

ХЛОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА КАК ОБЪЕКТ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

И. С. Еремеев, С. П. Караяннис

Киев

Хлорирование питьевой воды на городских водопроводах используется для уничтожения вредоносных бактерий, а также для осветления воды и уничтожения неприятных запахов и привкусов. В настоящее время хлорирование производится либо по принципу пропорционального дозирования (разомкнутые системы, системы с регулированием по возмущению), либо по принципу регулирования по отклонению, где в качестве регулируемой величины используется величина остаточного хлора в системе за смесителем. Указанные принципы регулирования имеют ряд серьезных недостатков, основной из которых — отсутствие эффективного контроля за протеканием процесса хлорирования и гибкого воздействия на характер этого процесса.

Изучение механизма процесса хлорирования, а также зависимости остаточного хлора в воде от величины дозы введенного хлора позволяет подметить ряд моментов, которые можно использовать для создания более эффективных самонастраивающихся систем хлорирования.

В зависимости от наличия тех или иных примесей в обрабатываемой воде можно выделить два типа процессов хлорирования.

Один из них, протекающий при отсутствии в воде аммиака, имеет зависимость величины остаточного хлора от количества введенного в воду хлора, приведенную на рис. 1 [1]. Кривая *OABC* имеет три четко разграниченных участка — нулевой *OA*, нелинейный *AB* и линейный *BC*. На участке *OA* весь хлор расходуется на поддержание реакции окисления — восстановления. На участке *AB* вводимый в воду хлор частично расходуется на взаимодействие с примесями и взвешенными частицами, находящимися в воде, а частично переходит в раствор в виде свободного (остаточного) хлора.

Поскольку для данного объема воды и определенного числа примесей и взвешенных частиц в этом объеме количество хлора, расходуемого на окислительно-восстановительные реакции и на поглощение взвешенными частицами, также вполне определено, то после достижения дозой вводимого хлора некоторого значения ее дальнейшее увеличение будет приводить к пропорциональному росту количества остаточного хлора в воде.

Точка *B* перехода нелинейной части характеристики в линейную соответствует оптимальному режиму работы хлораторной установки, так как она соответствует той наименьшей дозе хлора, с помощью которой при данных условиях можно достичь максимального окисления и разрушения примесей и взвешенных частиц в воде. Так как хлоропогло-

щаемость воды в значительной мере меняется с изменением ее состава, температуры и времени контакта с хлором (см. рис. 1, а, б, в), а расход воды в единицу времени также может существенно колебаться, то необходимо устройство, которое бы в меняющихся условиях поддерживало процесс хлорирования в окрестностях точки B или ей соответствующих точек B_1 , B_2 и т. д.

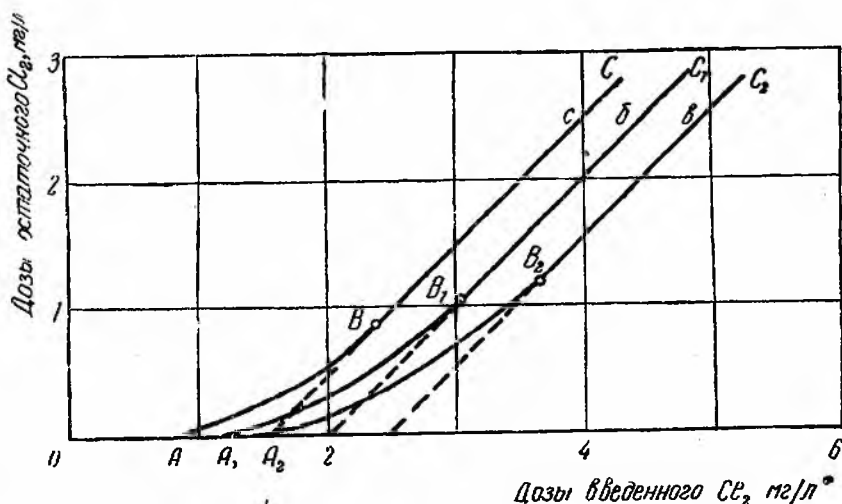


Рис. 1. Кривые зависимости между остаточным и введенным хлором.

На крупных городских водопроводах широко используется метод хлорирования с аммонизацией. Это обусловлено тем, что аммиак способствует стабилизации остаточного хлора в воде. Зависимость количества остаточного хлора в воде от величины введенного хлора при наличии в воде аммиака приведена на рис. 2 [1]. Как видно из кривых рис. 2, при непрерывном повышении введенных доз хлора величина остаточного хлора в воде первоначально растет, затем начинает падать и, наконец, опять начинает увеличиваться. Это обусловлено следующим. Вначале (кривая OA) в воде образуется монохлорамин, который с ростом доз вводимого хлора постепенно разлагается (кривая AB). После полного разложения монохлорамина (за точкой перегиба B) в воде содержится только свободный хлор. В зависимости от содержания в воде разных органических соединений максимумы и минимумы кривой остаточного хлора смещаются. Как и в рассматриваемом ранее случае, точка перегиба B отвечает оптимальному режиму хлорирования, ибо именно в этой точке достигается наиболее полное окисление и разложение органических примесей и других загрязнений.

Как показали исследования [1, 2], в точке перегиба устраняется большинство привкусов и запахов, значительно снижается цветность воды, эффективно происходит обеззараживание. В то же время при работе в точке перегиба достигается минимальное содержание хлора в воде, что способствует улучшению вкусовых качеств воды. При этом отпадает необходимость в последующем дехлорировании, намного снижается потребность в дозах коагулянта для осветления воды. Все это способствует повышению эффективности работы хлораторных установок.

Наконец, поддержание процесса хлорирования в окрестностях точки перегиба соответствует хлорированию относительно большими дозами

хлора, что способствует более быстрому уничтожению бактерий за более короткий срок, что позволяет использовать без опасности заражения воду на меньших удалениях от хлораторной установки. Как и в первом случае, поддерживать оптимальный режим работы возможно лишь с помощью автоматического оптимизатора.

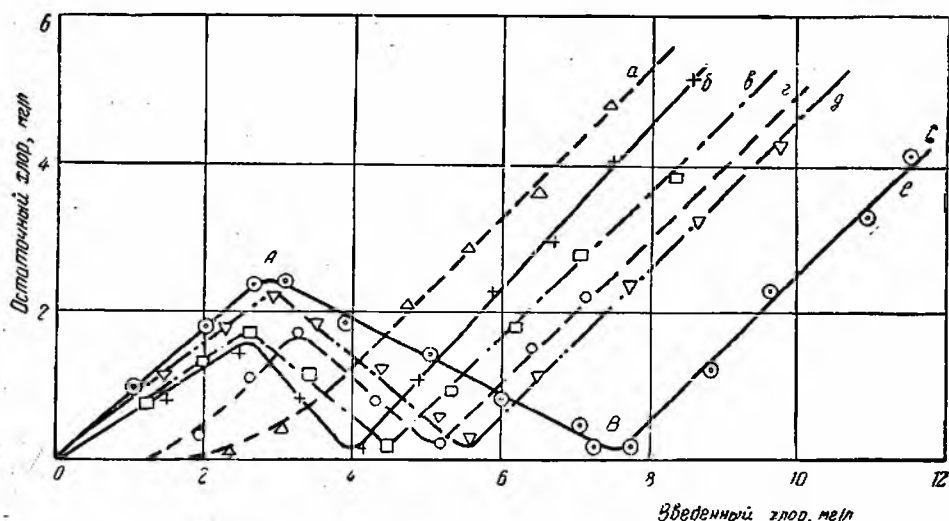


Рис. 2. Зависимость между остаточным и введенным хлором при хлорировании воды, содержащей аммиак:

а — аммиак отсутствует; б — аммиак; в — аммиак + машинное масло; г — аммиак + дизельное топливо; д — аммиак + крезол; е — аммиак + фенол.

В зависимости от характера протекания процесса хлорирования можно использовать несколько методов поиска оптимального режима.

1. Хлорирование при монотонно изменяющемся содержании остаточного хлора в функции от изменения дозы вводимого в воду хлора (рис. 1).

А. Простейшим методом поиска оптимального режима работы (т. е. окрестностей точки В) является метод, основанный на предположении, что наклон кривых за точкой перегиба постоянен и заранее известен, т. е. $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{const}$. В этом случае система поиска работает в автоколебательном режиме по следующему алгоритму:

$$\operatorname{sign} x = \operatorname{sign} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi),$$

где $\operatorname{sign} x$ — знак управляющего воздействия;

$\operatorname{tg} \varphi$ — текущее значение тангенса угла наклона кривой к оси абсцисс (т. е. производной величины остаточного хлора по управляющему воздействию) и $\operatorname{sign}(0) = -1$.

Поскольку хлораторная установка обладает значительной инерционностью и транспортным запаздыванием, рационально использовать для поиска оптимального режима не непрерывную систему, а систему шагового типа, в которой первые производные заменяются первыми разностями. При этом алгоритм поиска оптимума принимает следующий вид:

$$\operatorname{sign} x_{n+1} = \operatorname{sign} \left(K - \frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} \right) = \operatorname{sign} \left(K - \frac{\Delta y_n}{\Delta x_n} \right),$$

где K — постоянная, характеризующая наклон кривой за точкой перегиба.

Так как изменение величины управляющего воздействия за один шаг работы устройства может быть стабильным во всем диапазоне работы оптимизатора, т. е. $\Delta x_n = \text{const}$, приведенное выше выражение можно упростить:

$$\text{sign } x_{n+1} = \text{sign } (K_1 - \Delta y_n),$$

где $K_1 = K\Delta x_n$, причем $\text{sign } (0) = -1$.

При этом для реализации оптимизатора необходим лишь элемент логического действия, сравнивающий текущее значение первой разности регулируемого параметра Δy_n с некоторой постоянной величиной K_1 .

Б. Если наклон кривых за точкой перегиба неизменный, но от одной кривой к другой этот наклон меняется, то поиск оптимального режима может производиться по следующему алгоритму:

$$\text{sign } x = \begin{cases} +1 & \text{при } \bar{A} \vee A \cdot B \cong 1 \\ -1 & \text{при } A \cdot B \equiv 1, \end{cases}$$

где $A = y$ — регулируемый параметр, причем

$$A = 1 \text{ при } \bar{y} > 0 \ (\bar{A} = 0)$$

$$\text{и } A = 0 \text{ при } y = 0 \ (\bar{A} = 1),$$

$B = |\Delta^2 y|$ — абсолютное значение второй разности регулируемого параметра,

причем $B = 1$ при $|\Delta^2 y| > 0 \ (\bar{B} = 0)$

$$B = 0 \text{ при } \Delta^2 y = 0 \ (\bar{B} = 1).$$

Как видно из приведенного алгоритма, элемент логического действия при таком методе поиска оптимального режима более сложен, чем в первом случае. Сложнее и оптимизатор в целом, так как здесь уже необходимо оборудование для получения второй разности.

II. Хлорирование при наличии точек экстремума на кривой (рис. 2).

Здесь задача оптимизации сводится к поиску и удержанию второго (нижнего) экстремума функции. С этой целью в оптимизаторе должны сочетаться устройство поиска экстремума и устройство, инвертирующее режим поиска таким образом, что пока не достигнут первый экстремум (максимум), должен вестись поиск максимума функции, а после изменения знака разности (т. е. после перехода через первый экстремум) оптимизатор должен продолжить движение системы в сторону минимума функции и в дальнейшем удерживать этот минимум.

Алгоритм работы оптимизатора при этом можно записать в следующем виде:

$$\text{sign } x_{n+1} = \text{sign } \Delta y_n \text{ sign } \Delta x_n \text{ sign } z,$$

где

$$z = \bar{C} (A\bar{B} \vee z),$$

C — сигнал включения регулятора,

$$A = \text{sign } \Delta y_{n-1}, \quad B = \text{sign } \Delta y_n,$$

причем

$$\text{sign}(z)_{z=0} = +1 \text{ и } \text{sign}(z)_{z=1} = -1.$$

Применение самонастраивающихся регуляторов, работающих по одному из описанных выше алгоритмов, позволит существенно повысить эффективность хлораторных установок и улучшить качество питьевой воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Кульский, Е. М. Калининчук. Кондиционирование питьевой воды. Изд-во лит-ры по строительству, 1962.
 2. С. Н. Черкинский, Н. Н. Трахтман. Обеззараживание питьевой воды. Медгиз, 1962.
-