

ISSN 1816-0301 (Print)
ISSN 2617-6963 (Online)

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ
SCIENTIFIC HARITAGE

УДК 683.735.33

Поступила в редакцию 22.04.2019
Received 22.04.2019

Принята к публикации 24.04.2019
Accepted 24.04.2019



**Научная школа профессора
А. А. Петровского**

М. И. Вашкевич, И. С. Азаров[✉], В. А. Вишняков

*Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
E-mail: azarov@bsuir.by*

Аннотация. Представлены два периода научной деятельности профессора Александра Александровича Петровского, который на протяжении 15 лет (2004–2019) являлся членом редакционной коллегии журнала «Информатика». Показаны основные научные результаты, его вклад в области разработки теории и аппаратно-программных средств проблемно-ориентированных систем реального времени и обработки звуковой, речевой, графической информации, приведен перечень наиболее значимых трудов ученого.

Ключевые слова: электронно-вычислительные средства, цифровая обработка сигналов, дискретное косинусное преобразование, алгебра кватернионов

Для цитирования. Вашкевич, М. И. Научная школа профессора А. А. Петровского / М. И. Вашкевич, И. С. Азаров, В. А. Вишняков // Информатика. – 2019. – Т. 16, № 2. – С. 119–124.

Scientific school of professor A. A. Petrovsky

Maxim I. Vashkevich, Elias S. Azarov[✉], Uladzimir A. Vishniakou

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus
E-mail: azarov@bsuir.by*

Abstract. Two periods of scientific activity of Professor Alexander Alexandrovich Petrovsky, who was a member of the editorial board of the journal "Informatics" for 15 years (2004–2019), are presented. The main scientific results, his contribution to the development of the theory and to the hardware and software of the problem-oriented real-time systems and the processing of audio, speech and graphic information are shown, a list of the most significant works of the scientist is given.

Keywords: electronic computing tools, digital signal processing, discrete cosine transform, quaternion algebra

For citation. Vashkevich M. I., Azarov E. S., Vishniakou U. A. Scientific school of professor A. A. Petrovsky. *Informatics*, 2019, vol. 16, no. 2, pp. 119–124 (in Russian).

Научное наследие А. А. Петровского впечатляет своей широтой. Профессора всегда интересовали новые научные направления, которые он обогащал своими идеями и многочисленными результатами. Выбирая ученикам темы научных исследований, он всегда предоставлял возможность им самим решать поставленные задачи и поощрял личную инициативу, при этом умел воодушевить, поддержать, подсказать и поделиться своим богатым опытом. Благодаря этому Александр Александрович сформировал вокруг себя молодой и инициативный коллектив, что и позволило общими усилиями внести существенный вклад в развитие многих направлений цифровой обработки сигналов. Деятельность ученого охватывает два периода: 1975–1995 гг. (теория и средства микропроцессорных проблемно-ориентированных систем реального времени) и 1995–2019 гг. (теория и микропроцессорные средства обработки речи и изображений).

Первый период научной деятельности (1975–1995 гг.). А. А. Петровский начинает работу в 1975 г. младшим научным сотрудником, затем ассистентом кафедры ЭВМ в тогда еще Минском радиотехническом институте. В 1977 г. поступает учиться в дневную аспирантуру, работает над аппаратно-программной поддержкой стендовых испытаний и в срок представляет и защищает кандидатскую диссертацию «Разработка и исследование вычислительных устройств управления стендовыми испытаниями на пространственно-многомерную случайную вибрацию». Цифровая система управления стендовыми испытаниями на пространственно-временные случайные вибрации, созданная при его участии, в 1981 г. получила серебряную медаль ВДНХ СССР.

В 1981 г. Александр Александрович переводится на должность доцента кафедры (получает это научное звание в 1983 г.), подготавливает и читает курс лекций по ЭВМ. Заочно оканчивает двухгодичные курсы английского языка при Институте иностранных языков и проходит конкурс на годичную научную стажировку в Лондонском университете. С 1985 г. – научный руководитель группы, а затем лаборатории микропроцессорных систем реального времени, которая выполняла хозяйственные работы оборонного характера. Многоканальный анализатор спектра, созданный его группой, в 1986 г. получил золотую медаль ВДНХ СССР. По результатам этих работ А. А. Петровский опубликовал монографию и учебное пособие [1, 2], а в 1989 г. в Киеве защитил докторскую диссертацию «Теория и практика построения алгоритмических и аппаратно-программных средств микропроцессорных распределенных проблемно-ориентированных систем реального времени», связанную с оборонной тематикой.

В 1990 г. в жизни ученого происходит много событий. С грифом Министерства образования БССР в соавторстве с ним выходит второе учебное пособие [3], посвященное микроЭВМ. Под руководством А. А. Петровского защищают кандидатские диссертации в области разработки компонентов специализированных микроЭВМ первые ученики: Ю. Ганнушкин, А. Цирульников и М. Качинский. Выдающимся результатом его коллектива является разработка комплекса учебных персональных ЭВМ «Немига» (с лучшими показателями и параметрами того времени), которые успешно использовались в школах и вузах республики [4]. В 1990 г. был получен аттестат профессора СССР. В этом же году профессор А. А. Петровский в возрасте 37 лет назначен на должность заведующего кафедрой конструирования и производства электронно-вычислительной аппаратуры, для которой он разработал новый учебный план по специальности «электронно-вычислительные средства» (ЭВС) и которой бессменно руководил до ноября 2017 г.

Новый план подготовки специалистов был направлен на проектирование проблемно-ориентированных вычислительных средств различного назначения с использованием САПР и постоянно изменяющейся элементной базой, по основным дисциплинам выходит учебное пособие [5]. На кафедре создаются новые учебные лаборатории: по микропроцессорным устройствам, цифровой обработке сигналов, САПР ЭВС с изучением процессоров Texas Instrument, Motorola и ПО поддержки логического проектирования SNAP. В рамках специальности начинается подготовка по трем новым специализациям: «Проектирование проблемно-ориентированных ЭВМ», «Проектирование и технология персональных компьютеров и периферийных устройств», «ЭВС для мультимедийных устройств». Профессор читает курсы «Введение в специальность», «Теория и применение цифровой обработки сигналов», «Проектирование электронных вычислительных средств с динамически реконфигурируемой архитек-

турой» и «Алгоритмические основы компьютерной графики». Ученики Александра Александровича В. Ключ, В. Сидоренко и А. Давыдов защищают кандидатские диссертации в области проектирования аппаратного и программного обеспечения специализированных микроЭВМ.

В 1994 г. А. А. Петровский работал в Ахенском университете на кафедре профессора П. Вари, где занимался обработкой речи, и после его возвращения в научной лаборатории микропроцессорных систем реального времени стали заниматься обработкой звуковой и речевой информации.

Второй период научной деятельности (1995–2019 гг.).

Банки цифровых фильтров. А. А. Петровский активно развивал современную теорию банков фильтров и специализированных методов частотной декомпозиции дискретных сигналов для различных практических задач, а также метод Фурье-анализа сигнала с неравномерным частотным разрешением [6]. Большой вклад ученый внес в теорию построения эффективных аппроксимаций дискретного косинусного преобразования (ДКП) [7]. Совместно с М. Перфенюком и М. Вашкевичем Александр Александрович разработал теорию проектирования неравнополосных косинусно-модулированных банков фильтров [8, 9]. На протяжении почти двух десятков лет им также развивалась теория параунитарных банков фильтров на основе алгебры кватернионов [10–12] и с ее помощью решались практические задачи.

Методы обработка речи и звука. Речевая коммуникация является одной из важнейших отличительных способностей человека. Поэтому профессора привлекала область обработки речевых сигналов, которой посвящено более сотни работ (например, [13]).

Кодирование речи и звука. Научная школа А. А. Петровского внесла существенный вклад в развитие методов кодирования речевых и звуковых сигналов. В этом направлении выполнены следующие кандидатские работы его учеников: «Кодирования речевого сигнала на основе антропоморфической обработки и синусоидальных моделей» Д. С. Лихачева [14] и «Перцептуальный широкополосный CELP-кодер речи» М. З. Лившица [15]. Отдельно следует отметить кандидатскую и докторскую диссертации старшего сына профессора Алексея Александровича Петровского, посвященные методам и средствам перцептуального субполосного кодирования аудиоданных [16].

Шумоподавление. Много работ в научной школе профессора А. А. Петровского выполнено в области шумоочистки речевых сигналов. Совместно с М. Парфенюком и А. Боровичем Александр Александрович описал систему перцептуального шумоподавления на основе Фурье-анализа с неравномерным частотным разрешением [6]. Вместе с Я. Башуном разработал метод фильтрации речевого сигнала в модуляционной области, который затем был развит и в работах с И. С. Азаровым [17]. Особо в этом направлении стоит упомянуть метод обработки сигнала в подпространствах, разработанный с А. Боровичем [18].

Конверсия голоса, частота основного тона. В рамках кандидатских исследований своего вьетнамского ученика Тхая Киена профессор обращается к научной проблематике конверсии голоса [19]. Данное направление впоследствии было развито в работах двух других его учеников И. С. Азарова [20] и В. А. Захарьева [21]. Одной из фундаментальных задач в области обработки речевых сигналов является определение частоты основного тона. На протяжении двух десятков лет А. А. Петровский со своими учениками делает ряд удачных исследований в направлении развития подходов к решению этой сложной задачи. Различные варианты методов оценивания основного тона были получены и представлены на конференциях мирового уровня совместно с В. Серковым [22], П. Зубрицким [23], А. Павловцом [24] и И. Азаровым [25].

Обработка сигнала для слуховых аппаратов и кохлеарных имплантов. Александр Александрович стремился служить науке и обществу. В рамках своей деятельности он развивал методы и средства цифровой обработки сигналов для протезирования слуха. Под его руководством польский аспирант Я. Башун защитил кандидатскую диссертацию, связанную с разработкой кохлеарных имплантов [26]. Через 10 лет другой его ученик М. И. Вашкевич защитил диссертацию, посвященную совершенствованию обработки сигналов в слуховых аппаратах [27]. Впоследствии А. А. Петровский вместе с И. С. Азаровым и М. И. Вашкевичем разработал мобильное приложение, позволяющее смартфону выполнять функции слухового аппарата [28].

Методы обработки изображений. В последние пять лет в научной школе профессора А. А. Петровского появился новый вектор развития, связанный с методами сжатия изоб-

ражений без потерь. В этом направлении написаны кандидатская диссертация младшего сына профессора Николая Александровича Петровского «Обработка изображений при помощи параунитарных банков фильтров на кватернионах» и диссертационная работа В. В. Ключени «Обработка изображений на основе ДКП» [29].

Аппаратная реализация методов цифровой обработки сигнала. Особенностью работ, выполняемых под руководством профессора, всегда была их направленность на практическую аппаратную реализацию. Для большинства предложенных методов обработки сигналов разработаны специализированные процессоры, представлены способы их эффективной аппаратной и программной реализации. Во многих его трудах описаны реализация дискретного косинусного преобразования, параунитарные банки фильтров в алгебре кватернионов, аппаратные платформы кодеров речи и звука [30]. Несколько последних работ, написанных совместно с врачом Ю. Н. Рушкевич и докторантом М. И. Вашкевичем РНПЦ Неврологии и нейрохирургии, были посвящены проблеме детектирования признаков бокового амиотрофического склероза по голосу [31, 32].

Александр Александрович за свою научно-педагогическую жизнь создал всемирно известную научную школу по цифровой обработке сигналов и мультимедиа, включающую кафедру электронно-вычислительных средств, 30 кандидатов и двух докторов наук, большое количество широко используемых в республике и мире аппаратных и программных разработок, а также опубликовал более 600 научных трудов.

14 марта 2019 г. Александр Александрович ушел из жизни. Деятельность выдающегося ученого – достойный пример служения науке и обществу.

Список использованных источников

1. Петровский, А. А. Методы и микропроцессорные средства обработки широкополосных и быстро меняющихся процессов в реальном времени / А. А. Петровский. – Минск : Наука и техника, 1988. – 271 с.
2. Применение управляющих вычислительных машин / А. А. Петровский [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 1989. – 238 с.
3. Вишняков, В. А. Системное обеспечение микроЭВМ / В. А. Вишняков, А. А. Петровский. – Минск : Вышэйшая школа, 1990. – 304 с.
4. Бытовые и персональные ЭВМ. Энциклопедический справочник / А. А. Петровский [и др.]. – Минск : Белорусская энциклопедия, 1995. – С. 741–821.
5. Петровский, А. А. Проектирование проблемно-ориентированных ЭВС на цифровых процессорах сигналов : метод. пособие / А. А. Петровский, М. В. Качинский, В. Б. Ключ. – Минск : БГУИР, 1996. – 76 с.
6. Borowicz, A. An application of the warped discrete Fourier transform in the perceptual speech enhancement / A. Borowicz, M. Parfieniuk, A. Petrovsky // *Speech Communication*. – 2006. – Vol. 48. – P. 1024–1036.
7. Parfieniuk, M. Near-perfect reconstruction oversampled nonuniform cosine-modulated filter banks based on frequency warping and subband merging / M. Parfieniuk, A. Petrovsky // *Intern. J. of Electronics and Telecommunications*. – 2012. – Vol. 58, no. 2. – P. 177–192.
8. Вашкевич, М. И. Косинусно-модулированные банки фильтров с фазовым преобразованием: реализация и применение в слуховых аппаратах / М. И. Вашкевич, И. С. Азаров, А. А. Петровский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 210 с.
9. Parfieniuk, M. Quaternionic lattice structures for four-channel paraunitary filter banks / M. Parfieniuk, A. Petrovsky // *EURASIP J. on Advances in Signal Processing*. – 2007. – 12 p.
10. Parfieniuk, M. Inherently lossless structures for eight- and six-channel linear-phase paraunitary filter banks based on quaternion multipliers / M. Parfieniuk, A. Petrovsky // *Signal Processing*. – 2010. – Vol. 90, no. 6. – P. 1755–1767.
11. Petrovsky, N. A. Embedded distributed arithmetic based quaternions multiplier of paraunitary filter bank for lossless-to-lossy image coding / N. A. Petrovsky, E. V. Rybenkov, A. A. Petrovsky // *Microprocessors and Microsystems*. – 2017. – Vol. 52. – P. 510–522.

12. Parfieniuk, M. Structurally orthogonal finite precision implementation of the eight point DCT / M. Parfieniuk, A. Petrovsky // IEEE Intern. Conf. on Acoustics Speech and Signal Processing Proceedings. – Toulouse, 2006. – P. 161–164.
13. Анализаторы речевых и звуковых сигналов: методы, алгоритмы и практика (с MATLAB примерами) : монография / А. А. Петровский [и др.] ; под ред. А. А. Петровского. – Минск : БГУИР, 2009. – 460 с.
14. Лихачев, Д. С. Анализ и синтез устройств кодирования речевого сигнала на основе антропоморфической обработки и синусоидальных моделей / Д. С. Лихачев, А. А. Петровский // Доклады БГУИР. – 2006. – № 3(51). – С. 35–43.
15. Лившиц, М. З. Широкополосный CELP-кодер с мультиполосным возбуждением и многоуровневым векторным квантованием по кодовой книге с реконфигурируемой структурой / М. З. Лившиц, М. Парфенюк, А. А. Петровский // Цифровая обработка сигналов. – 2005. – № 2. – С. 20–35.
16. Petrovsky, Al. Hybrid signal decomposition based on instantaneous harmonic parameters and perceptually motivated wavelet packets for scalable audio coding / Al. Petrovsky, E. Azarov, A. Petrovsky // Signal Processing. Special issue "Fourier Related Transforms for Non-Stationary Signals". – 2011. – Vol. 91, iss. 6. – P. 1489–1504.
17. Азаров, И. С. Алгоритм очистки речевого сигнала от сложных помех путем фильтрации в модуляционной области / И. С. Азаров, М. И. Вашкевич, А. А. Петровский // Цифровая обработка сигналов. – 2013. – № 4. – С. 25–31.
18. Borowich, A. Signal subspace approach for psychoacoustically motivated speech enhancement / A. Borowich, A. Petrovsky // Speech Communication. Elsevier. – 2011. – Vol. 53. – P. 210–219.
19. Тхай, Ч. Киен. Реализация и выбор параметров при использовании алгоритма выравнивания временных масштабов для систем конверсии голоса / Ч. Киен Тхай // Доклады БГУИР. – 2008. – № 3(33). – С. 96–102.
20. Real-time voice conversion using artificial neural networks with rectified linear units / E. Azarov [et al.] // Proc. INTERSPEECH. – Lyon, France, 2013. – P. 1032–1036.
21. Захарьев, В. А. Система синтеза речи по тексту с возможностью настройки на голос целевого диктора / В. А. Захарьев, А. А. Петровский, Б. М. Лобанов // Тр. СПИИРАН. – 2014. – № 32. – С. 82–98.
22. Sercov, V. V. The method of pitch frequency detection on the base of tuning to its harmonics / V. V. Sercov, A. A. Petrovsky // 9th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO 1998). – Island of Rhodes, 1998. – P. 1–4.
23. Zubrycki, P. Analysis/synthesis speech model based on the pitch-tracking periodic-aperiodic decomposition / P. Zubrycki, A. A. Petrovsky // Information Processing and Security Systems. – 2005. – P. 33–42.
24. Pavlovets, A. Robust HNR-based closed-loop pitch and harmonic parameters estimation / A. Pavlovets, A. A. Petrovsky // INTERSPEECH. – Florence, 2011. – P. 1981–1984.
25. Azarov, E. Instantaneous pitch estimation based on RAPT framework / E. Azarov, M. Vashkevich, A. Petrovsky // 20th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO 2012). – Bucharest, Romania, 2012. – P. 2787–2791.
26. Baszun, Ja. Flexible cochlear system based on digital model of cochlea: structure, algorithms and testing / Ja. Baszun, A. A. Petrovsky // 10th European Signal Processing Conf. (EUSIPCO 2000). – Tampere, 2000. – P. 1–4.
27. Вашкевич, М. И. Косинусно-модулированные банки фильтров с фазовым преобразованием: реализация и применение в слуховых аппаратах / М. И. Вашкевич, И. С. Азаров, А. А. Петровский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 212 с.
28. Система коррекции слуха на мобильной вычислительной платформе / И. С. Азаров [и др.] // Информатика. – 2014. – № 2(42). – С. 5–24.
29. Ключеня, В. В. Быстрое прототипирование встраиваемых программируемых систем на ПЛИС для мультимедийных приложений / В. В. Ключеня, А. А. Петровский // Информатика. – 2015. – № 3(47). – С. 13–28.
30. Петровский, Ал. А. Быстрое проектирование систем мультимедиа от прототипа / Ал. А. Петровский, А. В. Станкевич, А. А. Петровский. – Минск : Бестпринт, 2011 – 410 с.

31. Features extraction for the automatic detection of ALS disease from acoustic speech signals / M. Vashkevich [et al.] // 2018 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA). – Poznan, 2018. – P. 321–326.

32. Акустический анализ голоса для выявления речевых нарушений при боковом амиотрофическом склерозе / М. И. Вашкевич [и др.] // Доклады БГУИР. – 2018. – № 7(117). – С. 64–68.

Информация об авторах

Вашкевич Максим Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ЭВС, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь.
E-mail: vashkevich@bsuir.by

Азаров Илья Сергеевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой ЭВС, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь.
E-mail: azarov@bsuir.by

Вишняков Владимир Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь.
E-mail: vush2002@list.ru

Information about the authors

Maxim I. Vashkevich, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof. of the Department of EMU, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.
E-mail: vashkevich@bsuir.by

Elias S. Azarov, Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department of EMU, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.
E-mail: azarov@bsuir.by

Uladzimir A. Vishniakou, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Professor of the Department of Information and Communication Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.
E-mail: vush2002@list.ru