intel, AMD, Samsung и Qualcomm. Прослежена динамика влияния уменьшения топологических норм кристаллов на тактовую частоту процессора. Представлены обобщенные характеристики зависимости тактовой частоты от топологических размеров кристаллов отечественных процессоров. Полученные результаты могут быть использованы при разработке перспективных планов развития отечественных процессоров.

Ключевые слова: процессор, топологическая норма, тактовая частота, технология, вычислительные системы

Ссылка для цитирования: Фалин А.Е., Алексеев В.В., Щепанов А.Н., Киклевич О.В., Котов Ю.Т., Знаменская Т.Д. Анализ зависимости тактовой частоты процессоров от топологических норм кристаллов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 4. С. 76–81. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-76-81

Динамика развития полупроводниковых технологий определила технические приоритеты ведущих мировых производителей процессоров. Совершенствование технологии производства интегральных микросхем обусловило существенное улучшение технических характеристик. При этом разработчики особое внимание уделяют росту вычислительной мощности процессоров, которая определяется, в первую очередь, тактовой частотой работы ядра процессора.

Цель работы

Целью работы является рассмотрение вопросов, связанных с зависимостью тактовой частоты процессоров от топологических норм изготовления кристаллов.

Материалы и методы

Тактовая частота – один из основных факторов, влияющих на производительность вычислительных систем. Ее значение, как правило, определяется физическим размером кристалла чем меньше толщина кристалла, тем выше может быть частота работы процессора (рис. 1).

Анализ технической литературы и результаты эксплуатации ВС показывают, что снижение топологических норм позволяет не только уменьшить размеры кристалла, снизить его себестоимость, но и при прочих равных условиях реализации повысить его быстродействие [1–10]. Так, например, площадь кристалла процессора, изготовленного по технологии 90 нм, в 3–3,5 раза меньше площади аналогичной схемы, изготовленной на 180-нанометровой технологии. При этом техно-

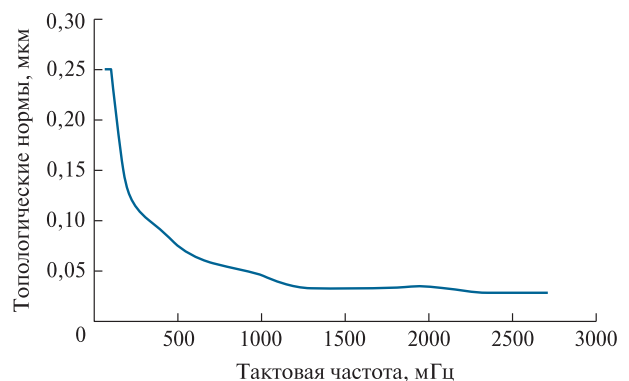


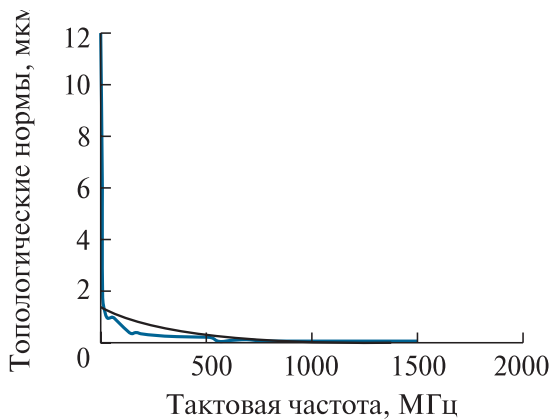
Рис. 1. Обобщающая характеристика зависимости тактовой частоты процессоров от топологических норм кристаллов для зарубежных разработок

Fig. 1. General characteristics of the dependence of the processor speed on the topological norms of crystals for foreign developments

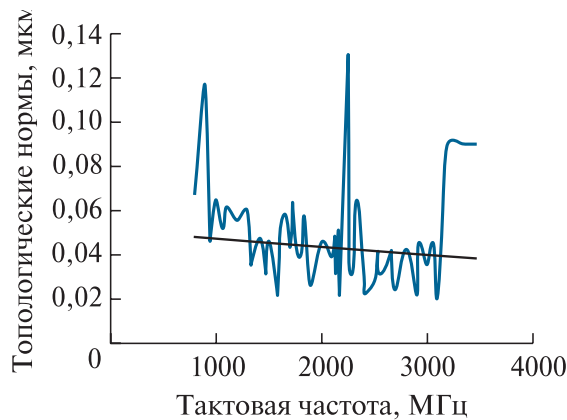
логия 90 нм позволяет увеличить степень интеграции микросхемы в 3 раза. Быстродействие же процессора 90 нм в 1,7 раза выше аналогичного показателя у процессора, изготовленного по норме в 180 нм. Снижение энергопотребления при этом составляет 1,5–2 раза. Таким образом, очевидны преимущества практического снижения топологических норм изготовления кристаллов процессоров.

Результаты и обсуждение

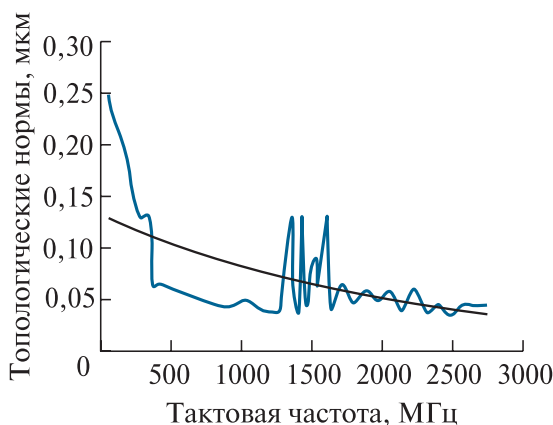
Зарубежный опыт указывает на то, что у каждой фирмы существуют свои подходы к проектированию кристаллов процессоров, которые в полной мере отражаются на зависимости такто-



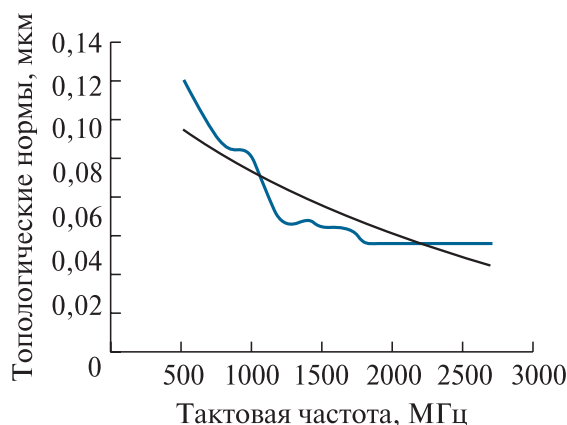
a



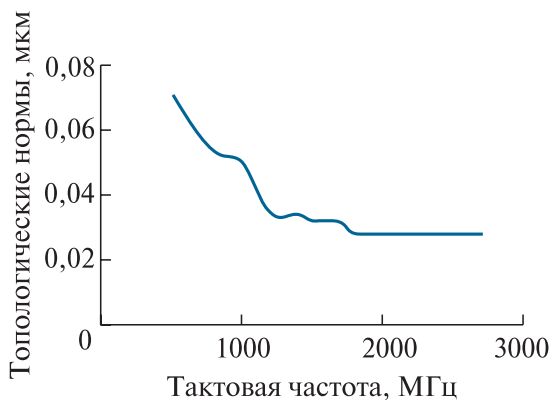
б



в



г



д

Рис. 2. Графики зависимости тактовой частоты процессоров от топологических норм размеров кристаллов для компаний Intel, AMD, Samsung и Qualcomm: *a, в, г, д* — соответственно процессоры фирм Intel, AMD, Samsung, Qualcomm; *б* — участок зависимости Intel в пределах тактовой частоты от 800 до 3460 МГц

Fig. 2. Graphs of the processor speed dependence on topological standards of crystal sizes for Intel, AMD, Samsung, and Qualcomm: *a, в, г, д* — processors by Intel, AMD, Samsung, Qualcomm, respectively; *б* — Intel dependence plot within the clock frequency from 800 to 3460 MHz

вых частот процессоров от топологических норм кристаллов.

Рассмотрим некоторые аспекты влияния размеров кристаллов на тактовую частоту процессоров компаний AMD, Intel, Samsung, Qualcomm.

У компаний Intel и AMD производство процессоров преимущественно отличается от производства других зарубежных фирм тем, что они доводят их архитектурно-структурную реализацию в «ручном» режиме до той степени, при которой обеспечивается наилучшее соответствие между тактовой частотой и размером кристалла.

Это позволяет «разогнать» процессоры технологии 0,18 мкм до работы вместо расчетной тактовой частоты 200 МГц до 800 МГц и более.

Анализируя процессоры на кристаллах компаний Intel, AMD, Samsung и Qualcomm, можно заметить влияние снижения топологических норм кристаллов на тактовую частоту процессора (рис. 2). При этом для разных моделей процессоров оно различно. Особенно это характерно для процессоров Intel и AMD. В открытых источниках поведение этой характеристики проявляется в скачкообразном изменении участков кривых.

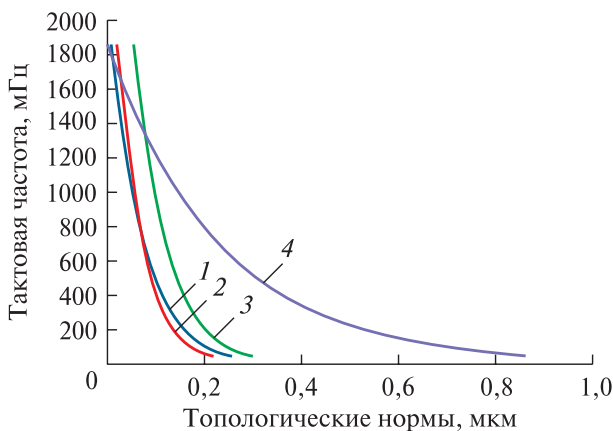


Рис. 3. Расчетные характеристики линий тренда процессоров: 1 — Samsung; 2 — Qualcomm; 3 — AMD; 4 — Intel

Fig. 3. The calculated characteristics of the trend lines of the processors: 1 — Samsung; 2 — Qualcomm; 3 — AMD; 4 — Intel

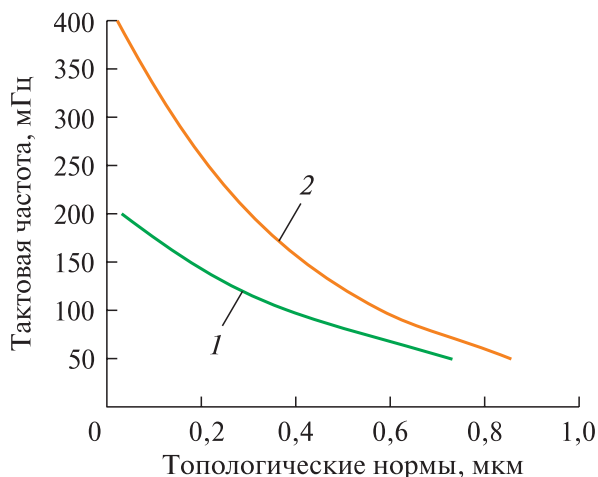


Рис. 4. Обобщенные характеристики зависимости тактовой частоты от топологических норм кристаллов отечественных процессоров: 1 — общий график по отечественным процессорам; 2 — общий график по отечественным процессорам на зарубежных кристаллах

Fig. 4. Generalized characteristics of the processor speed dependence on the topological norms of crystals of domestic processors: 1 — a general schedule for domestic processors; 2 — the general schedule for domestic processors based on foreign crystals

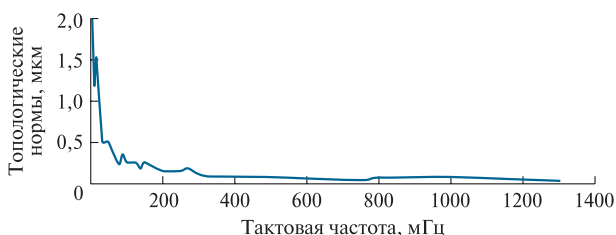


Рис. 5. Зависимость тактовой частоты от топологических норм кристаллов для отечественных процессоров

Fig. 5. The dependence of the processor speed on the topological standards of crystals for domestic processors

В целях удобства визуального восприятия и анализа рассматриваемых зависимостей целесообразно представить их линиями трендов (выделены черным цветом).

Приведем расчетные характеристики линий тренда (рис. 3):

$$y = -\frac{1}{14,05} \cdot \ln \frac{x}{3540} \text{ (для компании AMD);}$$

$$y = -\frac{1}{4,2} \cdot \ln \frac{x}{1861,8} \text{ (для компании Intel);}$$

$$y = -\frac{1}{14,49} \cdot \ln \frac{x}{2106,5} \text{ (для компании Samsung);}$$

$$y = -\frac{1}{18,87} \cdot \ln \frac{x}{2781,2} \text{ (для компании Qualcomm),}$$

где x и y — транспонированные координаты тактовой частоты и топологических норм на размеры кристалла.

Отечественные разработки в данном направлении по своим показателям уступают зарубежным компаниям. На рис. 4 и 5 изображены обобщенные характеристики зависимости тактовой частоты от топологических размеров кристаллов отечественных процессоров, где коричневым цветом обозначена зависимость с использованием зарубежных кристаллов.

Наибольших успехов добились производители АО «МЦСТ», разработавшие четырехъядерный процессор 1891BM6Я с 64-битной архитектурой SPARC v.9, тактовой частотой 1 ГГц по техпроцессу 90 нм. АО НПЦ «ЭЛВИС» с многоядерным сигнальным микропроцессором 1892BM14Я, изготовленным по КМОП (кремний-металл-оксид-полупроводник) технологии TSMC (Тайвань) по техпроцессу 40нм и максимальной рабочей частотой 750 (CPU)/ 500 (DSP) МГц.

В настоящее время в стране проводится комплекс мероприятий по сертификации и запуску производственных линий с технологическими процессами 65 и 28 нм. Это обстоятельство дает основание полагать, что производство отечественных процессоров будет независимым от международных санкций и позволит избавиться от импортозависимости. Отметим, что качественные показатели работы процессоров сложно привязать к каким-либо критериям. Каждая фирма разрабатывает процессоры со своими особенностями, учитывая имеющиеся технологические возможности.

Выводы

Большинство производителей отечественных интегральных микросхем, в том числе процессоров, как правило, используют зарубежные технологические линейки, адаптированные для

российского производства. В настоящее время это создает предпосылки для выпуска изделий по характеристикам, близким к таковым у зарубежных аналогов.

Тем не менее, пока наблюдается отставание отечественной технологии производства процессорных систем от зарубежной, хотя оно достаточно мало и не выглядит фатальным. В настоящее время ведущие российские предприятия — разработчики процессорных систем ориентированы на освоение самых перспективных технологий [11–20].

В заключение добавим, что многие из представленных материалов, полученные из открытых источников, представляют собой эмпирические выкладки. Тем не менее, данная статистика представляет интерес не только как аналитическая подборка, но и может служить обоснованием при разработке перспективных планов развития производства отечественных процессоров, для постановки научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и составления федеральных целевых программ.

Список литературы

- [1] Рабаи Ж.М., Чандракасан А., Николич Б. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. М.: Вильямс, 2007. 912 с.
- [2] Аваева Н.А., Наумов Ю.И., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники. М.: Радио и Связь, 1991. 288 с.
- [3] Шелохвостов В.П., Чернышов В.Н. Проектирование интегральных микросхем. Тамбов: Тамбовский ГТУ, 2008. 208 с.
- [4] Торгонский Л.А. Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров. Раздел 1. Томск: ТУСУР, 2011. 254 с.
- [5] Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. 400 с.
- [6] Пономарев М.Ф., Коноплев Б.Г. Конструирование и расчет микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1986. 251 с.
- [7] Гамкрелидзе С.А., Мальцева С.В., Митрофанов С.А., Котов Ю.Т. Развитие, особенности построения и функционирования 32-разрядных микропроцессоров. М.: Машиностроение, 2000. 189 с.
- [8] Матсон Э.А., Кржижановский Д.В. Справочное пособие по конструированию микросхем. Минск: Высш. шк., 1979. 208 с.
- [9] Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника: Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника. М.: Высш. шк., 1987. 416 с.
- [10] Бухтеев А.В. Методы и средства проектирования систем на кристалле // Chip News, 2003. № 4. С. 4–8, 11–14.
- [11] Сергеев С.Л. Архитектуры вычислительных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 240 с.
- [12] Акустооптические процессоры спектрального типа / Грачев С.В., Наумов К.П., Ушаков В.Н., Бышевский-Конопко О.А., Жогун В.Н., Мазур М.М., Пожар В.Э., Проклов В.В., Пустовойт В.И., Тябликов А.В. М.: Радиотехника, 2012. 192 с.
- [13] Гук М. Процессоры Intel: от 8086 до Pentium II. М.; СПб: Питер, 2009. 224 с.
- [14] Гук М. Процессоры Pentium II, Pentium Pro и просто Pentium. М.; СПб: Питер, 2009. 288 с.
- [15] Керделлан К. Дети процессора. Как Интернет и видеоигры формируют завтрашних взрослых. М.: У-Фактория, 2015. 933 с.
- [16] Наумов К.П., Ушаков В.Н. Акустооптические сигнальные процессоры. М.: Science Press, 2015. 899 с.
- [17] Антошина И.В., Котов Ю.Т. Микропроцессоры и микропроцессорные системы (аналитический обзор). М.: МГУЛ, 2005. 432 с.
- [18] Солонина А., Улахович Д., Яковлев Л. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 464 с.
- [19] Ушаков В.Н. Акустооптические процессоры корреляционного типа. М.: Радиотехника, 2013. 184 с.
- [20] Корнеев В.В., Киселев А.В. Современные микропроцессоры. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 440 с.

Сведения об авторах

Фалин Алексей Евгеньевич — научный сотрудник ФГУП «МНИИРИП», parke@mail.ru
Алексеев Виктор Валентинович — первый зам. директора ФГУП «МНИИРИП», ekb_centra@mail.ru
Щепанов Андрей Николаевич — нач. управления ФГУП «МНИИРИП», schipanov@mniirip.ru
Киклевич Олег Владимирович — ст. науч. сотр. ФГУП «МНИИРИП», parke@mail.ru
Котов Юрий Терентьевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kotov46@inbox.ru
Знаменская Татьяна Дмитриевна — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tzn957@gmail.com

Поступила в редакцию 19.04.2019.
 Принята к публикации 15.07.2019.

THE ANALYSIS OF PROCESSOR SPEED DEPENDENCE ON GEOMETRY RULES OF CRYSTALS

A.E. Falin¹, V.V. Alekseev¹, A.N. Shchepanov¹, O.V. Kiklevich¹,
Y.T. Kotov², T.D. Znamenskaya²

¹MNIIRIP, st. Kolpakova, 2a, 141002, Mytishchi, Moscow region, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

tzn957@gmail.ru

Issues related to the dependence of the processor speed on the topological rate of crystal manufacturing are considered. Some aspects of the influence of crystal sizes on processors speed from AMD, Intel, Samsung, Qualcomm are presented. The graphs of the dependence of the processor speed on topological standards of crystal sizes for Intel, AMD, Samsung and Qualcomm are presented. The dynamics of the effect of a decrease in the topological norms of crystals on the processor clock frequency is traced. The generalized characteristics of the dependence of the clock frequency on the topological sizes of crystals of domestic processors are presented. The results can be used to develop long-term development plans for domestic processors.

Keywords: CPU, topological norm, processor speed, technology, computing systems

Suggested citation: Falin A.E., Alekseev V.V., Shchepanov A.N., Kiklevich O.V., Kotov Y.T., Znamenskaya T.D. *Analiz zavisimosti taktovoy chastoty protsessorov ot topologicheskikh norm kristallov* [The analysis of processor speed dependence on geometry rules of crystals]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 76–81. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-76-81

References

- [1] Rabai Zh.M., Chandrakasan A., Nikolich B. *Tsifrovye integral'nye skhemy. Metodo-logiya proektirovaniya* [Digital integrated circuits. Design methodology]. Moscow: Williams, 2007, p. 912.
- [2] Avaeva N.A., Naumov Yu.I., Frolkin V.T. *Osnovy mikroelektroniki* [Fundamentals of microelectronics]. Moscow: Radio i svyaz', 1991, 288 p.
- [3] Shelokhvostov V.P., Chernyshov V.N. *Proektirovanie integral'nykh mikroskhem* [Integrated Circuit Design]. Tambov: Tambov GTU, 2008, 208 p.
- [4] Torgonskiy L.A. *Proektirovanie integral'nykh mikroskhem i mikroprotsessorov* [Designing integrated circuits and microprocessors]. Tomsk: TUSUR, 2011, Section 1, 254 p.
- [5] Koledov L.A. *Tekhnologiya i konstruksii mikroskhem, mikroprotsessorov i mikro-sborok* [Technology and design of microcircuits, microprocessors and micro assemblies]. Moscow: Radio i svyaz', 1989, 400 p.
- [6] Ponomarev M.F., Konoplev B.G. *Konstruirovaniye i raschet mikroskhem i mikropro-tsessorov* [Design and calculation of microcircuits and microprocessors]. Moscow: Radio i svyaz', 1986, 251 p.
- [7] Gamkrelidze S.A., Mal'tseva S.V., Mitrofanov S.A., Kotov Yu.T. *Razvitie, osobennosti postroeniya i funktsionirovaniya 32-razryadnykh mikroprotsessorov* [Development, features of construction and operation of 32-bit microprocessors]. Moscow: Mashinostroyeniye, 2000, 189 p.
- [8] Matson E.A., Krzhizhanovskiy D.V. *Spravochnoe posobie po konstruirovaniyu mikroskhem* [Handbook for the design of microshem]. Minsk: High School, 1979, 208 p.
- [9] Efimov I.E., Kozyr' I.Ya., Gorbunov Yu.I. *Mikroelektronika: Proektirovanie, vidy mikroskhem, funktsional'naya mikroelektronika* [Microelectronics: Design, types of microcircuits, functional microelectronics]. Moscow: Higher School, 1987, 416 p.
- [10] Bukhteev A.V. *Metody i sredstva proektirovaniya sistem na kristalle* [Methods and tools for designing systems on a chip] *Chip News*, 2003, no. 4, p. 4–8, 11–14.
- [11] Sergeev S.L. *Arkhitektury vychislitel'nykh sistem* [Computer architecture]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2010, 240 p.
- [12] Grachev, SV, Naumov, KP, Ushakov, VN, Byshevsky-Konopko, OA, Zhogun, VN, Mazur, MM, Pozhar, VE, Proklov V.V., Pustovoi V.I., Tyablikov A.V. *Akustoopticheskie protsessory spektral'nogo tipa* [Acousto-optic processors of spectral type] Moscow: Radio Engineering, 2012, 192 p.
- [13] Guk M. *Protsessory Intel: ot 8086 do Pentium II* [Intel processors: from 8086 to Pentium II]. Moscow, St. Petersburg: Piter, 2009, 224 p.
- [14] Guk M. *Protsessory Pentium II, Pentium Pro i prosto Pentium* [Processors Pentium II, Pentium Pro and just Pentium]. Moscow, St. Petersburg: Piter, 2009, 288 p.
- [15] Kerdellan K. *Deti protsessora. Kak Internet i videoigry formiruyut zavtrash-nikh vzroslykh* [Children of the processor. How the Internet and video games shape tomorrow's adults]. Moscow: U-Factoriya, 2015, 933 p.
- [16] Naumov K.P., Ushakov V.N. *Akustoopticheskie signal'nye protsessory* [Acousto-optic signal processors]. Moscow: Science Press, 2015, 899 p.
- [17] Antoshina I.V., Kotov Yu.T. *Mikroprotsessory i mikroprotsessornye sistemy (analiti-cheskiy obzor)* [Microprocessors and microprocessor systems (analytical review)]. Moscow: MGUL, 2005, 432 p.
- [18] Solonina A., Ulakhovich D., Yakovlev L. *Algoritmy i protsessory tsifrovoy obrabotki signalov* [Algorithms and processors of digital signal processing]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2009, 464 p.
- [19] Ushakov V.N. *Akustoopticheskie protsessory korrelyatsionnogo tipa* [Acousto-optic processors of correlation type]. Moscow: Radio Engineering, 2013, 184 p.
- [20] Komeev V.V., Kiselev A.V. *Sovremennye mikroprotsessory* [Modern microprocessors]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2003, 440 p.

Authors' information

Falin Alexey Evgenievich — Researcher, MNIIRIP, parke@mail.ru

Alekseev Viktor Valentinovich — First deputy Director, MNIIRIP, ekb_centra@mail.ru

Schepanov Andrei Nikolaevich — Head of Department, MNIIRIP, schipanov@mniirip.ru

Kiklevich Oleg Vladimirovich — Senior Researcher, MNIIRIP, parke@mail.ru

Kotov Yuriy Terentevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), kotov46@inbox.ru

Znamenskaya Tat'yana Dmitrievna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tzn957@gmail.com

Received 19.04.2019.

Accepted for publication 15.07.2019