

*С.С. Алхасов, А.И. Волков, Н.А. Золотухина,  
А.С. Камышева, Л.П. Милешко*

(Южный федеральный университет; e-mail: mileskho.leon@yandex.ru)

## **МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ИОНОВ КАЛЬЦИЯ, МЕДИ, СВИНЦА И КАДМИЯ В ВОДНЫХ И ПОЧВЕННЫХ СРЕДАХ**

*Охарактеризованы особенности мультисенсорной системы, предназначенной для определения содержания тяжёлых металлов в водных и почвенных средах.*

*Ключевые слова: экологический мониторинг, экологическая безопасность, мультисенсорная система, ионоселективные электроды, тяжёлые металлы.*

*S.S. Alkhasov, A.I. Volkov, N.A. Zolotukhina,  
A.S. Kamysheva, L.P. Mileskho*

## **MULTI-SENSOR SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF IONS OF CALCIUM, COPPER, LEAD AND CADMIUM IN AQUEOUS AND SOIL MEDIA**

*We describe features of a multi-sensor system designed to determine existence of heavy metals in aqueous and soil media.*

*Key words: environmental monitoring, environmental safety, multi-sensor system, ion-selective electrodes, heavy metals.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 12 апреля 2017 г.

Создание систем *экологического мониторинга (ЭМ)* на глобальном, национальном, региональном и местном уровнях является важной задачей современной науки и техники [1].

ЭМ является неотъемлемой частью систем обеспечения экологической безопасности [2].

В настоящее время все более существенной становится проблема очищения водных и почвенных сред от опасных для окружающей среды веществ. Одним из классов наиболее опасных загрязнителей являются тяжёлые металлы. Они могут поступать в водоёмы вместе со сточными водами, ливневым стоком и иными путями. Следовательно, возникает задача контроля содержания данных загрязнителей в сточных водах и воде водоёмов различного назначения. Использование отдельных селективных сенсоров для количественного определения каждого загрязнителя представляется недостаточно эффективным методом осуществления мониторинга. Главная причина этого заключается в чувствительности селективного сенсора к нецелевым (мешающим) компонентам анализируемой среды. Поскольку водные среды могут иметь сложный многокомпонентный состав, то это вызывает существенные ограничения в точности измерений традиционными методами.

Таким образом, возникает необходимость в разработке *мультисенсорных систем (МСС)* – устройств количественного химического экспресс-анализа, в которых вышеуказанный недостаток отдельных сенсоров может быть использован как преимущество. Количественное определение химического состава среды в случае применения мультисенсорной системы является задачей регрессии. Система предварительно обучается на определённом наборе образцов – наборе интегральных откликов сенсоров ко всем анализируемым компонентам среды.

В современной литературе по аналитическому приборостроению пока недостаточно отражены особенности проектирования интеллектуальных мультисенсорных систем для мониторинга содержания ионов тяжёлых металлов в многокомпонентных водных средах. Это препятствует дальнейшему развитию сенсорики – научного направления, которое рассматривает технику конструирования, изготовления и применения датчиков.

В настоящей работе прототипом МСС послужил электронный язык – системы химических сенсоров для анализа водных сред [3].

Легин А.В., Рудницкая А.М., Власов Ю.Г. и др. доказали возможность проводить потенциометрические измерения, не используя электрод сравнения. В этом случае измеряется разность потенциалов между всеми парами ИСЭ в массиве сенсоров. Некоторые из полученных таким образом значений разностей потенциалов будут избыточными и отбрасываются в процессе обработки данных. Было показано, что аналитические характеристики МСС не зависят от использования электрода сравнения при измерениях [4].

Поэтому в состав настоящей МСС входят четыре пары ИСЭ (табл. 1).

Таблица 1

**Технические характеристики ионоселективных электродов [5]**

Название	Рабочий диапазон рХ	Рабочий диапазон рН	Допустимая температура среды, °С	Основные мешающие ионы
Элит-041 (Ca <sup>2+</sup> )	6,0-1,0	3,5-9,0	5 ... -45	Ba <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>
Элит-227 (Cu <sup>2+</sup> )	6,0-1,0	3,0-7,0	5 ... -50	Fe <sup>3+</sup> , Ag <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup>
Элит-231 (Pb <sup>2+</sup> )	6,0-1,0	3,0-7,0	5 ... -50	Cu <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Ag <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup>
Элит-241 (Cd <sup>2+</sup> )	6,0-1,0	3,0-7,0	5 ... -50	Cu <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> , Ag <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup>

Отдельный интерес представляет блок сбора данных – аппаратно-программный компонент МСС. Основными его функциональными элементами в проектируемой МСС являются аналоговый мультиплексор ADG732, цифровой мультиметр Agilent 34410A и набор специального ПО для ЭВМ.

ADG732 – монолитный КМОП аналоговый одиночный 32-канальный мультиплексор. ADG732 коммутирует один из тридцати двух входов (S1...S32) к общему выводу D в соответствии с кодом на пятибитном адресном порту A0, A1, A2, A3 и A4 (рис. 1-2).

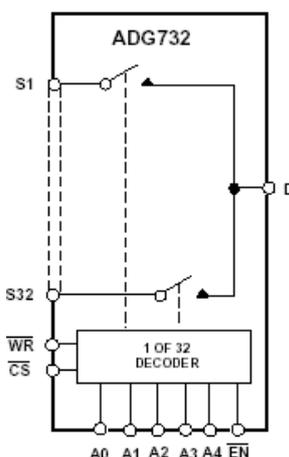


Рис. 1. Функциональная схема аналогового мультиплексора ADG732 [6]

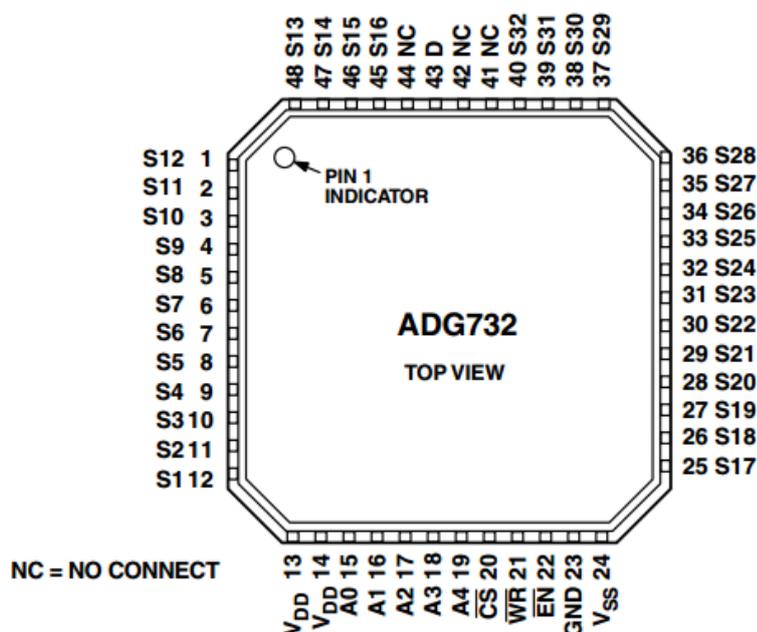


Рис. 2. Конфигурация выводов аналогового мультиплексора ADG732 [6]

Счетчик адреса имеет микропроцессорный интерфейс. Прибор ADG732 также может быть сконфигурирован для дифференциального функционирования при соединении выводов CSA и CSB между собой. При запрещении функционирования все ключи разомкнуты [6].

Мультиплексор подключает попеременно каждый сенсор к цифровому мультиметру Agilent 34410A. Мультиметр содержит встроенный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). С ЭВМ цифровой мультиметр сопрягается через порт USB. Модель Agilent 34410A также поддерживает соединение через LAN и GPIB [7]. Если требуется подключение через последовательный порт RS-232 (COM-порт, serial port), то в качестве мультиметра можно использовать Agilent 34401A.

Программная часть блока сбора данных включает драйвер Agilent и пакет прикладных программ MATLAB, приложение Instrument Control Toolbox. Пример сопряжения мультиметров Agilent и среды MATLAB подробно рассмотрен в видеоматериале [8].

В качестве альтернативы приборам Agilent может быть использован отечественный аналог – цифровой мультиметр В7-78/1. К ЭВМ он может быть подключён через USB-порт. Принцип работы В7-78/1 в основном аналогичен работе с Agilent 34401A/34410A/34411A.

### Литература

1. Алхасов С.С., Милешко Л.П., Шестова Е.А. Основы построения мультисенсорных систем для экологического мониторинга водных сред: учебное пособие. Ростов н/Д.: изд-во ЮФУ, 2014. 99 с.
2. Милешко Л.П. Общая теория обеспечения экологической безопасности: монография. Таганрог: изд-во ЮФУ, 2016. 176 с.
3. Власов Ю.Г., Лegin А.В., Рудницкая А.М. Электронный язык системы химических сенсоров для анализа водных сред // Российский химический журнал. 2008. Т. LII. № 2. С. 101-112.
4. Власов Ю.Г., Лegin А.В., Рудницкая А.М. Мультисенсорные системы типа электронный язык новые возможности создания и применения химических сенсоров // Успехи химии. 2006. Т. 75. № 2. С. 141-150.
5. Электроды серии ЭЛИТ. [http://ionomer.ru/component/option,com\\_mtree/task,listcats/cat\\_id,296/Itemid,13/lang,russian/](http://ionomer.ru/component/option,com_mtree/task,listcats/cat_id,296/Itemid,13/lang,russian/)
6. 16-/32-Channel, 4  $\Omega$ , +1.8 V to +5.5 V and  $\pm 2.5$  V. Analog Multiplexers. Data Sheet ADG726/ADG732 // Analog devices. [http://www.analog.com/static/imported-files/Data\\_Sheets/ADG726\\_732.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/Data_Sheets/ADG726_732.pdf).
7. Agilent 34410A and 34411A Multimeters Setting the Standard for Next Generation Benchtop and System Testing. Data Sheet // Agilent technologies. <http://www.tme.eu/en/Document/792be1b9e10d1cda2f75857b35395760/34410A-DTE.pdf>.
8. Using MATLAB to Configure a Digital Multimeter Transfer Data and Plot the Results. <https://www.youtube.com/watch?v=xavHfO7r1rs>.

### References

1. Alhasov S.S., Mileshko L.P., Shestova E.A. Osnovy postroeniya mul'tisensornyh sistem dlja jekologicheskogo monitoringa vodnyh sred: uchebnoe posobie (Fundamentals of multi-sensor systems for environmental monitoring of aquatic environments: a training manual). Rostov n/D.: izd-vo JuFU, 2014. 99 p.
2. Mileshko L.P. Obshhaja teorija obespechenija jekologicheskoy bezopasnosti: monografija (General theory of environmental security: monograph). Taganrog: izd-vo JuFU, 2016. 176 p.
3. Vlasov Ju.G., Legin A.V., Rudnickaja A.M. Jelektronnyj jazyk sistemy himicheskikh sensorov dlja analiza vodnyh sred (Electronic language system of chemical sensors for analysis of aquatic environments) // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2008. T. LII. No 2. Pp. 101-112.
4. Vlasov Ju.G., Legin A.V., Rudnickaja A.M. Mul'tisensornye sistemy tipa jelektronnyj jazyk novye vozmozhnosti sozdaniya i primenenija himicheskikh sensorov (Multisensor systems of the electronic type language of new possibilities of creation and application of chemical sensors) // Uspehi himii. 2006. T. 75. No 2. Pp. 141-150.
5. Jelektrody serii JeLIT. [http://ionomer.ru/component/option,com\\_mtree/task,listcats/cat\\_id,296/Itemid,13/lang,russian/](http://ionomer.ru/component/option,com_mtree/task,listcats/cat_id,296/Itemid,13/lang,russian/)
6. 16-/32-Channel, 4  $\Omega$ , +1.8 V to +5.5 V and  $\pm 2.5$  V. Analog Multiplexers. Data Sheet ADG726/ADG732 // Analog devices. [http://www.analog.com/static/imported-files/Data\\_Sheets/ADG726\\_732.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/Data_Sheets/ADG726_732.pdf).
7. Agilent 34410A and 34411A Multimeters Setting the Standard for Next Generation Benchtop and System Testing. Data Sheet // Agilent technologies. <http://www.tme.eu/en/Document/792be1b9e10d1cda2f75857b35395760/34410A-DTE.pdf>.
8. Using MATLAB to Configure a Digital Multimeter Transfer Data and Plot the Results. <https://www.youtube.com/watch?v=xavHfO7r1rs>.