

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ – СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Горобченко А.И., Грабовский П.А

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина.

Рассмотрены некоторые задачи эксплуатации систем водоснабжения: определение доз реагентов, выбор режимов работы насосов и управление работой фильтров. Показана целесообразность использования методов адаптивного управления для поиска оптимальных параметров.

Розглянуто деякі задачі експлуатації систем водопостачання: визначення доз реагентів, вибір режимів роботи насосів і управління роботою фільтрів. Показано доцільність пошуку оптимальних параметрів методами адаптивного управління.

Some problems of water supply systems operating are considered: the determination of reagent doses, the selection of pump operating modes and the operation of water supply filters. The practicability of method of adaptive management use for optimal parameters search is reflected.

Основной вопрос, с которым приходится сталкиваться при эксплуатации сооружений водопровода – выбор оптимального режима работы, который позволил бы обеспечить потребителя водой требуемого качества в заданном количестве при минимуме эксплуатационных затрат. Наиболее важные задачи, которые должны решаться при эксплуатации сооружений:

1. Определение доз реагентов.
2. Выбор режима работы насосных станций.
3. Управление работой фильтровальных сооружений.

Сложность управления работой систем водопровода связана со следующими причинами:

- изменениями качества исходной воды;
- колебаниями расхода воды в течение суток и года;
- ухудшением качества воды в сети из-за старения и загрязнения водопроводных труб.

Решение таких задач возможно методами адаптивного управления.

Функция цели при выборе оптимальных режимов работы при интенсификации водопроводных сооружений – эксплуатационные затраты. Для водопроводных сооружений эти затраты пропорциональны расходу воды –

$$\Phi = \Sigma W_{m.i} / Q_o,$$

где ΣW_m – суммарный суточный расход ресурсов на технологические нужды (реагенты, электроэнергия, промывная вода),

Q_o – полезная производительность станции.

Таким образом, задача оптимизации формулируется так: найти управляющие параметры:

- для фильтра – продолжительности фильтроцикла T_ϕ и промывки t_{np} ;
- дозу вводимого реагента D_p ;
- для насосов – частоту вращения электродвигателя насоса $N_{об}$.

Все эти параметры должны обеспечить минимум функции цели $\Phi = \Phi(W_m)$.

Задача управления работой фильтров должна решаться с учетом ряда ограничений:

1. Количество воды, подаваемое потребителю:

$$Q = Q_o.$$

2. Качество воды:

$$M_{доп\ мин} \leq M_\phi \leq M_{доп\ макс}$$

где $M_{доп\ мин}$, $M_{доп\ макс}$ – допустимые минимальные и максимальные значения концентрации примесей, регламентируемые нормами.

3. Технологические ограничения – продолжительность фильтроцикла не должна быть больше допустимой, диктуемой правилами эксплуатации фильтровальных сооружений:

$$T \leq T_{доп}.$$

Рассматриваемые задачи относятся к категории задач нелинейного программирования с ограничениями типа равенств и неравенств [1-3].

Довольно часто управляющие параметры назначают, исходя из опыта эксплуатации или интуитивно. При этом, естественно, нет гарантии, что назначенные параметры оптимальны.

Работу адаптивной системы управления можно представить следующим образом:

1. Меняют режим работы (т.е. изменяют величины T_ϕ , t_{np} , D_p , $N_{об}$).

2. В ходе работы осуществляется контроль основных параметров и сбор мониторинговой информации.

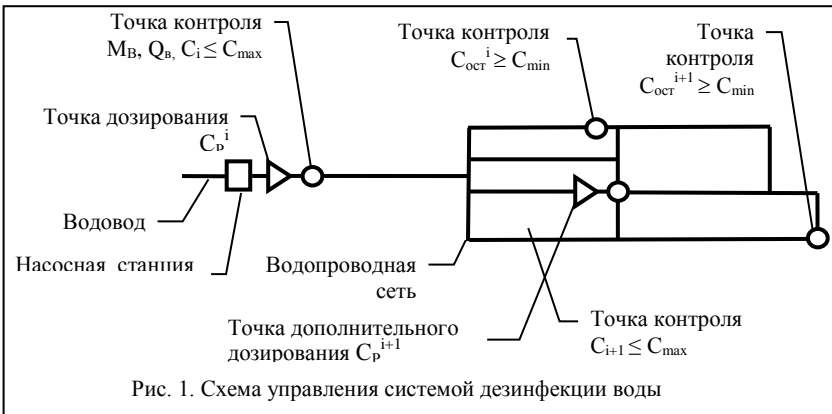
3. По заданному алгоритму осуществляется обработка оперативной информации и управление в режиме реального времени.

4. По завершению каждого фильтроцикла производится анализ результатов, полученных после внесения корректировок в работу. С использованием алгоритма поиска оптимальных управляющих параметров формируется предложение по величине и направленности последующих корректировок (вектор корректив) для получения желаемого результата.

5. Опыт, накопленный в ходе предыдущих корректировок, учитывается в следующем рабочем цикле управления.

Как показал опыт использования метода, в задаче управления фильтрами [4], скорость поиска оптимального решения сильно зависит от параметров начала поиска, т.е. чем ближе начало поиска к точке оптимума, тем быстрее находят оптимум. Поэтому оказалось целесообразным использование математических моделей (возможно, упрощенных), описывающих процесс, а также результатов предыдущих рабочих циклов, схожих по исходным данным.

Ниже (рис.1) показана схема управления дезинфекцией водопроводной воды с двумя точками ввода реагента – основной в начале сети (зоны) и дополнительной - в середине сети.



На рисунке приняты следующие условные обозначения: C_{pi} – доза реагента; C_i – начальная концентрация реагента в водопроводной воде; $C_{ост}^i$ – остаточная концентрация реагента в водопроводной воде; M_B – загрязненность исходной воды (вектор, включающий показатели, которые могут повлиять на процесс обеззараживания – мутность воды, цветность, температура, хлорпоглощаемость и т.п.); Q_B – расход воды.

Управление дозированием можно организовать по следующей схеме:

Назначение начальных доз реагента при помощи «опорной математической модели» [3].

Определение оптимальной дозы реагента методом адаптивного управления.

Для получения зависимостей, которые позволят построить математическую модель, необходимо провести активные эксперименты в натуральных условиях. Для этой цели можно использовать информацию, поступающую от приборов, установленных в контрольных точках сети (рис.1). При этом для ускорения поиска точек оптимума можно использовать готовые программы (например, Epanet) для моделирования возможных режимов работы систем дезинфекции воды, детальной отработки алгоритмов и поиска начальных условий управления.

Для определения остаточной концентрации хлора в обрабатываемой воде необходимо учесть процесс распада хлора в воде. Скорость распада хлора в воде можно рассчитать с помощью известных уравнений кинетики [5]. Экспериментально можно получить кривые процесса распада хлора, порядок реакции и формулы для расчета константы скорости реакции (k_i) при различных температурах, но одинаковых прочих условиях. Как показали эксперименты, выполненные в [6], кинетика распада хлора в воде относится к уравнениям 1-го порядка и описывается формулой [5]:

$$k_i = \frac{2,303}{t} \lg \frac{C_p}{C_{ост}}$$

Полученные константы будут использоваться «опорной» математической моделью, которая входит в алгоритм управления дозированием реагентов.

Алгоритм, по которому будет работать приведенная схема, представлен на рис.2.

Величина необходимой дозы хлора (C_{pi}) главным образом будет зависеть от двух групп факторов:

- физико-химические свойства и состав водопроводной воды (хлорпоглощаемость (Xl), температура ($t^{\circ}C$), водородный показатель среды (pH), взвешенные вещества (g_1), микробиологическое загрязнение (E));
- техническое состояние водопроводных труб (загрязнение внутренней поверхности труб (g_2), концентрация железа (Fe)).

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

$$C_p = C_{ост} + X = f(Xl, t, pH, g_1, g_2, E, Fe).$$

Подобный подход был использован в работе [6]. По результатам

экспериментальных исследований методом математического программирования была получена зависимость свойств заборной воды и дозы вводимого хлора, необходимой для обезвреживания балластных вод:

$$C_p = C_{ост} + X = (6,9 + 0,012t - 0,46pH - 0,02S + 0,18g_1 + 0,002E) + (1,24 + 0,07g_2 + 0,26Fe + 0,43v),$$

где S – соленость балластной воды; v – содержание нефтепродуктов в балластной воде.

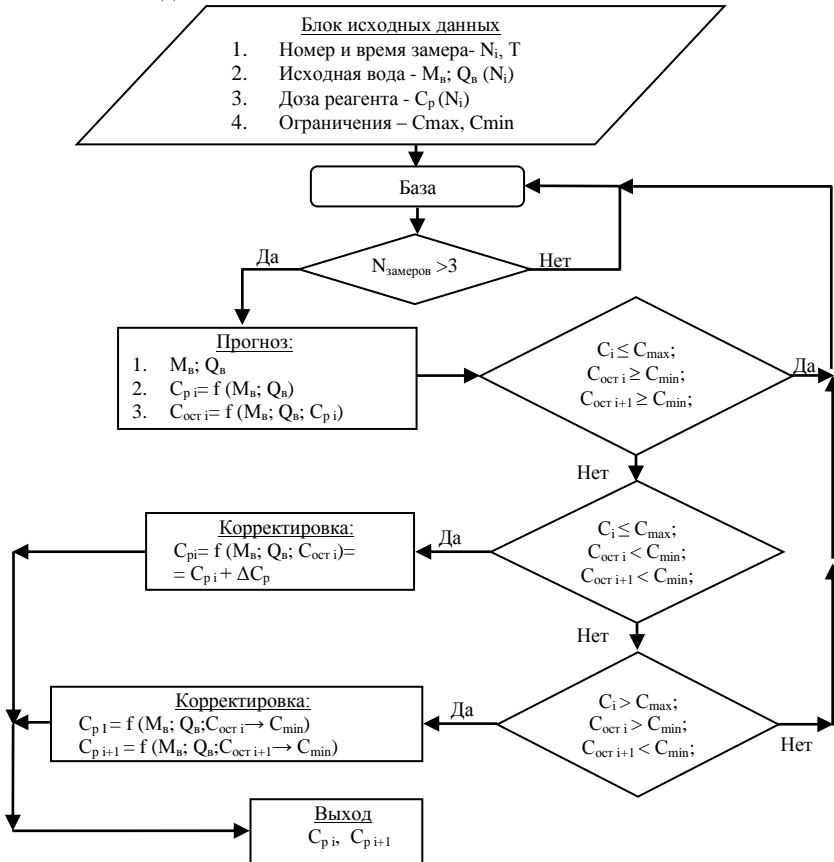


Рис. 2. Принципиальная блок-схема алгоритма оперативного управления работой системой дезинфекции воды

Предложенный способ управления работой был апробирован на фильтрах существующих водоочистных сооружениях г. Южноукраинска (Украина) [4].

Выводы:

Внедрение разработанных алгоритмов позволяет не только получить экономический эффект за счет уменьшения расхода реагентов, но и дает ряд других преимуществ, к которым относятся:

- Повышение надежности работы станции обеззараживания воды.
- Улучшение качества очищенной воды.
- Создание мощной информационной базы, которую можно использовать для оптимизации и прогнозных расчетов.
- Повышение уровня обслуживания.

1. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. - М.: Мир, 1975. –534с.

2. Попович М.Г., Ковальчук О.В. (2007) Теория автоматического управления: Учебник. – 2е издание, Издательство „Либідь”, Киев – 656 с.

3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука,1972. – 767.

4. Горобченко А.И. Интенсификация работы водоочистных сооружений с зернистой загрузкой путем определения рациональных значений продолжительности фильтрования и промывки. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук, – Одесса: ОГАСА, 2008. - 183с.

5. Задачи и упражнения по общей химии / Под ред. Н.В. Коровина. М.: Высш. шк., 2003. - 255 с.

6. Сустретова Н.В. Обеспечение экологической безопасности балластных вод на судах смешанного «река-море» плавания. Автореф. дис. канд. техн. наук, – Нижний Новгород: 2011.