

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ, АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ И КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*Обобщены результаты исследований авторов по заявленной теме. Актуальность предпринятого исследования определяется тем, что прогресс в данном направлении может быть обусловлен обогащением имеющегося в наличии мониторингового арсенала новейшим аппаратным оснащением, в том числе, для контроля концентрации металлов в водной среде и почве. Целью настоящей работы является анализ возможных путей создания универсальной мультисенсорной системы, способной реализовать комплексный экологический мониторинг, которая может быть как автономной, так и входить в аппаратно-программные комплексы и киберфизические системы. Научная новизна состоит в постановке и попытке решения проблемы поиска универсального метода обучения нейронных сетей. Практическое значение заключается в повышении эффективности и точности измерений уровня загрязненности атмосферного воздуха и водных объектов.*

*Мультисенсорная система; аппаратно-программный комплекс; киберфизическая система; экологический мониторинг; тяжёлые металлы; ионоселективные электроды; искусственные нейронные сети; сети Кохонена; радиальные базисные сети.*

Spiridonov Oleg Borisovich, Milesenko Leonid Petrovich,  
Lobov Pavel Nikolaevich

## **METHODOLOGY OF DESIGNING MULTISENSORY SYSTEMS, HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEXES AND CYBERPHYSICAL SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING**

*The results of the authors' research on the stated topic are summarized. The relevance of the undertaken research is determined by the fact that progress in this direction may be due to the enrichment of the available monitoring arsenal with the latest hardware, including for monitoring the concentration of metals in the aquatic environment and soil. The purpose of this work is to analyze possible ways to create a universal multisensory system capable of implementing integrated environmental monitoring, which can be both autonomous and included in hardware and software complexes and cyberphysical systems. The scientific novelty consists in the formulation and attempt to solve the problem of finding a universal method of training neural networks. The practical importance lies in improving the efficiency and accuracy of measurements of the level of pollution of atmospheric air and water bodies.*

*Multisensory system; hardware and software complex; cyberphysical system; environmental monitoring; heavy metals; ion-selective electrodes; artificial neural networks; Kohonen networks; radial basis networks.*

### **Введение**

Фундаментальные основы одного из перспективных научных направлений по распределенным системам сбора и обработки информации датчиков заложены профессором О. Н. Пьявченко в работах [1-3] и других за период с 2010 по 2013 годы. В частности, в статье «Распределенные потоковые микрокомпьютерные системы сбора и обработки данных с датчиков динамических объектов» [1] «исследуются вопросы создания высокопроизводительных потоковых локальных информационных микрокомпьютерных систем, предназначенных для мониторинга (определения траектории, состояния, управления и контроля) в реальном времени сложных динамических объектов. Сбор и обработка значений сигналов датчиков основаны на потоковой четырехуровневой обработке интервалов дискретизации решения. При этом сигналы оцифровываются параллельно группами сигналов, каждый из которых последовательно формируется в цикле. Для построения таких систем используются информационные микроконтроллерные модули, позволяющие создавать разнообразные схемы обработки сиг-

налов потокоориентированных датчиков. Рассмотрены и оценены последовательные и последовательно-параллельные схемы с групповой обработкой данных датчиков и схемы параллельного решения триад задач. Показана перспективность последовательно-параллельных схем с групповой обработкой сигналов датчиков при использовании этих схем на входах четвертого уровня в многоканальных устройствах связи для сбора пакетов данных».

Принципы его общей теории могут быть эффективно использованы при разработке новых мультисенсорных систем (МС), аппаратно-программных комплексов (АПК), являющихся разновидностями киберфизических систем (КФС), различного назначения, в том числе для экологического мониторинга [4].

Ключевое значение любых систем обеспечения экологической безопасности [5, с. 326] принадлежит экологическому мониторингу.

Прогресс в данном направлении может быть обусловлен обогащению имеющегося в наличии мониторингового арсенала новейшим аппаратным оснащением, в том числе, для контроля концентрации металлов в водной среде и почве.

В отечественных публикациях по аналитическому приборостроению недостаточно отмечены особенности проектирования интеллектуальных мониторинговых систем. Это сдерживает дальнейшее развитие сенсорики - научного направления, рассматривающего конструирование, изготовление и применение датчиков [6].

Заметим также, что МС могут быть как автономными, так и входить в состав АПК и КФС.

Целью настоящей работы является развитие теории и методологии проектирования интеллектуальных мониторинговых систем.

### **Основная часть**

Отличительными признаками оригинальной разработки являются применение радиоканала, использование нейронных сетей, предназначенной для дистанционного экологического мониторинга водных объектов и дистанционного контроля качества воды [7].

Блок обработки данных МС, состоящий из двух модулей, разработан в соавторстве с Алхасовым С.С. и Целых А.А. [8]. В первом модуле при помощи сети Кохонена разделяются вектор-столбцы разностей потенциалов на кластеры. Во втором модуле посредством радиальных базисных сетей выполняется количественная идентификация. Обучающий массив концен-

траций образуется с помощью генератора псевдослучайных чисел. Были созданы дополнительные скрипт-программы для анализа точности вычислений.

Основными функциональными элементами блока сбора и дистанционной передачи данных являются аналоговый мультимплексор ADG732, цифровой мультиметр Agilent 34410A и набор ПО для ПЭВМ, радиопередатчики и радиоприемники.

Таким образом, представленные методологические подходы будут способствовать созданию мониторинговых систем нового поколения, отличающиеся от ныне существующих большей оперативностью и точностью оценки содержания металлов в водных средах и вытяжках из почв.

Актуальность исследования подтверждается тем обстоятельством, что впервые в области экологического мониторинга применяются современные методы машинного обучения [9].

Поставлена проблема [10] создания универсальной методики выбора генетического алгоритма для обучения нейронных сетей, используемых в интеллектуальных системах автоматизированного проектирования, мультисенсорных систем, аппаратно-программных комплексах и киберфизических систем различного назначения.

### **Выводы**

Принципы проектирования, употребленные при модернизации МС первого поколения:

1. Впервые для этого класса МС предлагается использовать радиоканал, что позволит обеспечить возможность проведения оперативного дистанционного мониторинга водных объектов.

Информация патентоспособная и находится в резерве для реализации.

Предусмотрено импортозамещение комплектующих изделий.

2. Планируется внедрение нейронных сетей для повышения точности, достоверности и надежности результатов измерений. С этой целью поставлена проблема создания универсальной методики выбора генетического алгоритма для обучения нейронных сетей. Применение биоинспирированных алгоритмов, заимствованных у природы, повысит эффективность функционирования МС, так как согласно третьему закону экологии Барри Коммонера природа «знает» лучше.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ryavchenko O. N.* Distributed Streaming Microcomputer Systems for Collecting and Processing Data from Dynamic Objects Sensors // World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 29. № 8. С. 1004-1009.

2. *Пьявченко О.Н.* Высокопроизводительные распределенные потоковые системы сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 11 (160). С. 189-197.

3. *Пьявченко О.Н.* Параллельно-последовательные схемы распределенных систем сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 4 (153). С. 8-14.

4. *Спиридонов О.Б., Курейчик В.М., Милешко Л.П., Легкопудов Н.С., Штучный А.М.* Перспективы применения методов искусственного интеллекта для синтеза аппаратно-программных комплексов (аналитический обзор) // В сборнике: Перспективные системы и задачи управления. Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции и XIII молодежной школы-семинара. Таганрог, 2022. С. 143-153.

5. *Хотунцев Ю.Л.* Экология и экологическая безопасность. - М.: Издательский центр "Академия", 2002. – 480 с.

6. *Милешко Л. П.* Мультисенсорные системы : учебное пособие / Л. П. Милешко, О. Б. Спиридонов, И. И. Черепяхин, И. П.Щербинин, Е. А. Шестова, С. С. Алхасов, А. С. Камышева ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. — 273 с. — 3-е изд., перераб. и доп.

7. *Спиридонов О.Б., Милешко Л.П., Лобов П.Н.* Методологические подходы к созданию аппаратно-программных комплексов с применением радиоканалов и нейронных сетей для экологического мониторинга // В сборнике: Достижения науки и технологий-Инит-2021. сборник научных статей по материалам Всероссийской научной конференции. Красноярск, 2021. С. 88-92.

8. *Алхасов С.С., Милешко Л.П., Целых А.А.* Определение концентраций ионов тяжелых металлов посредством блока обработки данных мультисенсорной системы для мониторинга водных сред // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 4 (141). С. 161-168.

9. *Милешко Л.П., Алхасов С.С., Афанасьева П.В., Белый С.Б., Камышева А.С., Королёва А.И., Легкопудов Н.С., Милашич В.А.* Перспективы создания мультисенсорных систем для экологического мониторинга водных и почвенных сред // Экологические системы и приборы. 2020. N 3. С. 35-43.

10. *Курейчик В.М., Милешко Л.П., Спиридонов О.Б., Штучный А.М.* Проблема поиска перспективных алгоритмов обучения нейронных сетей // В сборнике: *Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте. Сборник материалов V Международной научно-практической конференции.* Редколлегия: Д.М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. Кемерово, 2021. С. 100-102.

**Спиридонов Олег Борисович**, кандидат технических наук, доцент, директор Научного конструкторского бюро моделирующих и управляющих систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская, 81, 347928, телефон: 8-905-456-42-35, email: oleg.spiridonov@mail.ru

**Милешко Леонид Петрович**, доктор технических наук, доцент, академик Российской академии естествознания, инженер Научного конструкторского бюро моделирующих и управляющих систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская, 81, 347928, телефон: 8-951-530-78-78, email: mileshko-leon@yandex.ru

**Лобов Павел Николаевич**, аспирант Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон +7(900)2348245, email: lobov.pavel@inbox.ru

**Spiridonov Oleg Borisovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Southern Federal University Scientific and Design Bureau of Modelling and Controlling Systems, Russia, Taganrog, Petrovskaya Street, 81, 347928, telephone: 8-905-456-42-35, email: oleg.spiridonov@mail.ru

**Mileshko Leonid Petrovich**, doctor technical sciences, associate professor, academician of the Russian Academy of Natural Sciences, engineer of the of the Southern Federal University Scientific and Design Bureau of Modelling and Controlling Systems, Russia, Taganrog, Petrovskaya street, 81, 347928, phone: 8-951-530-78-78, email: mileshko-leon@yandex.ru

**Lobov Pavel Nikolaevich**, graduate student of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, lane. Nekrasovsky, 44, 347922, phone +7(900)2348245, email: lobov.pavel@inbox.ru