

УДК 504.064.3

DOI: 10.22213/2410-9304-2019-4-48-52

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ХЛОРАГЕНТА И СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФОРМА В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ\*

А. И. Юхно, аспирант, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
Н. К. Плуготаренко, кандидат технических наук, доцент, Южный федеральный университет,  
г. Ростов-на-Дону, Россия

*Защита здоровья человека от канцерогенных рисков, а также обеспечение эффективности систем водоснабжения являются важной задачей на сегодняшний день. В связи с этим в данной работе рассмотрены вопросы применения метода контроля качества питьевой воды на базе нейросетевых технологий и методов искусственного интеллекта. В основу предложенного метода положен алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Предложены параметры качества воды, применяемые в качестве лингвистических переменных алгоритма нечеткого вывода. Данный метод реализуется интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системой контроля дозирования хлорагента и содержания хлороформа на станциях водоподготовки в режиме реального времени. Разработка системы осуществлялась с использованием программного комплекса MatLab, а именно пакета нечеткого моделирования Fuzzy Logic Toolbox. Разработана структура интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы. Построение информационно-измерительной системы дозирования хлорагента основывалось на принципах минимизации риска для здоровья населения. Сделаны выводы, позволяющие оценить влияние разработанной системы на повышение качества питьевой воды. Апробация работы системы позволила отразить эффективность ее применения: снижение избыточного хлорирования и канцерогенного риска образования побочных продуктов обеззараживания питьевой воды относительно применяемых на данный момент на типовых станциях водоподготовки систем контроля.*

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система, питьевая вода, нейросетевые технологии, нечеткая логика.

### Введение

Основной задачей данного исследования является обеспечение населения питьевой водой нормативного качества и улучшение на этой основе состояния здоровья и качества жизни населения [1]. На данный момент в технологии водоподготовки нормирование дозы дезинфицирующего хлорсодержащего агента осуществляется относительно такого показателя, как остаточный хлор. Но так как данный способ способен вызывать избыточное хлорирование и, как следствие, образования негативных побочных продуктов реакции обеззараживания, которые обладают канцерогенным риском для здоровья населения [2, 3]. Для действующей технологии водоочистки характерно определение хлорорганических соединений хроматографическими методами анализа, которые занимают продолжительное время. Прогнозирование и оценка качества питьевой воды – важная задача, которая связана с обработкой большого объема данных, в том числе слабоструктурированных, выявлением причинно-следственных связей между множествами параметров и т. д. [4]. В связи с этим актуальной задачей является разработка интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системой (ИИИУС) контроля дозирования хлорагента и содержания хлороформа на станциях водоподготовки, использования современных информационных технологий, а также перспективных методов моделирования с целью повышения качества питьевой воды в режиме реального времени.

### Описание метода

В ходе исследования были выявлены причинно-следственные связи образования хлороформа в питьевой воде и выполнено построение соответствующих моделей, позволяющих проводить оценку и прогно-

зирование данного параметра относительно изменяющегося качественного состояния воды. Таким образом, удалось определить параметры качества воды, наибольшим образом влияющие на образование хлороформа в питьевой воде и на основании данных многолетнего мониторинга разработать нейросетевую модель, прогнозирующую содержание хлороформа в онлайн-режиме [5].

Сложность контроля качества питьевой воды в режиме реального времени состоит в необходимости учета большого объема разнородных данных, в том числе слабоформализуемых, что определяет актуальность применения методов интеллектуального анализа данных, а именно нейросетевого моделирования и нечеткой логики [6]. В данной работе предложен метод контроля качества питьевой воды на основе нечеткого вывода с применением нейросетевых технологий. Схематическое представление метода контроля качества питьевой воды показано на рис. 1.

В основу предложенного метода положен алгоритм нечеткого вывода Мамдани. На вход поступают количественные значения в виде сигналов, передаваемых измерительными датчиками, на выходе также получается сигнал, направляемый на управляемый блок [7–9]. На промежуточных этапах применяется аппарат нечеткой логики и теория нечетких множеств. В качестве входных лингвистических переменных были выбраны такие контролируемые параметры, как концентрация остаточного хлора, скорость изменения остаточного хлора и прогнозируемая нейронной сетью на основе неконтролируемых параметров концентрация хлороформа. Выходным параметром выбран коэффициент дозы хлорагента, который поступает на модуль управляющего воздействия.

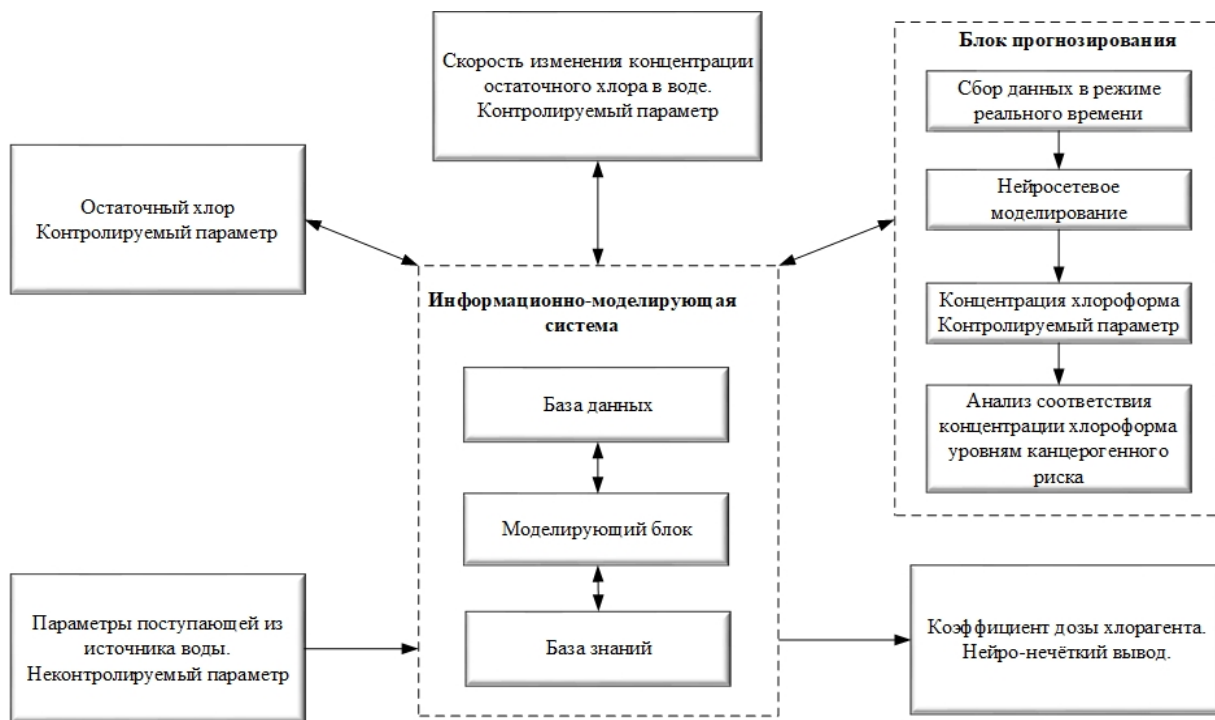


Рис. 1. Схематическое представление метода контроля качества питьевой воды

**Разработка системы**

В ходе работы разработана ИИИУС контроля дозирования хлорагента и содержания хлорорганических соединений на основе интеллектуальных методов обработки данных, реализующая систему нечеткого вывода. Разработка системы осуществлялась с

использованием программного комплекса MatLab, а именно пакета нечеткого моделирования Fuzzy Logic Toolbox.

На рис. 2 представлен фрагмент выходного файла среды MATLAB, отражающий структуру нечеткого вывода.

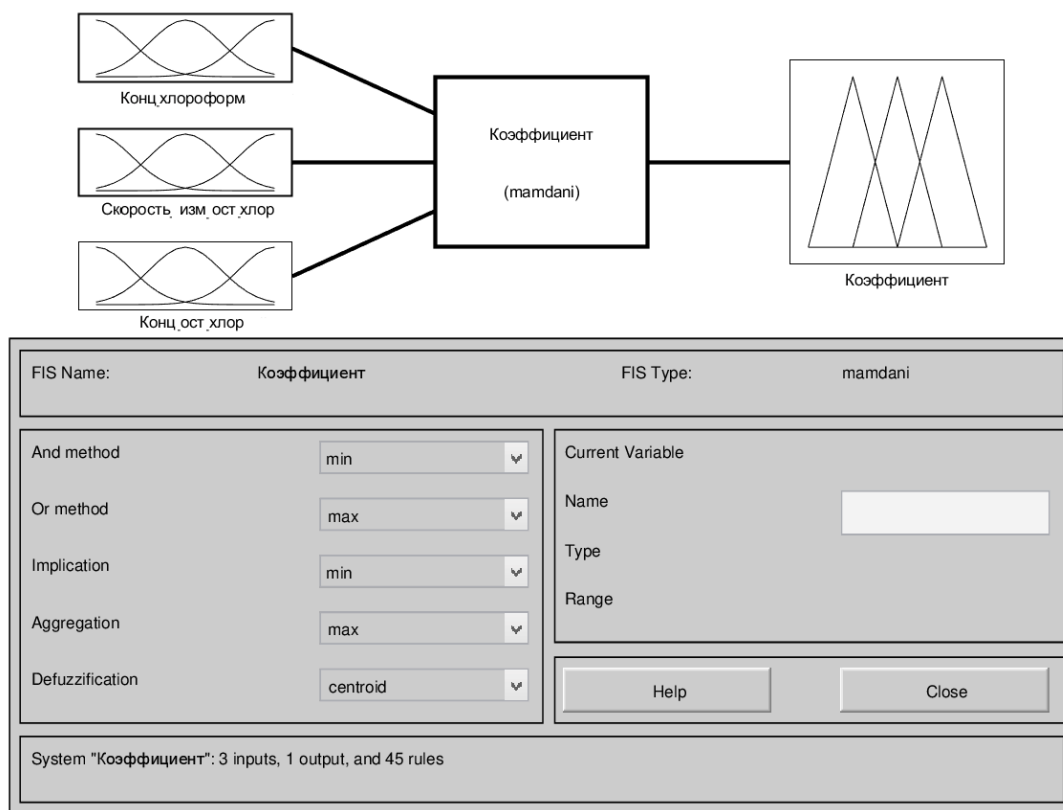


Рис. 2. Фрагмент выходного файла среды MATLAB, отражающий структуру нечеткого вывода

Данный алгоритм описывает несколько последовательно выполняющихся этапов. Принцип алгоритма Мамдани в том, что на вход поступают количественные значения и на выходе получаются они же [10]. На промежуточных этапах используется аппарат нечеткой логики и теория нечетких множеств. При этом каждый последующий этап получает на вход значения, полученные на предыдущем шаге. В качестве входных переменных были выбраны концентрация остаточного хлора, скорость изменения остаточного хлора и концентрация хлороформа.

Анализ статистических закономерностей показал, что для оперативного отклика системы на изменение

свойств воды необходимо учитывать в качестве лингвистических переменных такие параметры, как концентрация остаточного хлора, концентрация хлороформа и скорость изменения концентрации остаточного хлора, позволяющая учесть динамику данного показателя и степень отклонения от оптимального значения.

В рамках проведенного исследования предложена структура интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы контроля дозирования хлорагента и содержания хлорорганических соединений. Структура ИИИУС приведена на рис. 3.

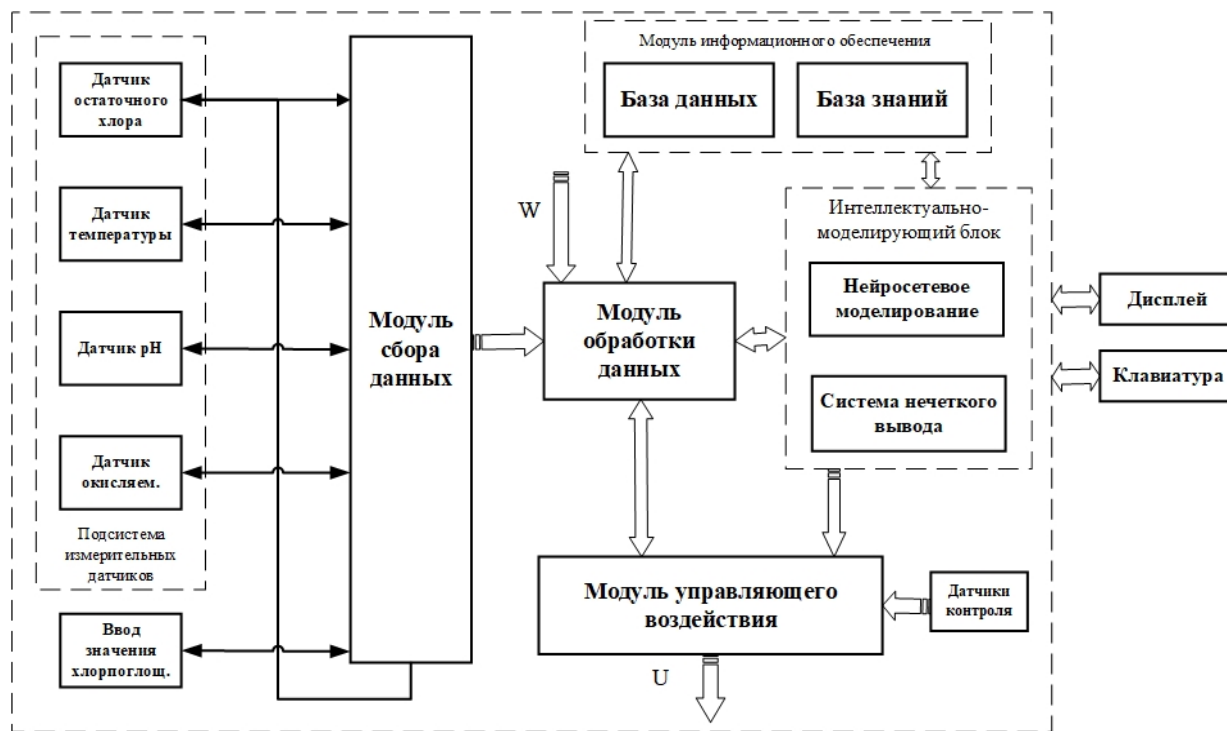


Рис. 3. Структура интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы контроля дозирования хлорагента и содержания хлорорганических соединений

Задача ИИИУС контроля состоит в измерении, обработке, хранении данных и дальнейшем использовании измеряемых параметров для управления дозированием хлорагента и содержания ХОС в питьевой воде. Одной из частей системы является подсистема измерительных датчиков, определяющих параметры качества воды. Частота опроса датчиков на станциях водоподготовки выше, чем в действующих технологиях водоподготовки, что важно для оперативного реагирования на изменение качества воды. ИИИУС содержит датчики контроля, установленные на технологических сооружениях с целью промежуточного контроля работы системы и аварийного сброса в случае необходимости.

Модуль информационного обеспечения включает базу данных и базу знаний. База данных хранит временные ряды измерений за длительный период эксплуатации. В базе знаний содержится информация, необходимая для функционирования системы нечеткой логики. Интеллектуально-моделирующий блок

осуществляет нейросетевое моделирование и реализацию алгоритма нечеткой логики Мамдани.

Выходные данные управляющего модуля используются при формировании управляющих воздействий  $U$ . Часть функций, выполняемых в модуле обработки данных и модуле управляющих воздействий, реализуется в логических контроллерах. Туда же поступают данные расходомеров и дозы хлорагента на предыдущем этапе  $W$ . Коэффициент умножается на приведенную дозу (доза хлорагента деленная на расход).

#### Анализ результатов

Сравнение коэффициента, полученного в процессе работы ИИИУС, с коэффициентом, рассчитанным по реальной добавке, применяемым в типовых процессах водоподготовки при аналогичных условиях качества природной воды и параметрах водоподготовки, показало, что коэффициент, полученный в процессе работы ИИИУС, позволит снизить избыточное хлорирование приблизительно на 15 %.

Кроме того, была проведена оценка суммарного канцерогенного риска образования хлороформа при использовании одной и той же дозировки хлорагента, введенного экспериментально и полученного в процессе работы ИИИУС. Таким образом, анализ выявил снижение канцерогенного риска образования хлороформа до 37 % при применении разработанной системы относительно применяемых систем обеззараживания.

### Заключение

Таким образом, разработка интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы контроля дозирования хлорагента, содержания хлорорганических соединений и остаточного хлора в питьевой воде на базе нечеткой логики способна повысить качество питьевой воды и имеет большое научно-практическое значение. А метод, реализуемый ИИИУС, ведет к сокращению канцерогенного риска образования побочных продуктов хлорирования, несет положительный эффект для здоровья населения.

### Библиографические ссылки

1. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора / Н. В. Зайцева, А. С. Сбоев, С. В. Клейн, С. А. Вековшина // Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 44–57.
2. Оценка канцерогенного риска от воздействия хлорорганических соединений питьевой воды / Б. И. Марченко, П. В. Журавлев, Н. К. Плуготаренко, А. И. Юхно // Современные проблемы оценки, прогноза и управления экологическими рисками здоровью населения и окружающей среды, пути их рационального решения : материалы III Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. 2018. – С. 238–242.
3. Бахмацкая А. И., Плуготаренко Н. К. Анализ экологической безопасности процессов хлорирования воды // Экология промышленного производства. 2016. № 2 (94). С. 52–56.
4. Ивацук О. О. Подходы к построению системы автоматизированного мониторинга санитарно-технического состояния объектов центрального водоснабжения // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 6. С. 80.
5. Юхно А. И., Плуготаренко Н. К. Нейросетевое моделирование содержания хлороформа в питьевой воде при водоподготовке // Аналитика. 2019. Т. 9. № 3. С. 236–241.
6. Ryszard Wyczolkowski, Mariusz Piechowski, Violetta Gładysiak Małgorzata Jasiulewicz-Kaczmarek, The Concept of Intelligent Chlorine Dosing System in Water Supply Distribution Networks. In book: Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance, 2019, 10.1007/978-3-319-97490-3\_34.
7. Сорокин А. Б. Моделирование работы системы управления водоснабжением на базе нечеткой логики // Природообустройство. 2013. № 3. С. 68–72.

8. Sradjevic, B. Medeiros Y., D., P., Fu.AHP.Ass. Wa.M.P.University of Novi Sad. Serbia. Water Resources Management, -2008, -Vol 22, -877-894

9. Thungngern, J., Wijitkosum, S., Sriburi, T., SukhsriC., A.R.T.An.H.P.:A.App.Wa.R.M.Tha. Chulalongkorn University. Bangkok. App. Envi. Res, -2010, Vol 37, 13-32

10. Soyguder, S. Fuzzy adaptive control for the actuators position control and modeling of an expert system / S. Soyguder, H. Alli // Expert Systems with Applications. 2010. Vol. 37. P. 2072-2080.

### References

1. Zaitseva N.V., Glitches A.S., Klein S.V., Vekovshina S.A. [Quality of drinking water: risk factors for public health and efficiency of control and Supervisory activity of Rospotrebnadzor]. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019, no. 2. Pp. 44-57 (in Russ.).
2. Marchenko B. I., Zhuravlev P. V., Plugotarenko N.K., Yuhno A.I. *Otsenka kantserogennogo riska ot vozdeistviya khlororganicheskikh soedinenii pit'evoi vody* [Assessment of carcinogenic risk from exposure to organochlorine compounds of drinking water]. *Sovremennye problemy otsenki, prognoza i upravleniya ekologicheskimi riskami zdorov'yu naseleniya i okruzhayushchei sredy, puti ikh ratsional'nogo resheniya* [Proc. Modern problems of assessment, prognosis and management of environmental risks to public health and the environment, ways of their rational solution proceedings of the III International forum of the Scientific Council of the Russian Federation on human ecology and environmental hygiene]. 2018. Pp. 238-242 (in Russ.).
3. Bakhmatskaya A. I., Plugotarenko N.K. [Analysis of ecological safety of water chlorination processes]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2016. No. 2. Pp. 52-56 (in Russ.).
4. Ivashchuk O. O. [Approaches to building a system of automated monitoring of sanitary and technical condition of municipal water supply facilities]. *Mezhdunarodnyi studentcheskii nauchnyi vestnik*. 2016. No. 6. P. 80 (in Russ.).
5. Yuhno A.I., Plugotarenko N.K. [Neural network modeling of chloroform content in drinking water during water treatment]. *Analitika*. 2019. Vol. 9. No. 3. Pp. 236-241 (in Russ.).
6. Ryszard Wyczolkowski, Mariusz Piechowski, Violetta Gładysiak Małgorzata Jasiulewicz-Kaczmarek, The Concept of Intelligent Chlorine Dosing System in Water Supply Distribution Networks. In book: Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance, -2019, 10.1007/978-3-319-97490-3\_34
7. Sorokin A. B. [Modeling of water supply management system based on fuzzy logic]. *Prirodoobustroistvo*. 2013. No. 3. Pp. 68-72 (in Russ.).
8. Sradjevic, B. Medeiros Y., D., P., Fu.AHP.Ass. Wa.M.P.University of Novi Sad. Serbia. Water Resources Management, -2008, -Vol 22, -877-894
9. Thungngern, J., Wijitkosum, S., Sriburi, T., SukhsriC.,A.R.T.An.H.P.:A.App.Wa.R.M.Tha. Chulalongkorn University. Bangkok. App. Envi. Res, -2010, Vol 37, 13-32
10. Soyguder, S. Fuzzy adaptive control for the actuators position control and modeling of an expert system / S. Soyguder, H. Alli // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol. 37. – P. 2072-2080

\* \* \*

**Development of Structure of Intellectual Information Measuring and Control System of Control of Chlorine Dosing and Chloroform Content in Drinking Water**

*Yuhno A.I.*, Post-graduate, Southern Federal University, Rostov-na-Donu, Russia

*Plugotarenko N.K.*, PhD in Engineering, Associate Professor, Southern Federal University, Rostov-na-Donu, Russia

*Protecting human health from carcinogenic risks, as well as ensuring the efficiency of water supply systems is an important task today. In this regard, this paper discusses the application of the method of quality control of drinking water on the basis of neural network technologies and methods of artificial intelligence. The proposed method is based on Mamdani fuzzy inference algorithm. The proposed parameters of water quality that is used as the linguistic variables of the fuzzy logic algorithm. This method is implemented by an intelligent information measuring and control system for monitoring chlorine dosing and chloroform content at water treatment plants in real time. The development of the system was carried out using the MatLab software package, namely Fuzzy Logic Toolbox. The structure of intellectual information measuring and control system is developed. The construction of the information and measurement system of chlorine dosing was based on the principles of minimizing the risk to public health. The general conclusions are made that allow for estimating the influence of the developed system on improvement of quality of drinking water. Approbation of the system allowed to reflect the effectiveness of its application: reduction of excessive chlorination and carcinogenic risk of formation of by-products of disinfection of drinking water, relative to control systems currently used at typical water treatment plants.*

**Keywords:** information measuring system, drinking water, neural network technologies, fuzzy logic.

Получено: 16.10.19