

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 504.064.3

DOI 10.21685/2307-5538-2019-4-1

А. И. Юхно

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ¹

A. I. Yuhno

STUDY OF ALGORITHM FOR JOB INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEM THE QUALITY CONTROL OF DRINKING WATER

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Качество питьевой воды зависит от множества параметров, которые динамически изменяются, в то время как система обеззараживания, применяемая на типовых станциях водоподготовки, не способна своевременно адаптироваться под эти изменения. Это зачастую является причиной перехлорирования и негативно сказывается на здоровье населения. В связи с этим основной целью данного исследования является контроль дозирования хлорагента и содержания побочных продуктов обеззараживания в «онлайн» режиме. **Материалы и методы.** В ходе исследования проведена оценка и моделирование параметров контроля качества питьевой воды на станциях водоподготовки с использованием интеллектуальных методов анализа, а именно: нейросетевого моделирования и методов нечеткой логики. **Результаты.** Разработан алгоритм, реализующий работу информационно-измерительной системы контроля дозирования хлорагента и содержания побочных продуктов обеззараживания в «онлайн» режиме. Создание алгоритма осуществлялось в среде имитационного моделирования Simulink. Проведен анализ эффективности алгоритма работы информационно-измерительной системы контроля качества питьевой воды. **Выводы.** Алгоритм работы интеллектуальной информационно-измерительной системы контроля дозирования хлорагента позволяет обрабатывать несколько входных параметров контроля качества воды и регулировать дозировку хлора с позиции оценки канцерогенного риска образования хлорорганических соединений.

A b s t r a c t. Background. The quality of drinking water depends on many parameters that change dynamically, while the disinfection system used at typical water treatment plants is not able to adapt to these changes in a timely manner. This is often the cause and has a negative impact on the health of the population. In this regard, the main purpose of this study is to control the dosage of chloragent and the content of disinfection byproducts in the «online» mode. **Materials and methods.** In the course of the study, the parameters of drinking water quality

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00489.

control at water treatment plants were evaluated and simulated using intelligent analysis methods, namely neural network modeling and fuzzy logic methods. **Results.** An algorithm has been developed that implements the operation of the information-measuring system for monitoring the dosing of chloragent and the content of disinfection byproducts in the «online» mode. The creation of the algorithm was carried out in the simulation environment Simulink. The approbation of the algorithm, which allows to reflect the efficiency of the information and measurement system of drinking water quality control, was carried out. **Conclusions.** The algorithm, which implements the work of the intelligent information and measurement system of chloragent dosing control, allows to process several input parameters of water quality control and adjust the chlorine dosage from the position of assessing the carcinogenic risk of organochlorine compounds formation.

К л ю ч е в ы е с л о в а: алгоритм, контроль качества, информационно-измерительная система, питьевая вода, нейросетевые технологии, нечеткая логика.

Key words: algorithm, quality control, information and measurement system, drinking water, neural network technologies, fuzzy logic.

Введение

В последнее время все больше внимание исследователей привлекает вопрос негативного влияния качества питьевой воды на здоровье населения. В работах [1–3] доказывается, что образование хлорорганических соединений (ХОС) в водопроводной воде как побочный негативный эффект дезинфекции способно при хроническом употреблении вызывать у населения злокачественные новообразования (ЗН). Анализ статистических данных на примере г. Таганрога позволил определить, что многолетняя динамика общей заболеваемости ЗН за последние пятнадцать лет при выраженной вариабельности годовых показателей характеризуется тенденцией к росту (рис. 1) [4]. Данная статистика объясняет актуальность контроля дозирования хлорагента и, как следствие, содержание ХОС в технологии подготовки питьевой воды.

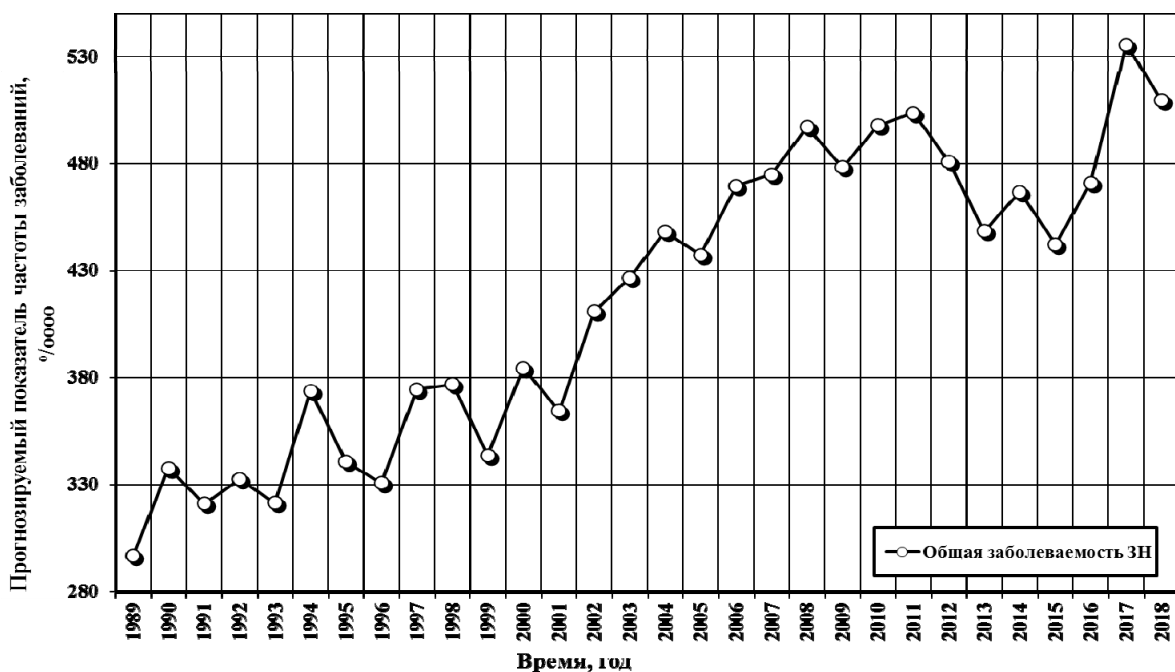


Рис. 1. Динамика общей первичной заболеваемости злокачественными новообразованиями населения г. Таганрога за период 1989–2018 гг.

Кроме того, в ходе исследования проведен эксперимент по лабораторному хлорированию воды и по полученным в результате эксперимента концентрациям ХОС был проведен расчет суммарного канцерогенного риска согласно Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке

риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Суммарный канцерогенный риск рассчитывался из риска для всех проанализированных веществ и всех путей их поступления в организм (пероральный, ингаляционный, накожный). На рис. 2 отражено изменение суммарного канцерогенного риска в зависимости от роста концентрации остаточного хлора.

Проведенный анализ позволил выявить, что наибольший вклад в значение суммарного канцерогенного риска вносит пероральный риск [4]. Его значения в среднем в 10 раз выше, относительно других путей поступления в организм.

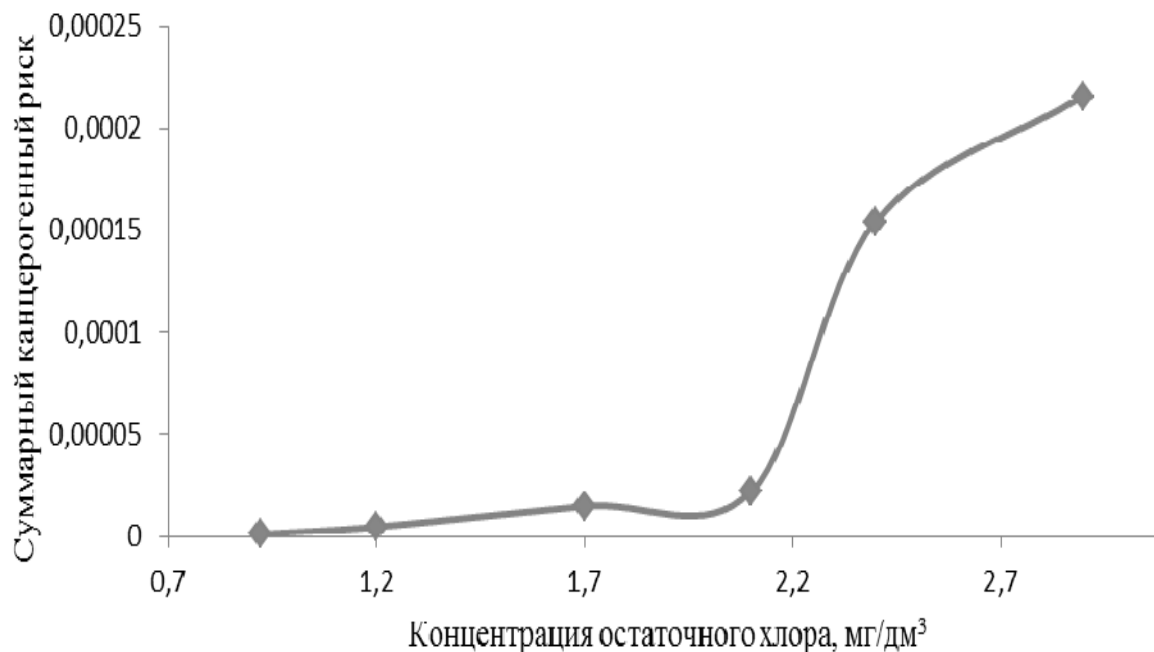


Рис. 2. Изменение суммарного канцерогенного риска в зависимости от роста концентрации остаточного хлора

На графике рис. 2 заметен скачок при изменении концентрации остаточного хлора от 2,1 до 2,4 мг/дм³, т.е. сравнительно небольшое изменение такого показателя, как остаточный хлор, способно на порядок увеличить уровень суммарного канцерогенного риска образования хлорорганических соединений в питьевой воде.

Расчет суммарного канцерогенного риска для побочных продуктов хлорирования позволил отразить, что уже при оптимальной дозе хлорагента (доза, при которой остаточный хлор находится в диапазоне 0,8–1,2 мг/дм³) значения суммарного риска принадлежат верхней границе приемлемого риска. Данная закономерность показывает, что нормирование достаточности и безопасности вносимой при обеззараживании дозы хлорагента по одному регулируемому параметру – остаточный хлор – не является достаточным. На понятие достаточности дозы хлора влияет ряд параметров, в том числе значение канцерогенного риска. В связи с этим является актуальной разработка системы контроля дозирования хлорагента, в которой дозировка регулируется в зависимости от качества воды и канцерогенного риска образования ХОС в режиме реального времени [5–7]. Описание нейросетевой модели и параметров системы приведено в работах [8–9].

Разработка алгоритма

Разработанная интеллектуальная информационно-измерительная система (ИИУС) контроля дозирования хлорагента, содержания хлорорганических соединений и поддержания достаточного уровня остаточного хлора в питьевой воде на станциях водоподготовки в режиме реального времени была реализована в виде алгоритма с использованием графической среды имитационного моделирования Simulink. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 3.

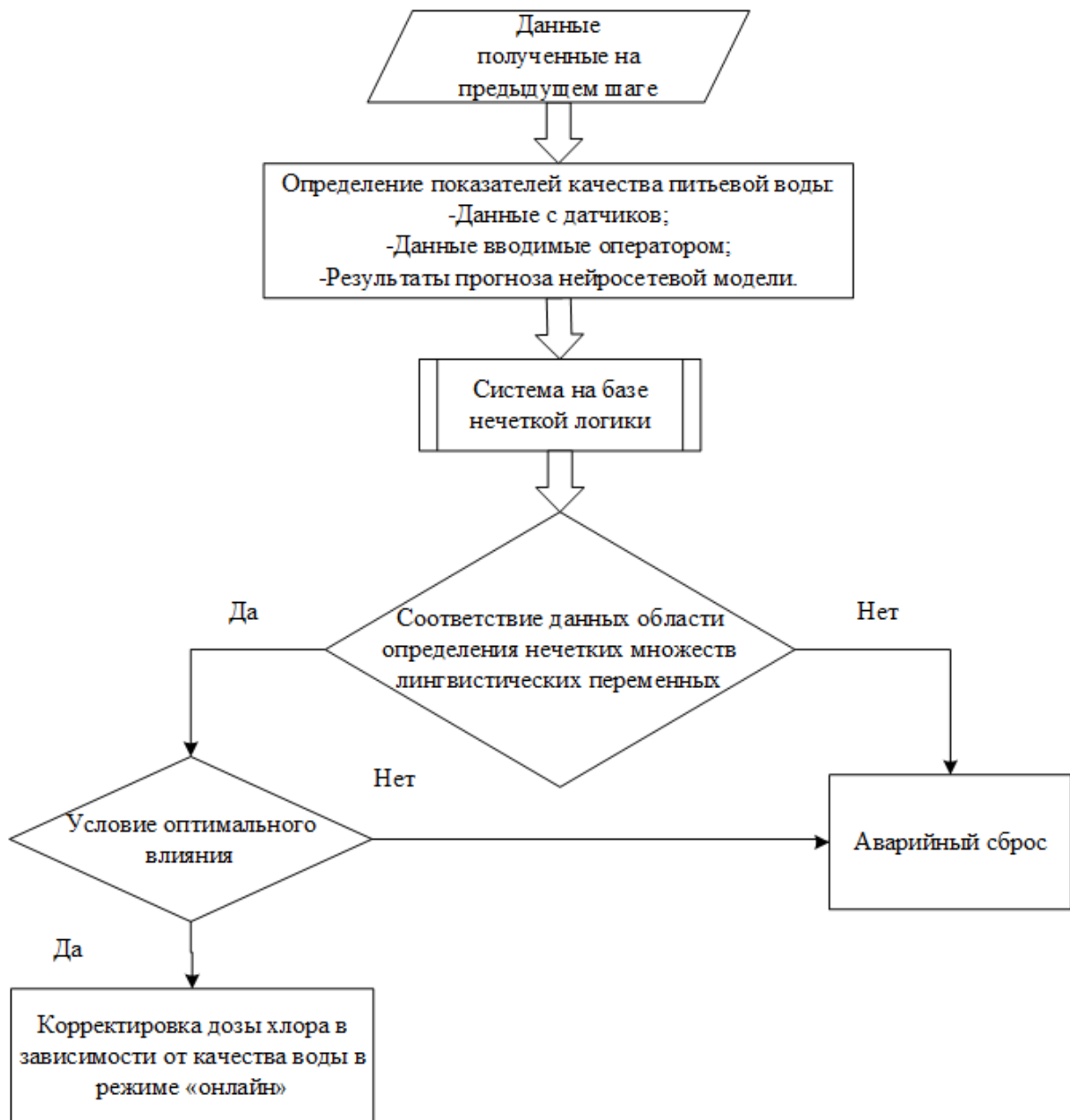


Рис. 3. Блок-схема алгоритма, реализующего работу ИИУС

Алгоритм, реализующий работу интеллектуальной информационно-измерительной системы контроля на базе аппарата нечеткого вывода для регулирования дозирования хлора, позволяет уйти от этапа вторичного хлорирования в процессе водоподготовки, поэтому делает его предпочтительней, по сравнению с типовыми системами регулирования.

В процессе исследования был проведен анализ качества работы алгоритма, реализующего работу интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы контроля дозирования хлорагента и содержания хлороформа в питьевой воде на станциях водоподготовки. В ходе анализа эффективности работы алгоритма задавались одни и те же входные параметры системы, а именно: концентрация остаточного хлора, водородный показатель, перманганатная окисляемость, температура и хлорпоглощаемость. Прогнозируемая системой концентрация хлороформа, а также другие входные параметры нечеткого вывода позволили определить коэффициент дозы хлора, рассчитанный алгоритмом. На рис. 4 представлено сравнение рассчитанного алгоритмом коэффициента с коэффициентом, рассчитанным по реальной добавке, применяемым в типовых процессах водоподготовки при аналогичных условиях качества природной воды и параметрах водоподготовки.

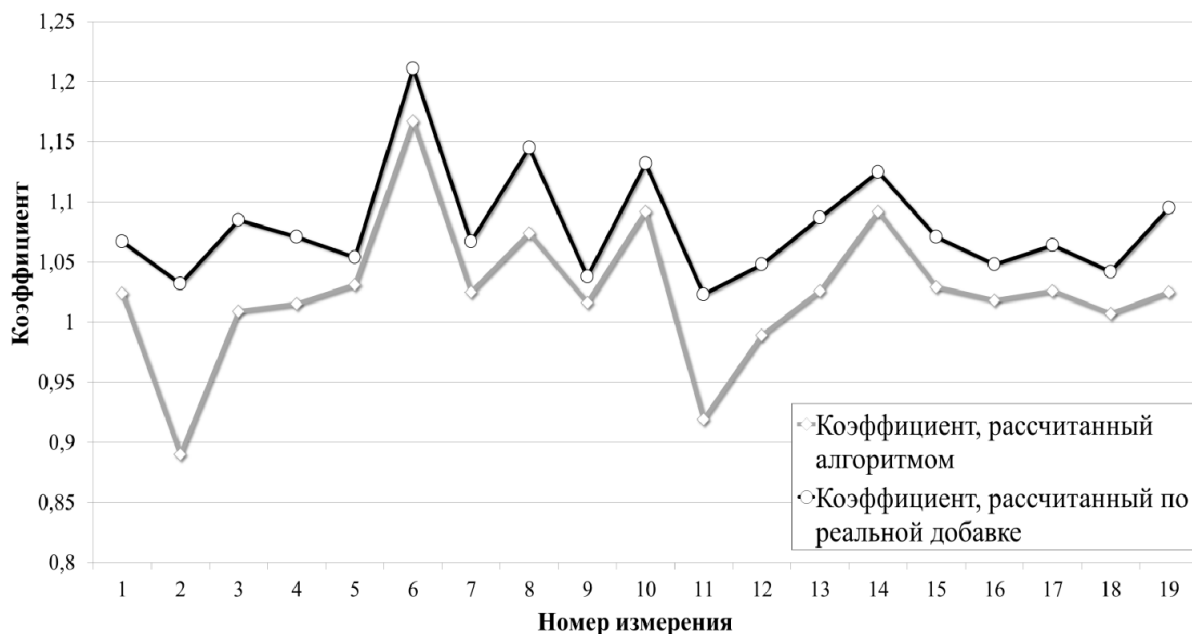


Рис. 4. Сравнение коэффициента, рассчитанного алгоритмом, с коэффициентом, рассчитанным по реальной добавке

Кроме того, анализ качества работы алгоритма, реализующего интеллектуальную ИИУС, выявил значительное снижение в разбросе значений остаточного хлора. На рис. 5 показана динамика концентрации остаточного хлора, полученная экспериментально на одной из станций водоподготовки, и динамика остаточного хлора, моделируемого разработанной системой контроля дозирования хлорагента, содержания ХОС и остаточного хлора в режиме реального времени.

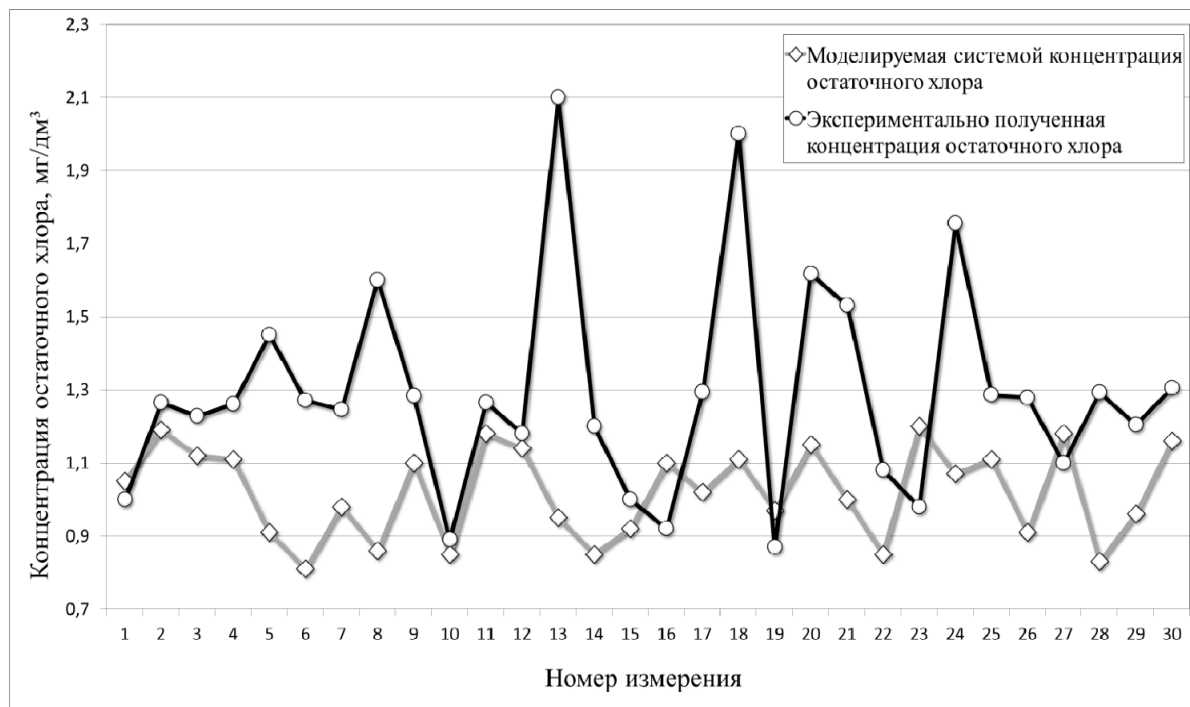


Рис. 5. Динамика концентрации остаточного хлора, полученная экспериментально и моделируемая по алгоритму

Анализ полученных данных позволил оценить дисперсию остаточного хлора, которая характеризует меру разброса данной величины.

Обсуждение результатов

Таким образом, разработанная интеллектуальная ИИУС контроля дозирования хлора на базе нечеткой логики позволит стабилизировать подачу хлора, увеличить эффективность технологического процесса, качество управления дозированием хлора на станциях водоподготовки, а также позволит избежать перехлорирования питьевой воды и обеспечить более безопасное водопотребление благодаря непрерывному контролю канцерогенного риска здоровью населения.

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

Было выявлено, что экспериментально полученная концентрация остаточного хлора обладает значением дисперсии не менее 0,11, в то время как концентрация остаточного хлора, полученная в результате моделирования, составляет около 0,015. Данный результат говорит о снижении колеблемости концентрации остаточного хлора на порядок, а значит, и о повышении уровня надежности и эффективности системы при использовании разработанной ИИУС.

Алгоритм работы интеллектуальной ИИУС контроля дозирования хлора, позволяет обрабатывать несколько входных параметров контроля качества воды и регулировать дозировку хлора с позиции оценки канцерогенного риска образования хлорорганических соединений. Тем самым предлагаемый подход позволит усовершенствовать существующую систему хлорирования и установить более жесткий контроль над такими параметрами качества питьевой воды, как остаточный хлор и содержание хлорорганических соединений в питьевой воде. Кроме того, внедрение данной системы позволяет уйти от этапа вторичного хлорирования в процессе водоподготовки, поэтому делает его предпочтительней по сравнению с типовыми системами регулирования дозы хлора.

Библиографический список

1. Ушакова, Т. И. Стойкие хлорорганические соединения как фактор риска развития рака молочной железы / Т. И. Ушакова, Б. А. Ревич, Е. М. Аксель, В. Ф. Левшин // Вопросы онкологии. – 2002. – № 3 (48). – С. 293–300.
2. Гигиеническая характеристика риска влияния качества воды на здоровье населения крупного промышленного центра / Т. К. Валеев, Р. А. Сулейманов, Н. Н. Егорова, З. Б. Бактыбаева, Н. Р. Рахматуллин, Д. А. Сырыгина // Медицина труда и экология человека. – 2016. – № 3 (7). – С. 11–17.
3. The epidemiology and possible mechanisms of disinfection by-products in drinking water / M. J. Nieuwenhuijsen, J. Grellier, R. Smith, N. Iszatt, J. Bennett, N. Best, M. Toledano // Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci. – 2009. – С. 4043–4076.
4. Марченко, Б. И. 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 Междунар. форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды. – 2018. – С. 238–242.
5. Wyczolkowski, R. The Concept of Intelligent Chlorine Dosing System in Water Supply Distribution Networks / R. Wyczolkowski, M. Piechowski, V. Gładysiak, M. Jasiulewicz-Kaczmarek // Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance. – 2019. – DOI 10.1007/978-3-319-97490-3_34.
6. Аналиева, А. У. Интеллектуальные датчики физических величин для интегрированных ON-LINE информационных систем / А. У. Аналиева, Н. В. Громков, Е. А. Ломтев, П. Т. Харитонов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2014. – № 2. – С. 41–47.
7. Солдатова, О. П. Сравнительный анализ алгоритмов генерации баз нечетких продукционных правил на примере решения задачи классификации / О. П. Солдатова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2014. – № 4. – С. 43–48.
8. Юхно, А. И. Разработка алгоритма управления системой автоматизированного дозирования хлора на станциях водоподготовки / А. И. Юхно, Н. К. Плуготаренко // Вестник молодежной науки России. – 2019. – № 2 (8).
9. Юхно, А. И. Нейросетевое моделирование содержания хлороформа в питьевой воде при водоподготовке / А. И. Юхно, Н. К. Плуготаренко // Аналитика. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 236–241.

References

1. Ushakova T. I., Revich B. A., Aksel' E. M., Levshin V. F. *Voprosy onkologii* [Oncology issues]. 2002, no. 3 (48), pp. 293–300. [In Russian]
2. Valeev T. K., Suleymanov R. A., Egorova N. N., Baktybaeva Z. B., Rakhmatullin N. R., Syrygina D. A. *Meditcina truda i ekologiya cheloveka* [Occupational medicine and human ecology]. 2016, no. 3 (7), pp. 11–17. [In Russian]
3. Nieuwenhuijsen M. J., Grellier J., Smith R., Iszatt N., Bennett J., Best N., Toledano M. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.* 2009, pp. 4043–4076.
4. Marchenko B. I., Zhuravlev P. V., Plugotarenko N. K., Yukhno A. I. *Sovremennye problemy otsenki, prognoza i upravleniya ekologicheskimi riskami zdorov'yu naseleniya i okruzhayushchey sredy, puti ikh ratsional'nogo resheniya: materialy III Mezhdunar. foruma Nauchnogo soveta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiene okruzhayushchey sredy* [Modern problems of assessment, forecast 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 Russian]
5. Wyczolkowski R., Piechowski M., Gładysiak V., Jasiulewicz-Kaczmarek M. *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*. 2019. DOI 10.1007/978-3-319-97490-3_34.
6. Analieva A. U., Gromkov N. V., Lomtev E. A., Kharitonov P. T. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'* [Measurement. Monitoring. Management. Control]. 2014, no. 2, pp. 41–47. [In Russian]
7. Soldatova O. P. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'* [Measurement. Monitoring. Management. Control]. 2014, no. 4, pp. 43–48. [In Russian]
8. Yukhno A. I., Plugotarenko N. K. *Vestnik molodezhnoy nauki Rossii* [Bulletin of youth science of Russia]. 2019, no. 2 (8). [In Russian]
9. Yukhno A. I., Plugotarenko N. K. *Analitika* [Analytics]. 2019, vol. 9, no. 3, pp. 236–241. [In Russian]

Южно Александра Игоревна

аспирант,
Южный федеральный университет
Минобрнауки России
(Россия, г. Ростов-на-Дону,
ул. Большая Садовая, 105/42)
E-mail: a.bachmackaja@gmail.com

Juhno Aleksandra Igorevna

postgraduate student,
Southern Federal University
(105/42 Bol'shaya Sadovaya street,
Rostov-on-Don, Russia)

Образец цитирования:

Южно, А. И. Исследование алгоритма работы информационно-измерительной и управляющей системы контроля качества питьевой воды / А. И. Южно // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 4 (30). – С. 5–11. – DOI 10.21685/2307-5538-2019-4-1.