



Международная конференция «Комплексные решения очистки сточных вод»

Компания «МАЙ ПРОЕКТ» совместно с ООО «Челны-водоканал» и АО «Нижнекамскнефтехим» провела Международную конференцию «Комплексные решения очистки сточных вод» (22–25 мая 2017 г., г. Набережные Челны). В конференции приняли участие представители более 40 организаций – водоканалов, компаний-партнеров, производственных предприятий.

Темы конференции:

- Современный инжиниринг и опыт реализации НДТ (А. Смирнов, АО «МАЙ ПРОЕКТ»)
- Передовое оборудование для перекачки и перемешивания на ОСК (В. Мартышев, Хулет, Ксилем Рус)
- Проектирование сооружений по-новому: компьютерное моделирование работы очистных сооружений и биологической очистки, 3D-проектирование, АСУ (М. Есин, АО «МАЙ ПРОЕКТ»)
- Использование центрифуг для решения вопросов обезвоживания (Н. Охрименко, GEA, Westfalia Separator)
- Типовой проект цеха механического обезвоживания (Р. Бадулин, АО «МАЙ ПРОЕКТ»)



- Использование высокоэффективных воздухоуловков для нужд очистных сооружений (А. Балашов, Atlas Copco)
- Установка мембранной фильтрации Huber VRM (Д. Калачев, Huber)
- Установка фильтрации для очистки сточных вод от взвешенных веществ (Г. Вишняускас, Salsnes Filter)
- Переход на технологическое нормирование на основе показателей НДТ (Е. Соболевская, РАВВ, журнал «НДТ»)
- Опыт реконструкции ОКОС за международный грант (Е. Солдатенкова, пос. Заостровье Калининградской области).

Наиболее интересные доклады будут опубликованы в журнале «Водоснабжение и санитарная техника».

В рамках проведения конференции специалисты посетили очистные сооружения г. Набережные Челны, где они ознакомились с работой модернизированной системы биологической очистки, приборами КИПиА и АСУ, работой цеха механической очистки на базе ступенчатых и центрифуг, а также цеха УФ-обеззараживания. На очистных сооружениях АО «Нижнекамскнефтехим» был представлен новый цех механической очистки, в состав которого входят решетки грубой и тонкой очистки, винтовые конвейеры и уплотнители отбросов, щитовые затворы, пескопромыватели. Все оборудование поставлено отечественными производителями в рамках программы импортозамещения.



- Автоматизация контроля уровня осадка в отстойниках: обсуждение технологии, сравнение датчиков, практические примеры (М. Платонов, ООО «Экоинструмент»)
- Импортозамещение при реконструкции сооружений очистки сточных вод: отечественное оборудование европейского качества (А. Попов, ТПП «Экополимер»)
- Использование химических реагентов для задач очистки воды (В. Розов, ГК «Миррико»)

ВОДОПРОВОДНЫЕ СЕТИ

УДК 628.166.094.3

Методика адаптивного управления при обеззараживании воды

П. А. ГРАБОВСКИЙ¹, А. И. ГОРОБЧЕНКО²

¹ Грабовский Петр Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения, Одесская государственная академия строительства и архитектуры 659029, Украина, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4, тел.: +38048 723-23-10, e-mail: petergrab@ukr.net

² Горобченко Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, Одесская государственная академия строительства и архитектуры 659029, Украина, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4, тел.: +38048 723-23-10, e-mail: lekceyich@ukr.net

Патогенные микроорганизмы, содержащиеся в природных источниках воды, частично удаляются из нее в процессе физико-химической обработки (коагуляция, контактное осветление, фильтрование с предварительным отстаиванием или флотацией и другие методы). Окончательная их инактивация может быть достигнута окислением хлором, двуокисью хлора, гипохлоритом натрия и хлораминами, озоном, а также УФ-облучением. Рассмотрены проблемы, возникающие при реагентном обеззараживании воды. Актуальность проблем связана со снижением водопотребления, особенно в больших городах. Из-за этого увеличивается время пребывания воды в сети, и в дальних ее точках концентрация обеззараживающих реагентов недопустимо мала. Показана сложность задачи определения доз реагентов, обусловленная постоянными колебаниями водопотребления и качества воды. Смоделирована работа сети

с помощью программы EPANET 2.0. Изучено изменение концентрации дезинфектантов в воде по длине сети для «коротких» и «длинных» ее участков. Разработаны схемы дозирования для сети с двумя точками ввода обеззараживающих реагентов. Показана целесообразность адаптивного управления процессом обеззараживания и разработан его алгоритм. Внедрение предложенной схемы управления позволит не только получить экономический эффект за счет уменьшения расхода реагентов, но и повысить надежность обеззараживания воды, улучшить качество очищенной воды, создать информационную базу для оптимизации и прогнозных расчетов, повысить уровень обслуживания потребителей.

Ключевые слова: очистка воды, обеззараживание, оптимизация, адаптивное управление, алгоритм.

Вода, являясь хорошим растворителем, содержит питательные вещества для развития микроорганизмов. В составе биоты водоемов присутствуют патогенные микробы (возбудители болезней) и их антагонисты, находящиеся в определенном равновесии. Однако человек своей деятельностью нарушает это равновесие, загрязняя водоносчики и повышая опасность развития патогенных микробов.

Патогенные микроорганизмы частично удаляются из воды в процессе физико-химической обработки (коагуляция, контактное осветление, фильтрование с предварительным отстаиванием или флотацией и др.). Окончательная их инактивация может быть достигнута окислением хло-

ром, двуокисью хлора, гипохлоритом натрия и хлораминами, озоном, а также УФ-облучением.

В последние годы требования к обеззараживанию воды ужесточились: вместо двух главных индикаторов эпидемиологической безопасности (микробного числа и коли-индекса) оценку стали проводить по шести показателям, относящимся к различным группам микроорганизмов (ГСанПиН 2.2.4-171-10 «Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком». Утверждены Приказом Министерства здравоохранения Украины 12 мая 2010 г. № 400).

При обработке воды при минимальном расходе реагентов необходимо:

обеспечить эффективное обеззараживание воды на стадии обработки; не допустить образования повышенных концентраций токсичных побочных продуктов окисления в питьевой воде;

сохранить требуемое качество питьевой воды при подаче ее потребителю.

Последняя цель особенно актуальна в связи с тенденцией сокращения водопотребления, которое приводит к снижению скорости потока в трубах и, соответственно, к увеличению времени пребывания воды в сети. Поэтому в данных точках системы концентрация обеззараживающего реагента (как правило, соединений хлора) оказывается недостаточной.

Возможны два варианта решения этой проблемы [1]:

использование реагентов с длительным последствием;

дополнительное обеззараживание воды в сети.

Длительность пребывания воды в трубах зависит от протяженности трубопроводов и скорости движения воды (рис. 1). Для обнаружения проблемных участков водопроводной сети можно использовать следующие методы: манометрическая съемка сети; статистическая обработка показаний водометров потребителей; программное моделирование работы сети.

Манометрическая съемка сети – сложный и продолжительный процесс. Для получения достоверных данных необходимо выполнить замеры в разные периоды времени и для различных режимов потребления. Данные статистической обработки применимы, если все водоразборные узлы сети оборудованы водосчетчиками и потребители регулярно передают показания водометров службам водоканала.

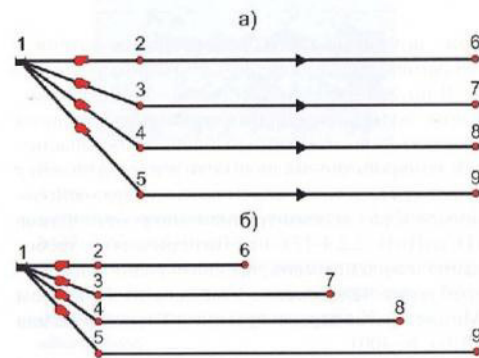


Рис. 1. Расчетная схема сети для «коротких» (а) и «длинных» (б) участков водопровода

Наиболее рациональным и наименее затратным способом обнаружения проблемных участков водопроводной сети является программное моделирование ее работы. Одна из программ моделирования работы сети – EPANET 2.0, которая позволяет не только выполнять гидравлический расчет сети, но и получать данные об изменении качества воды в водопроводной сети за заданный временной период.

Программа EPANET 2.0 моделирует объемные реакции с помощью кинетического уравнения n -го порядка, где зависимость мгновенной скорости реакции R (масса/объем/время) от концентрации описывается уравнением:

$$R = K_n C^n,$$

где K_n – коэффициент объемной реакции (положительный для реакций роста и отрицательный для реакций распада); C – концентрация вещества (масса/объем); n – порядок реакции.

Зависимость скорости поверхностных реакций от концентрации вещества в объеме воды:

$$R = (A/V) K_s C^n,$$

где A/V – площадь поверхности стенки на единицу внутреннего объема трубопровода; K_s – коэффициент поверхностной реакции.

В программе EPANET 2.0 поверхностные реакции могут иметь нулевой или первый порядок, поэтому коэффициент K_s , соответственно, имеет размерность масса/площадь/время или длина/время. Для получения корректных результатов изменения качества воды в водопроводной сети необходимо получить коэффициенты скорости реакции K изучаемых компонентов. Этот коэффициент может быть получен путем натурных экспериментов или в лабораторных условиях.

Для поиска проблемных участков и точки дополнительного ввода реагента при помощи программы EPANET 2.0 рекомендуется следующий алгоритм:

- составляется схема сети водопровода;
- задается график водопотребления в течение суток;
- создается модель сети (рис. 1);
- моделируются различные условия работы распределительной сети для выбора проблемных участков (рис. 2);

по результатам моделирования определяется точка ввода реагента.

Ниже представлены результаты моделирования работы сети по программе EPANET 2.0. Рассматривалось изменение концентрации хлора в узлах сети, соответствующих разному времени

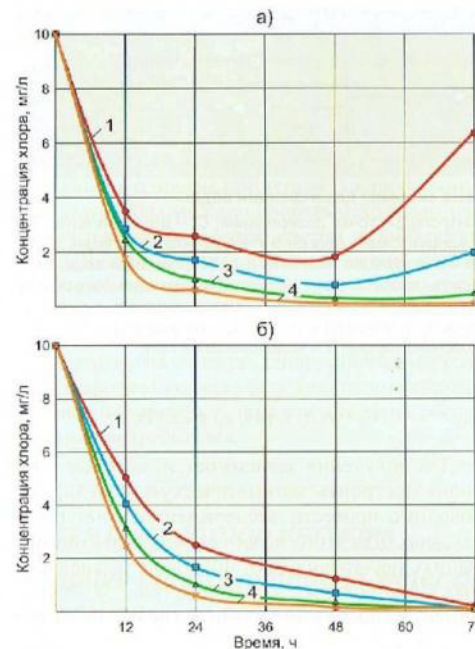


Рис. 2. Изменение концентрации хлора в сети при разном времени пребывания воды в трубах для «коротких» (а) и «длинных» (б) участков водопровода коэффициент объемной реакции K_n : 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 1,5

пребывания воды в трубе: узлы 2, 3, 4, 5 – 0 ч; узел 6 – 12 ч; узел 7 – 24 ч; узел 8 – 48 ч; узел 9 – 72 ч.

В первой расчетной схеме время пребывания обусловлено разной скоростью движения воды при одинаковой длине «коротких» участков (рис. 1, а), а во второй – разной длиной участков большей протяженности («длинных» участков) при одинаковой скорости движения воды (рис. 1, б).

Согласно результатам моделирования, при одинаковых коэффициентах реакции K_n динамика изменения концентрации хлора в сети для «длинных» и «коротких» участков водопровода различна (рис. 2), что необходимо учитывать при выборе способа управления системами дезинфекции.

Для «коротких» участков сети при малых значениях K_n отмечено увеличение концентрации хлора при продолжительном пребывании воды в трубе (рис. 2, а). Объяснить это можно тем, что на «коротких» участках длительное время пребывания воды обусловлено низкой скоростью ее движения, а при малых скоростях снижается

коэффициент массопередачи. Весь запас реагента (в потоке) расходуется на объемную реакцию с загрязняющими веществами. После окисления всех загрязнений в объеме потока «новым» порциям реагента не с чем вступать в реакцию, соответственно, происходит постепенное повышение концентрации реагента в потоке. Такое явление возможно при завышенных концентрациях реагента и в «чистой» воде (рис. 2, а).

Сложность управления работой систем дезинфекции водопроводной воды для крупных городов обусловлена следующими факторами:

значительное расстояние от точки ввода реагентов до контрольных точек;

колебания водопотребления в течение года и суток;

ухудшение качества воды в сети из-за старения и загрязнения водопроводных труб.

Перечисленные факторы влияют на хлорпоглощаемость обрабатываемой воды и, следовательно, на дозу реагента.

В настоящее время управление работой системы дезинфекции воды осуществляется следующим образом. Доза реагента определяется периодически путем лабораторных исследований (как правило, в точке ввода реагента на станции очистки воды). При этом изменение качества воды в различных точках водопроводной сети обычно не учитывается.

При завышенной дозе обеззараживающего реагента растет концентрация остаточного хлора, что негативно влияет на органолептические свойства и коррозионную активность воды. При заниженных дозах реагента возникает угроза появления в воде вредных патогенных микроорганизмов. Решить эту проблему можно с помощью метода адаптивного управления работой систем дезинфекции воды [2; 3].

При адаптивном управлении меняют параметры системы, фиксируют результат изменений и, если показатели работы системы улучшаются, проводят корректировку параметров в том же направлении. В противном случае меняется вектор корректировки. Эффективность сделанных корректировок работы системы определяется в ходе следующего цикла, а их величина и направленность – на основе предыдущего рабочего процесса. Такую методику управления можно использовать как для конкретного сооружения (например, скорого фильтра [4]), так и для всего комплекса водоочистных сооружений. Данный подход применим не только для определения параметров работы сооружений водоподготовки, но и для управления системами дозирования реагентов.

На рис. 3 показана схема дезинфекции водопроводной воды с двумя точками ввода реагента. Величина необходимой дозы хлора C_{pr} главным образом будет зависеть от двух групп факторов:

физико-химические свойства и состав водопроводной воды (хлороглощаемость X_p , температура t , pH среды, содержание взвешенных веществ g_1 , микробиологическое загрязнение E);

техническое состояние водопроводных труб (загрязнение внутренней поверхности труб g_2 , концентрация железа Fe).

Управление дозированием можно организовать по следующей схеме:

назначение начальных доз реагента при помощи «опорной математической модели» либо на основе накопленной базы данных (управление по прецедентам) [3];

определение оптимальной дозы реагента методом адаптивного управления.

В результате можно получить формулу, описывающую влияние перечисленных факторов на дозу вводимого реагента:

$$C_p = f(X_p, t, \text{pH}, g_1, g_2, E, \text{Fe}).$$

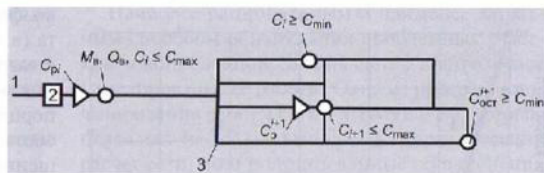


Рис. 3. Схема системы дезинфекции воды
 O точка контроля, Δ точка дозирования; C_p – доза реагента; C_i – начальная концентрация реагента в водопроводной воде; $C_{ост}$ – остаточная концентрация реагента в водопроводной воде; M_p – загрязненность исходной воды (вектор, включающий показатели, которые могут повлиять на процесс обеззараживания, – мутность воды, цветность, температура и др.); Q_w – расход воды; 1 – водовод; 2 – насосная станция; 3 – водопроводная сеть

Для получения зависимостей, которые позволят построить математическую модель, необходимо провести эксперименты в натуральных условиях. Для этого можно использовать информацию, поступающую от приборов, установленных в контрольных точках сети (рис. 3). Экспериментально можно получить кривые процесса

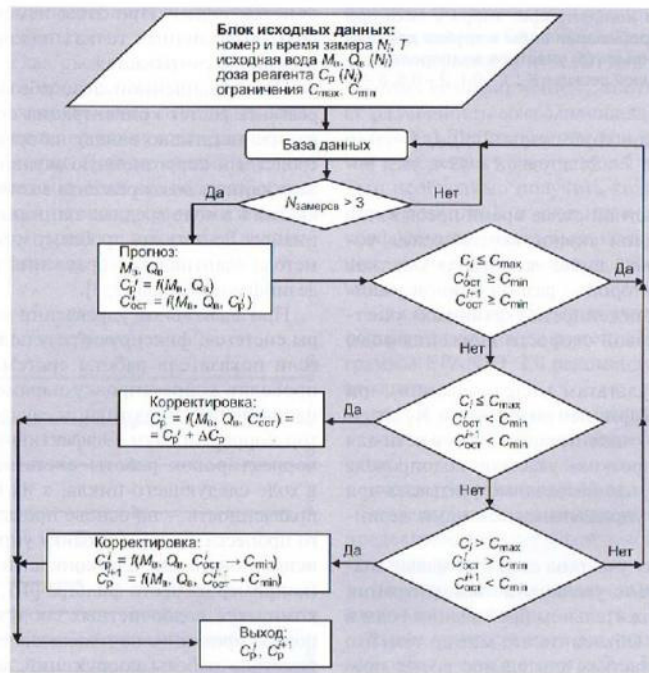


Рис. 4. Принципиальная блок-схема алгоритма адаптивного управления работой системы дезинфекции воды

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабовский П. А., Ларкина Г. М., Прогульный В. И. Пути решения проблем из-за снижения водопотребления городов // Вода. 2016. № 4 (221). С. 5–7.
2. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теория автоматического управления. – Киев: Либидь, 2007. 656 с.
3. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. 767 с.
4. Горобченко А. И. Интенсификация работы водоочистных сооружений с зернистой загрузкой путем определения рациональных значений продолжительности фильтрации и промывки: Дисс. ... канд. техн. наук. – Одесса, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, 2008. 183 с.
5. Задачи и упражнения по общей химии / Под редакцией Корovina Н. В. – М.: Высшая школа, 2003. 255 с.

распада хлора при разных температурах, но при одинаковых прочих условиях [5].

Принципиальная блок-схема алгоритма адаптивного управления представлена на рис. 4.

Выводы

При реагентной обработке природных вод, содержащих различные патогенные микроорганизмы, целесообразно использовать метод адаптивного управления работой систем дезинфекции воды. Внедрение предложенной схемы управления позволит не только получить экономический эффект за счет уменьшения расхода реагентов, но и повысить надежность обеззараживания воды, улучшить качество очищенной воды, создать информационную базу для оптимизации и прогнозных расчетов, повысить уровень обслуживания потребителей.

WATER DISTRIBUTION NETWORK

Adaptive control method in water disinfection

P. A. GRABOVSKII¹, A. I. GOROBCHENKO²

¹ Grabovskii Petr Aleksandrovich, Doctor of Engineering, Professor, Water Supply Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

4 Didrikhsena St., 650029, Odessa, Ukraine, tel.: +38048 723-23-10, e-mail: petergrab@ukr.net

² Gorobchenko Aleksei Ivanovich, Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Water Supply Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

4 Didrikhsena St., 650029, Odessa, Ukraine, tel.: +38048 723-23-10, e-mail: lekeyich@ukr.net

Pathogenic microorganisms present in natural water sources can be partially removed in the process of physical and chemical treatment (coagulation, contact clarification, filtration with presedimentation or flotation and other methods). Their final inactivation can be provided by oxidation with chlorine, chlorine dioxide, sodium hypochlorite and chloramines, ozone, as well as by UV-irradiation. The problems arising during chemical water disinfection are considered. The actuality of the problems is related to the decrease in water consumption, in big cities in particular. Owing to this the time of water retention in the distribution network increases, and in the far points the concentration of disinfectants in water is unacceptably low. The complexity of determining the chemical dosages conditioned by continuous fluctuations in the water consumption and water quality is shown. The operation of a network with the use of EPANET 2.0 software was simulated. The disinfectant concentration changes in water along the network length for «short» and «long» sections were studied. The dosing patterns for a network with two disinfectant injection points were developed. The practicability of adaptive control of the disinfection process is shown and its algorithm has been developed. The introduction of the proposed control scheme will provide for not only economic benefit by reducing chemical consumption but also for improving the reliability of water disinfection, improving the quality of the disinfected water, developing the data base for optimization and predictions, improving the customer service level.

Key words: water purification, disinfection, optimization, adaptive control, algorithm.

REFERENCES

1. Grabovskii P. A., Larkina G. M., Progulnyi V. I. [Possible ways of solving the problems arising from the decrease of urban water consumption]. Voda, 2016, no. 4 (221), pp. 5–7. (In Russian).
2. Popovich M. G., Kovalchuk O. V. Teoriya avtomaticheskogo upravleniia [Theory of automated control. Kiev, Libid' Publ., 2007, 656 p.].
3. Besekerskii V. A., Popov E. P. Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniia [Theory of automated control systems. Moscow, Nauka Publ., 1972, 767 p.].
4. Gorobchenko A. I. Intensifikatsiia raboty vodoочистnykh sooruzhenii s zernistoiia zagruzkoii putem opredeleniia ratsional'nykh znachenii prodolzhitel'nosti fil'trovaniia i promyvki [Enhancement the operation of water treatment facilities with granular media by determining rational values of filtration and backwash duration. Ph. D. thesis in Engineering Science. Odessa, Odesskaia gosudarstvennaia akademiia stroitel'stva i arkhitektury Publ., 2008, 183 p.].
5. Zadachi i uprazhneniia po obshchei khimii [Tasks and exercises in General Chemistry. Under the editorship of Korovin N. V. Moscow, Vysshiaia Shkola Publ., 2003, 255 p.].