

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ УЧЕБНЫХ ЭВМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОРГАНИЗАЦИИ И АРХИТЕКТУРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

А. В. Аверьянов, И. Н. Кошель, А. Н. Шульгин

*Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия
vka_24kaf@mail.ru*

Аннотация. Предложены программный эмулятор учебной цифровой вычислительной машины и программный симулятор учебного цифрового процессора, обеспечивающие развитие основных принципов построения и функционирования средств вычислительной техники, реализованных в лабораторной установке-тренажере „Учебная цифровая вычислительная машина“. Современные процессоры, микропроцессоры и их программное обеспечение являются исключительно сложными объектами для изучения и практического освоения. Одним из магистральных направлений в преодолении этой проблемы в вузах является использование на начальных этапах обучения основ информационных технологий тренажеров и программных моделей учебных ЭВМ. Предложенные программные модели, обладая сравнительной простотой и наглядным визуальным интерфейсом, помогают обучающимся успешно освоить базовые понятия организации и архитектуры ЭВМ, такие как: система команд, форматы команд и данных, представление данных, способы адресации, основы специального кодирования чисел.

Ключевые слова: учебная электронная вычислительная машина, программный эмулятор, программный симулятор, система команд, процессор, программирование в машинных кодах, практические и лабораторные занятия

Ссылка для цитирования: Аверьянов А. В., Кошель И. Н., Шульгин А. Н. Использование программных моделей учебных ЭВМ при изучении организации и архитектуры вычислительных средств // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 6. С. 467–474. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-6-467-474.

USING SOFTWARE MODELS OF EDUCATIONAL COMPUTERS IN STUDYING COMPUTING TOOLS ORGANIZATION AND ARCHITECTURE

A. V. Averyanov, I. N. Koshel, A. N. Shulgin

*A.F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russia
vka_24kaf@mail.ru*

Abstract. A software emulator of an educational digital computer and a software simulator of an educational digital processor are proposed, ensuring the development of the basic principles of construction and operation of computer equipment implemented in the laboratory simulator “Educational Digital Computer”. Modern processors, microprocessors and their software are extremely complex objects to study and practically master. One of the main directions in overcoming this problem in universities is the use of simulators and software models of educational computers at the initial stages of teaching the basics of information technology. The proposed software models, provided with comparative simple and a clear visual interface, help students successfully master the basic concepts of computer organization and architecture, such as command system, command and data formats, data representation, addressing methods, and the basics of special number coding.

Keywords: educational electronic computer, software emulator, software simulator, command system, processor, programming in machine codes, practical and laboratory classes

For citation: Averyanov A. V., Koshel I. N., Shulgin A. N. Using software models of educational computers in studying computing tools organization and architecture. *Journal of Instrument Engineering*. 2024. Vol. 67, N 6. P. 467–474 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-6-467-474.

Использование на практических и лабораторных занятиях специализированных установок, стендов, тренажеров, обучающих систем и электронных учебников на базе персональных ЭВМ, программных моделей, эмуляторов и других компьютерных технологий и средств индивидуального и группового обучения, в том числе дистанционного, существенно повышает эффективность подготовки специалистов в области вычислительной техники. При этом отпадает необходимость в использовании дорогостоящих, а порой уникальных средств вычислительной техники, и в то же время повышается уровень приобретаемых умений и практических навыков их эксплуатации [1].

Одним из средств имитации построения и функционирования универсальной цифровой вычислительной машины с программным управлением является разработанная на кафедре электронной вычислительной техники ВКА им. А. Ф. Можайского [2] лабораторная установка „Учебная цифровая вычислительная машина“ (УЦВМ), которая в течение продолжительного времени использовалась в лабораторных и практических занятиях при изучении дисциплин кафедры (рис. 1).

УЦВМ обладает следующими возможностями:

- наглядно отображает реализацию принципа программного управления вычислительным процессом — основополагающего для построения и функционирования ЭВМ с дискретным способом представления информации и программным способом управления ее обработкой;

- реализует необходимые механизмы программного управления вычислительным процессом, такие как: хранение в памяти машины программы решаемой задачи и исходных данных, двоичное кодирование команд и операндов, естественная выборка команд из памяти машины при реализации программ решаемых задач, условная и безусловная передача управления вычислениями, модификация отдельных команд без изменения программы в целом и другие свойства;

- лицевая панель установки представляет классическую неймановскую структуру вычислительной машины (рис. 1), состоящую из: устройства управления (УУ), арифметического устройства (АУ), запоминающего устройства (ЗУ), устройства ввода (УВв), устройства вывода (УВыв), а также шинного интерфейса. Каждое устройство представляет собой набор взаимосвязанных функциональных элементов и узлов, необходимых для реализации вычислительного процесса под управлением команд решаемых задач. Это позволяет на занятиях в аудитории и самостоятельно изучать структуру и аппаратный состав машины, а также наблюдать работу и взаимодействие элементов и узлов машины. За счет этого:

- принципы построения и функционирования элементов, узлов, устройств и машины в целом эффективно усваиваются;

- система управления вводом-выводом, выбором режимов работы, пуском, прерыванием, продолжением и остановкой работы машины (пользовательский интерфейс) обеспечивает достаточно простое взаимодействие с машиной и отслеживает все этапы выбранного режима функционирования („Такт“, „Цикл“, „Автомат“);

- разветвленная система индикации, отражающая состояние элементов, узлов, устройств и органов управления работой машины, позволяет детально „увидеть изнутри“ процессы ввода, выборки, получения и передачи результатов обработки информации от узла к узлу, от устройства к устройству на каждом этапе работы машины (по тактам и циклам). Эта возможность отображать состояние и работу „машины в разрезе“ является уникальной, поскольку в современных программных моделях подобных процессов и устройств все взаимодействия отображаются на уровне „черных ящиков“.

Однако, обладая большим набором положительных свойств, позволяющих эффективно ис-

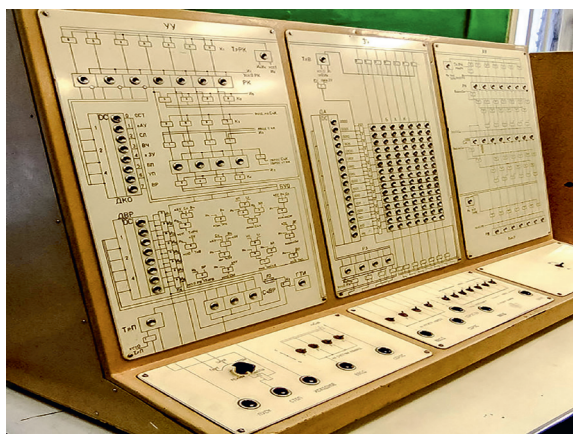


Рис. 1

пользовать УЦВМ в учебном процессе, эта установка-тренажер имеет существенные недостатки, ограничивающие ее возможности при длительной эксплуатации:

- использование при ее построении электронных микросхем, неизбежное „старение“ которых служит причиной сбоев, искажений результатов вычислений и отказов в работе УЦВМ;
- для поддержания работоспособного состояния, устранения неисправностей и подготовки установки к работе требовались дополнительные затраты времени и материальных средств;
- ограниченное число учебных мест в аудиториях, определяемое количеством имеющихся лабораторных установок на кафедре.

Поэтому встала задача устранения указанных недостатков УЦВМ, сохранения ее „обучающего“ потенциала с одновременным расширением набора достоинств, таких как: наглядность, тиражируемость, гибкость управления, открытость для модификации и модернизации, перемещаемость в пространстве, сокращение эксплуатационных затрат [3].

На кафедре информационно-вычислительных систем и сетей разработан программный эмулятор учебной цифровой вычислительной машины (эмулятор Молчанова) [4–7], позволяющей воспроизводить систему команд УЦВМ на персональном компьютере. При этом на структурной схеме (рис. 2) программной модели УЦВМ наглядно отображаются процессы взаимодействия узлов и устройств при выполнении машинных циклов.

Система команд эмулятора Молчанова представлена в табл. 1 (а — адрес; АЧ — адресная часть; КОп — код операции; См — сумматор; АУ — арифметическое устройство; (См₀) — код, находящийся в сумматоре арифметического устройства до выполнения данной команды; (См) — код, образующийся в сумматоре АУ в результате выполнения данной команды; СчК — счетчик команд; (СчК₀) — код, образующийся в счетчике команд в начале машинного цикла; (СчК) — код, находящийся в счетчике команд в конце машинного цикла; Вых.У — выходное устройство; (РВ) — код, образующийся в регистре выхода выходного устройства; ЗУ — запоминающие устройство; ω — признак результата операции). Если результат операции отрицательный, $\omega = 1$. Сигнал снимается с младшего дополнительного (знакового) разряда сумматора и подается в УУ (устройство управления), где используется при выполнении команды условной передачи управления (рис. 2).

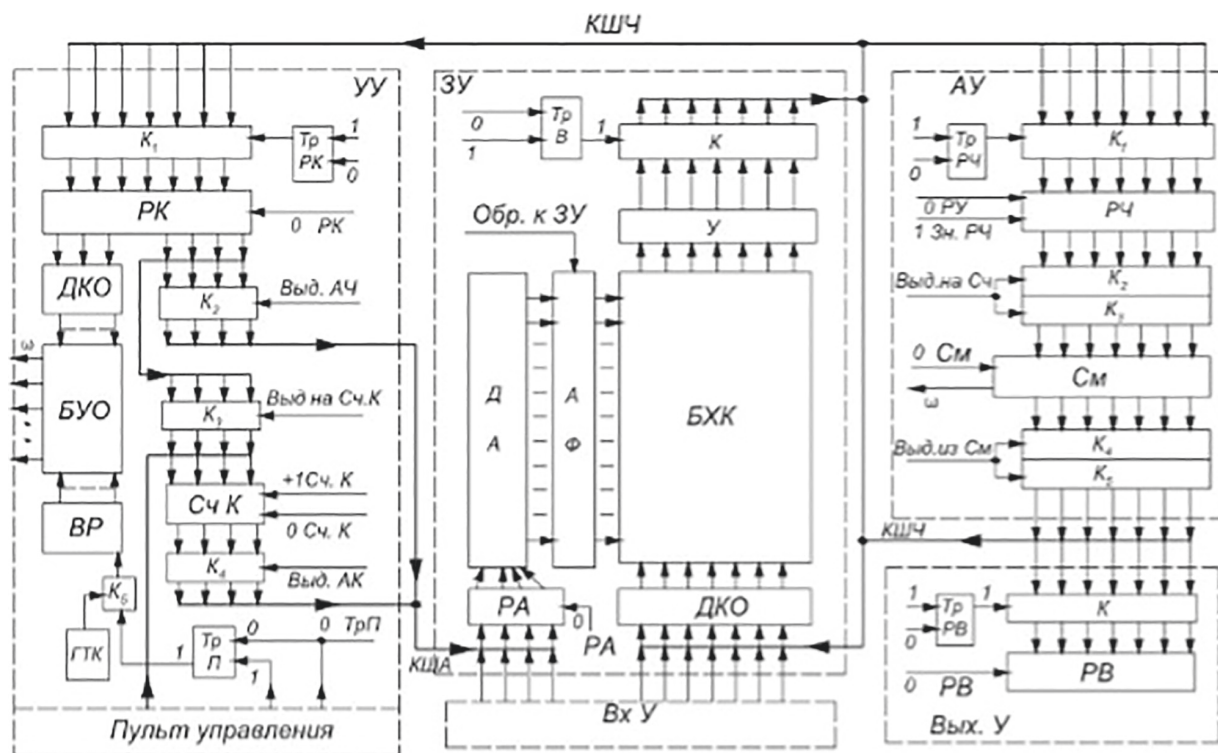


Рис. 2

Таблица 1

№ п/п	Наименование команды	Поле команды		Содержание команды
		КОп	АЧ	
1	Посылка в АУ	1	а	$(C_m) = (a)$
2	Сложение	2	а	$(C_m) = (C_{m0}) + (a)$
3	Вычитание	3	а	$(C_m) = (C_{m0}) - (a)$
4	Посылка в ЗУ	4	а	$(a) = (C_{m0})$
5	Безусловный переход	5	а	$(CчК) = (a)$
6	Условный переход	6	а	Если $\omega = 0$, то $(CчК) = (CчК_0) + 1$, если $\omega = 1$, то $(CчК) = a$
7	Посылка в Вых.У	7	00	$(PВ) = (C_{m0})$
8	Останов	0	00	Прекращение выполнения программы

Система команд программного эмулятора УЦВМ содержит команды: *арифметические* — 2 (сложение, вычитание), *пересылки и загрузки* — 3 (посылка в АУ, посылка в ЗУ, посылка в Вых.У), *передачи управления* — 2 (условный, безусловный переход), *системные* — команда останова. Несмотря на ограниченное количество инструкций, система команд программного эмулятора учебной ЦВМ обладает функциональной полнотой для программного описания в машинных кодах любого алгоритма. Именно поэтому предложенный программный эмулятор целесообразно использовать на подготовительном и начальном этапах обучения основам информационных технологий [8–10].

В эмуляторе Молчанова используется только прямая адресация (одноадресные команды № 1–6), а команды 7 и 8 являются безадресными (табл. 1). Это делает невозможным практическое освоение других способов адресации. Блок хранения кодов (БХК) содержит 15 ячеек памяти, что соответствует 105 битам. Семиразрядные операнды заносятся в память в прямом коде, а выполнение операций осуществляется в сумматоре с использованием модифицированного дополнительного кода. Диапазон представления целых чисел от -127 до $+127$, а дробных от $-63/64$ до $+63/64$.

Эти особенности ограничивают возможность глубокого изучения основ организации вычислительных процессов в современных ЭВМ. Для продолжения обучения в этом направлении необходимо использовать более сложные программные модели ЭВМ. Поэтому на кафедре информационно-вычислительных систем и сетей разработан программный симулятор учебного цифрового процессора [11], служащий усовершенствованием программного эмулятора УЦВМ. Он представляет собой шестнадцатиразрядный двоичный процессор с естественной формой представления чисел. В данном процессоре реализовано использование одноадресных и двухадресных команд с непосредственной и прямой адресацией. Программный симулятор выполнен в виде оконного приложения с интуитивно понятным интерфейсом (рис. 3). Интерфейс программного симулятора позволяет осуществлять:

- ввод и редактирование данных в памяти;
- управление режимами выполнения команд;
- контроль взаимодействия основных элементов процессора при выполнении различных операций;
- анализ тракта прохождения информации;
- использование специальных кодов в командном цикле процессора.

Использование программного симулятора возможно на всех типах персональных ЭВМ, кроме мобильных. Для его работы требуются:

- операционная система — Windows (версии XP, 7, 10);
- минимальный объем ОЗУ — 100 МБ;
- разрешение экрана монитора 920×1080 пикселей и выше;

- возможность подключения внешних носителей информации;
- возможность подключения внешних средств отображения информации;
- для корректного отображения „справки“ должно быть установлено приложение для просмотра pdf-файлов.

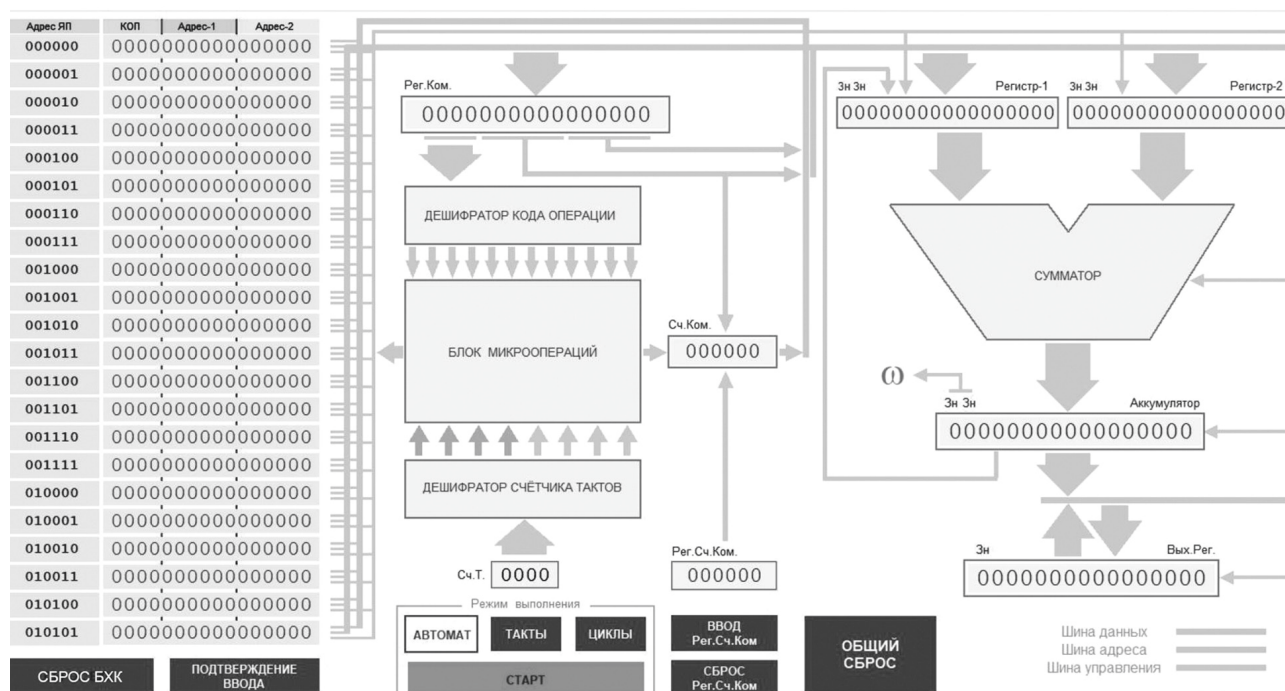


Рис. 3

Система команд программного симулятора включает одиннадцать команд (табл. 2).

В табл. 2 приняты следующие обозначения: D_1 , D_2 — первый и второй операнды при непосредственной адресации; A_1 , A_2 — исполнительные адреса операндов при прямой адресации; A_1 — исполнительный адрес в условном, безусловном переходе или пересылке из ЗУ в выходной регистр; A_2 — исполнительный адрес при сложении с содержимым аккумулятора; (Ак) — код, содержащийся в аккумуляторе; (СчК) — код, содержащийся в счетчике; (СчК₀) — предыдущее значение кода счетчика команд; (ВыхРег) — код, содержащийся в выходном регистре.

Запоминающее устройство программного симулятора, так же как и программного эмулятора УЦВМ, представляет собой адресное ЗУ с произвольным доступом, построенное по одномерной схеме, оно выполнено в виде блока хранения кодов. БХК состоит из двадцати двух ячеек памяти.

В случае неправильного ввода команд программным симулятором выдается сообщение об ошибке.

Программный симулятор в процессе обучения позволяет:

- исследовать особенности построения и реализации алгоритмов, определенных системой команд ЭВМ;
- программировать в машинных кодах линейные, разветвляющиеся и циклические алгоритмы;
- представлять числовые данные в естественной форме в разрядной сетке ЭВМ;
- использовать прямой и специальные коды чисел при выполнении машинных операций;
- проводить сравнительный анализ алгоритмов, реализуемых командами различных форматов;
- проводить сравнительный анализ операций с использованием различных видов адресации.

Таблица 2

№ п/п	Наименование команды	Адресация	Поле команды		Содержание команды
			КОп	АЧ	
1	Сложение	Непосредственная	0001	D ₁ , D ₂	(Ак) = D ₁ + D ₂
2	Вычитание		0010		(Ак) = D ₁ - D ₂
3	Сложение	Прямая	0011	A ₁ , A ₂	(Ак) = (A ₁) + (A ₂)
4	Вычитание		0100		(Ак) = (A ₁) - (A ₂)
5	Пересылка из ЗУ в выходной регистр	Прямая	0101	A ₁	(A ₁) → (BP)
6	Пересылка в ЗУ из аккумулятора	Прямая	0111	A ₁	(Ак) → (A ₁)
7	Безусловный переход	Прямая	1000	A ₁	(СчК) = (A ₁)
8	Условный переход	Прямая	1001	A ₁	Если ω = 00, то (СчК) = (СчК ₀) + 1, если ω = 11, то (СчК) = A ₁
9	Сложение с содержимым аккумулятора	Прямая	1010	A ₂	(Ак) = (Ак) + (A ₂)
10	Пересылка из аккумулятора в выходной регистр	—	1011	—	(Ак) → (ВыхРег)
11	Останов	—	1111	—	Прекращение выполнения программы

Программный симулятор разработан на языке высокого уровня Python. Возможности данного средства программирования позволили реализовать не только расширенный, по сравнению с эмулятором Молчанова, функционал, но и создать интуитивно понятный и наглядный интерфейс приложения. Уникальность данной программной разработки состоит также и в том, что возможности Python позволили реализовать бинарные функции при выполнении основных арифметических операций в машинных кодах [12]. Ниже приведен пример фрагмента программного кода преобразования прямого кода в модифицированный дополнительный двоичный код (МДДК) при выполнении операции сложения с прямой адресацией (код операции 0011).

```

if a[0:4] == '0011': #СЛОЖЕНИЕ ПРИ ПРЯМОЙ АДРЕСАЦИИ
a1 = Sp[int(a[4:10], base=2)]
a2 = int(a1, base=2)
a2 = f'{a2:017b}'
if a1[0] == '0': #МДК для положительного первого слагаемого
a2 = list(a2)
a2[0:2] = '00'
a2 = ''.join(a2)
reg1['text'] = a2
if a1[0] == '1': #МДДК для отрицательного первого слагаемого
a3 = int(a1, base=2)
mask = (1 << 17) - 1
a3 = ((abs(a3) ^ mask) + 1)
a3 = list(f'{a3:017b}')
a3[0:2]='11'
a3 = ''.join(a3)
reg1['text'] = a3

```

Характеристики данного симулятора позволили расширить круг решаемых учебных задач. Результаты сравнительного анализа основных показателей эмулятора Молчанова и симулятора учебного цифрового процессора приведены в табл. 3.

Таблица 3

Основные показатели	Эмулятор Молчанова	Симулятор УЦП
Ширина разрядной сетки	7	16
Объем БХК (число ячеек памяти)	15	22
Количество команд	8	11
Виды адресации	1	2
Форматы основных команд	1	2
„Дружественность“ интерфейса	–	+
Анализ трактов прохождения информации	–	+
Анализ преобразования информации	+	+
Анализ кодов в командном цикле	+	+
Сравнительный анализ видов адресации	–	+
Сравнительный анализ форматов команд	–	+
Выбор режимов выполнения программы	+	+

Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы. Современные процессоры, микропроцессоры и их программное обеспечение являются исключительно сложными объектами для изучения и практического освоения. Одним из магистральных направлений в решении этой задачи является создание и использование на начальных этапах обучения тренажеров и программных моделей учебных ЭВМ [13, 14].

Рассмотренные в настоящей статье программный эмулятор учебной ЦВМ и программный симулятор учебного цифрового процессора являются примером успешного решения сформулированной выше задачи. Обладая сравнительной простотой и удобным интерфейсом, они помогают обучающимся успешно освоить базовые понятия организации и архитектуры ЭВМ, такие как: система команд, форматы команд и данных, представление данных, способы адресации, основы специального кодирования чисел. Эти программные модели обеспечивают удобный и наглядный доступ к различным блокам, модулям, узлам и элементам ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вычислительные машины и системы / Под ред. проф. В. А. Смагина. СПб: МО РФ, 1998. 342 с.
2. Учебная ЦВМ. Руководство к практическим занятиям. СПб: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1980. 78 с.
3. Гребнев В. В., Молчанов О. Е. Основы теории вычислительных машин. Ч. 3. Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1979. 125 с.
4. Кузьмичев В. А., Молчанов О. Е. Эмулятор учебной ЦВМ // Современные тенденции в образовании и науке: сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. 28 декабря 2012 г. Ч. 3. Тамбов: „Бизнес-Наука-Общество“, 2013. 163 с.
5. Аверьянов А. В., Молчанов О. Е., Белая Т. И. Имитационное моделирование процесса функционирования универсальной цифровой вычислительной машины с программным управлением м// Научный обозреватель (науч.-аналит. журн.). 2015. № 3(51). С. 35–39.
6. Белая Т. И., Молчанов О. Е., Казанцев Д. И. Моделирование различных режимов работы ЭВМ на имитационной модели „УЦВМ“ // Журнал научных и прикладных исследований. 2015. № 5. С. 116–118.
7. Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017617992. Программный эмулятор учебной цифровой вычислительной машины (эмулятор Молчанова) / В. А. Кузьмичёв, О. Е. Молчанов, А. В. Аверьянов, Т. И. Белая. Заяв. № 2017612340, зарег. 19.07.2017.
8. Аверьянов А. В., Белая Т. И., Молчанов О. Е. Анализ программных моделей учебных ЭВМ с использованием принципа Парето // Естественные и технические науки. 2016. № 6. С. 160–164.
9. Аверьянов А. В., Кошель И. Н., Кузнецов В. В., Нгуен В. Т. Статистическое оценивание метрик машинных команд ЭВМ и реализующих их микрокоманд на основе анализа Парето // Изв. вузов. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 4. С. 259–265.
10. Аверьянов А. В., Эсаулов К. А. Тестовый контроль в высшем учебном заведении знаний обучающихся по направлению „Информатика и вычислительная техника“ // Вопросы образования и науки: теоретический и методические аспекты: сб. науч. тр. Ч. 5. Тамбов: „Бизнес-Наука-Общество“, 2012. 164 с.

11. Шульгин А. Н. Программный симулятор учебного цифрового процессора. Руководство пользователя. СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2023. 19 с.
12. Лутц М. Программирование на Python. Т. I. СПб: Символ-Плюс, 2011. 992 с.
13. Жмакин А. П. Архитектура ЭВМ. СПб: БХВ-Петербург, 2010. 352 с.
14. Басыров А. Г. Организация ЭВМ и систем: практикум. СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2012. 83 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Алексей Васильевич Аверьянов** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра информационно-вычислительных систем и сетей; доцент; E-mail: aver957@mail.ru
- Игорь Николаевич Кошель** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра информационно-вычислительных систем и сетей; E-mail: kin1470@mail.ru
- Альберт Николаевич Шульгин** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра информационно-вычислительных систем и сетей; E-mail: alex_grid69@mail.ru

Поступила в редакцию 12.03.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024; принята к публикации 16.04.2024.

REFERENCES

1. Smagin V. A., ed., *Vychislitel'nyye mashiny i sistemy* (Computers and Systems), St. Petersburg, 1998, 342 p. (in Russ.)
2. *Uchebnaya tsifrovaya vychislitel'naya mashina. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam* (Educational Digital Computer. Guide to Practical Exercises), St. Petersburg, 1980, 78 p. (in Russ.)
3. Grebnev V. V., Molchanov O. E. *Osnovy teorii vychislitel'nykh mashin* (Fundamentals of the Theory of Computers), Leningrad, 1979, Pt. 3, 125 p. (in Russ.)
4. Kuzmichev V. A., Molchanov O. E. *Sovremennyye tendentsii v obrazovanii i nauke* (Modern Trends in Education and Science), Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the International Scientific and Practical Conference, December 28, 2012, Tambov, Pt. 3, 2013, 163 p. (in Russ.)
5. Averyanov A. V., Molchanov O. E., Belaya T. I. *Nauchnyy obozrevatel' (nauchno-analiticheskiy zhurnal)*, 2015, no. 3(51), pp. 35–39. (in Russ.)
6. Belaya T. I., Molchanov O. E., Kazantsev D. I. *Journal of Scientific and Applied Research*, 2015, no. 5, pp. 116–118. (in Russ.)
7. Certificate on the state registration of the computer programs 2017617992, *Programmnyy emulyator uchebnoy tsifrovoy vychislitel'noy mashiny (emulyator Molchanova)* (Software Emulator for Educational Digital Computers (Molchanov Emulator)), V. A. Kuzmichev, O. E. Molchanov, A. V. Averyanov, T. I. Belaya, Application 2017612340, Published 19.07.2017. (in Russ.)
8. Averyanov A. V., Belaya T. I., Molchanov O. E. *Natural and technical sciences*, 2016, no. 6, pp. 160–164. (in Russ.)
9. Averyanov A. V., Koshel I. N., Kuznetsov V. V., Nguyen V. T. *Journal of Instrument Engineering*, 2023, no. 4(66), pp. 259–265, DOI: 10.17586/0021-3454-2023-66-4-259-265. (in Russ.)
10. Averyanov A. V., Esaulov K. A. *Voprosy obrazovaniya i nauki: teoreticheskiy i metodicheskiye aspekty* (Issues of Education and Science: Theoretical and methodological aspects), Collection of Scientific Works, Tambov, 2012, Part 5, 164 p. (in Russ.)
11. Shulgin A. N. *Programmnyy simulyator uchebnogo tsifrovogo protsessora. Rukovodstvo pol'zovatelya* (Software Simulator of Educational Digital Processor. User Guide), St. Petersburg, 2023, 19 p. (in Russ.)
12. Lutz M. *Programming Python*, O'Reilly Media, Inc., 2010.
13. Zhmakin A. P. *Arkhitektura EVM* (Computer Architecture), St. Petersburg, 2010, 352 p. (in Russ.)
14. Basyrov A. G. *Organizatsiya EVM i sistem: praktikum* (Organization of Computers and Systems: Workshop), St. Petersburg, 2012, 83 p. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS

- Aleksey V. Averyanov** — PhD, Associate Professor; A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Information Systems and Networks; E-mail: Aver957@mail.ru
- Igor N. Koshel** — PhD, Associate Professor; A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Information Systems and Networks; Head of the Faculty; E-mail: kin1470@mail.ru
- Albert N. Shulygin** — PhD, Associate Professor; A.F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Information Systems and Networks; Lecturer; E-mail: alex_grid69@mail.ru

Received 12.03.2024; approved after reviewing 22.03.2024; accepted for publication 16.04.2024