

Различают нечеткозначные функции обычного переменного $\tilde{y}(x) \triangleq \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha \bar{Y}_\alpha(x)$, обычные функции нечеткого переменного $y(\tilde{x}) = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha y(x_\alpha)$ и, собственно, нечеткие функции (нечеткозначные функции нечеткого переменного) $\tilde{y}(\tilde{x}) \triangleq \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha \bar{Y}_\alpha(\bar{x}_\alpha)$. Здесь \bar{Y}_α и \bar{x}_α – интервальные функции, определенные для каждого $\alpha \in (0,1]$ в соответствии с видом функции принадлежности нечеткой переменной \tilde{x} и нечеткой функции \tilde{y} .

Математический аппарат нечетких функций позволяет ввести количественные зависимости между экономическими, социологическими, психологическими и политическими параметрами, которые не поддаются строгой количественной оценке. Это позволит построить более строгую теорию общественных процессов и привести к формализации законов развития общества.

Дальнейшей перспективой данного направления может служить внедрение в методологию общественных наук математического аппарата нечеткого анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Страусс А., Корбин Дж.* Основы качественного исследования: обоснованная теория, процедуры и техники. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 256 с.
2. *Ragin Ch.C.* Fuzzy-set social science. – Chicago: University of Chicago. Press, 2000. – 352 p.
3. *Smithson M., Verkuilen J.* Fuzzy set theory. Applications in the social sciences. – Sage Publications, 2006. – 113 p.
4. *Cao B.-Y.* Convex Interval and Fuzzy (Valued) Functions with Functionals. // В.-у. Cao, С.-у. Zhang, and Т.-f. Li (Eds.): Fuzzy Info. and Engineering, ASC. – Vol. 54. – P. 233-244.
5. *Lee K.H.* First Course on Fuzzy Theory and Applications // Advances in Soft Computing. – Springer, 2005. – Vol. 27.
6. *Самонов В.Е.* Методы построения нечетких функций // Научные исследования: информация, анализ, прогноз: Монография. – Воронеж: ВГПУ, 2011. – С. 112-137.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. Р.Г. Закинян.

Самонов Виталий Евгеньевич – ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет»; e-mail: vit-samonov@yandex.ru; 355028, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2; тел.: +79187590597; кафедра прикладной математики и компьютерных технологий; к.ф.-м.н.; доцент.

Samonov Vitaly Evgen'evich – North Caucasus State Technical University; e-mail: vit-samonov@yandex.ru; 2, Kulakov avenue, Stavropol, 355028, Russia; phone: +79187590597; the department of applied mathematics and computer technologies; cand. of phys.-math. sc.; associate professor.

УДК 504.064.36

С.С. Алхасов, Л.П. Милешко, А.А. Целых

РАЗРАБОТКА БЛОКА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННЫЙ ЯЗЫК» ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Описана структура мультисенсорной системы (МСС) – перспективного устройства для анализа химического состава сложных многокомпонентных сред. Представлен подход, предполагающий создание МСС для экологического мониторинга концентраций ионов тя-

жѐлых металлов в различных водных средах. Использован в качестве массива сенсоров набор из нескольких ионоселективных электродов. Основное внимание сконцентрировано на разработке блока обработки данных МСС, включающего в себя две искусственные нейронные сети, выполняющие предварительную классификацию и количественную идентификацию. Описан механизм функционирования блока обработки информации. Предполагается создание графического интерфейса пользователя.

Мультисенсорные системы; искусственные нейронные сети; обработка информации; экологический мониторинг; тяжелые металлы.

S.S. Alkhasov, L.P. Mileshko, A.A. Tselykh

DEVELOPMENT OF DATA PROCESSING UNIT OF MULTI-SENSOR SYSTEM “ELECTRONIC TONGUE” FOR CONCENTRATION MONITORING OF HEAVY METALS IONS IN AQUEOUS MEDIA

The structure of multi-sensor system (MSS) – promising device for chemical compositional analysis of complex multicomponent media is described. Approach is produced which proposes making of MSS for environmental concentration monitoring of heavy metals ions in different aqueous media. Set out of some ion-selective electrodes is used as sensor array. Main attention is focused on development of data processing unit of MSS which includes two artificial neural networks which carry out pre-classification and quantitative identification. The mechanism of functioning for data processing unit is described. Making of graphical user interface is planned.

Multi-sensor systems; artificial neural networks; data processing; environmental monitoring; heavy metals.

Один из наиболее опасных загрязнителей водных сред – тяжѐлые металлы. Методы аналитической химии, применяемые для их количественной идентификации, обычно трудоѐмки и дороги. Отдельной проблемой часто является определение концентрации каждого компонента (в данном случае иона тяжѐлого металла) в многокомпонентных растворах (в аналитических пробах природных вод или промышленных стоков). Таким образом, возникает необходимость в разработке портативного электронного устройства для количественного анализа содержания ионов тяжѐлых металлов в водных средах. Такое устройство – мультисенсорная мониторинговая система «электронный язык» [1–3].

Мультисенсорная система состоит из массива сенсоров, блока сбора информации и блока обработки информации. В работе [1] массив сенсоров состоит из нескольких ионоселективных электродов (ИСЭ). ИСЭ ориентированы на идентификацию определённого целевого иона. Влияние мешающих ионов характеризуется коэффициентом селективности, определяемым экспериментально для каждой модели ИСЭ. Связь между концентрациями ионов и электродным потенциалом ИСЭ устанавливает уравнение Никольского.

Блок обработки информации – программный компонент мультисенсорной системы. В настоящей разработке он представляет собой алгоритм, написанный на языке программирования пакета прикладных программ MATLAB в форме m-функции. Первоначально в данном алгоритме, включающем две искусственные нейронные сети (ИНС), сеть №1 однократно обучается формированию для сети №2 обучающих выборок концентраций ионов и электродных потенциалов. Количество входов обеих нейронных сетей равняется числу ИСЭ. На входы, таким образом, подаются численные значения потенциалов. В сети №2 в процессе обучения им ставятся в соответствие целевые концентрации, приближённые значения которых данная сеть выдает на выходе. Процесс обучения сети №2 повторяется вновь при каждом вводе экспериментальных входных данных, которые непосредственно подаются на вход сети №2 только после завершения ее обучения.

Таким образом, обработка экспериментальной измерительной информации состоит из двух основных этапов: предварительной классификации и количественной идентификации. Ключевую роль в функционировании блока обработки информации играет ИНС №2. Роль ИНС №1 заключается в генерации массивов обучающих данных для сети №2 под конкретные классы экспериментальных входных данных. Такой подход позволяет значительно снизить избыточность обучающих данных и соответственно существенно увеличить точность вычислений [3, 4].

Недостатком метода является необходимость регулярного повторяющегося обучения ИНС №2, которое приводит к дополнительным затратам времени, оперативной памяти и, как правило, значительной загрузке процессора ЭВМ. Оптимальным типом ИНС, позволяющим минимизировать вышеуказанные нежелательные эффекты повторяющегося обучения при удовлетворительной точности распознавания, для такой двухступенчатой структуры алгоритма являются некоторые виды радиальных базисных сетей [5].

Планируется дальнейшее совершенствование нейросетевых структур, входящих в блок обработки информации и создание графического интерфейса пользователя, который позволит конечному пользователю мультисенсорной системы, не владеющему навыками программирования, подстраивать мультисенсорную систему в широких пределах под свою конкретную задачу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов Ю.Г., Легин А.В., Рудницкая А.М. Электронный язык – системы химических сенсоров для анализа водных сред // Рос. хим. ж. – 2008. – Т. ЛП, № 2. – С. 101-112.
2. Милешко Л.П., Котов В.Н., Королев А.Н., Черепахин И.И., Щербинин И.П. Мультисенсорные системы: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 236 с.
3. Алхасов С.С. Разработка мультисенсорной системы «электронный язык» на основе сенсоров с анодными оксидными плёнками // VIII ежегодная научная конференция студентов и аспирантов базовых кафедр ЮНЦ РАН: Тезисы докладов (Апрель 2012 г., г. Ростов-на-Дону). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2012.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин

Алхасов Станислав Сергеевич – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: ecology2014@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 89081936793, 88634371624; кафедра химии и экологии; магистрант.

Милешко Леонид Петрович – e-mail: mileshko.leon@yandex.ru; кафедра химии и экологии; д.т.н., профессор.

Целых Алексей Александрович – e-mail: atselykh@tti.sfedu.ru; тел.: 88634371743; кафедра прикладной информатики; к.т.н.; доцент.

Alkhasov Stanislav Sergeevich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: ecology2014@yandex.ru; GSP 17A, 44 Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phones: +79081936793; +78634371624; the department of chemistry and ecology; master student.

Mileshko Leonid Petrovich – e-mail: mileshko.leon@yandex.ru; the department of chemistry and ecology; dr. of eng. sc.; professor.

Tselykh Alexey Alexandrovich – e-mail: atselykh@tti.sfedu.ru; phone: +78634371743; the department of applied informatics; cand. of eng. sc.; associate professor.