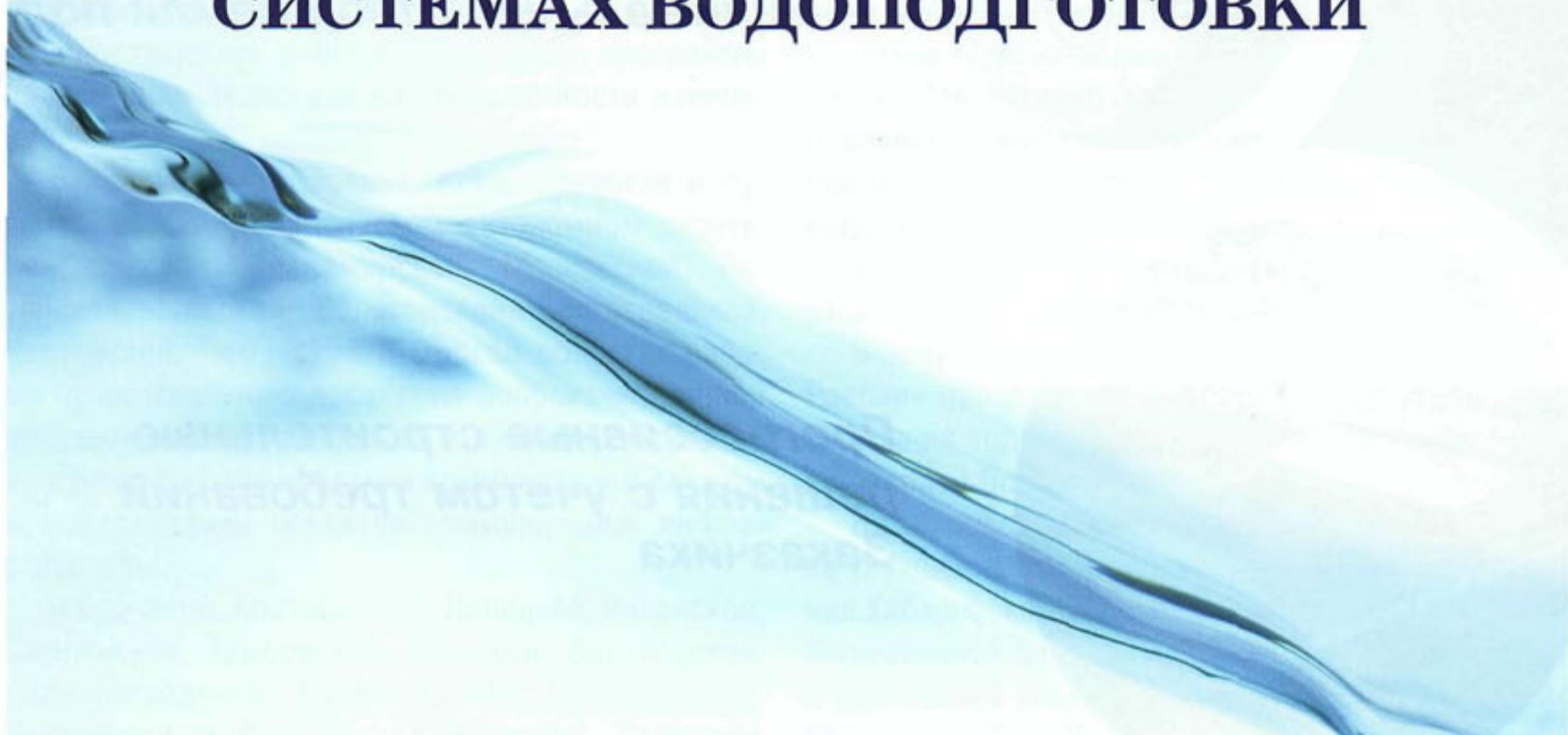


ДИНАМИКА ИНЖЕКЦИОННЫХ И ЭЖЕКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ

**Кожевников А.Б.**

канд. техн. наук, генеральный директор

Петросян О.П.

канд. физ.-матем. наук, доцент КФ

ФСП «КРАВТ» г. Калуга

МГТУ им. Н.Э. Баумана г. Калуга

Основными способами внедрения реагентов в воду, подлежащую очистке и обеззараживанию, являются инжекция и эжекция. Разработаны алгоритм и программа автоматического управления процессом дозирования газообразного хлора в обрабатываемую воду, охватывающие как процесс эжекции хлора в воду и получение хлорной воды, так и процесс инжекции хлорной воды в поток хлорируемой воды. Определено минимально допустимое расстояние от точки инжекции хлорной воды в водовод до точки взятия пробы воды из водовода, что необходимо для нормального функционирования системы автоматического регулирования расхода хлора.

1. МЕСТО ИНЖЕКЦИОННЫХ И ЭЖЕКЦИОННЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССАХ ВОДОПОДГОТОВКИ

Основными способами внедрения реагентов в воду, подлежащую очистке и обеззараживанию, являются инжекция и эжекция. По этой причине для построения надежных систем автоматического регулирования на технологических операциях водоподготовки и автоматической системы управления всем технологическим процессом необходимо смоделировать динамику инжекции и эжекции, опираясь на математическую физику и химию этих

процессов [1,2], разработать математическую модель процессов инжекции и эжекции реагентов в поток воды и иных растворов. В принципе именно математическая модель динамики любого объекта позволяет решить задачи идентификации каждого объекта водоподготовки, как правило, через активный или пассивный эксперимент, анализа протекающих в нем процессов, оптимизации конструкций устройств, а также синтеза систем регулирования и автоматического управления технологическим процессом в целом.

2. ИНЖЕКЦИЯ И ЭЖЕКЦИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ХЛОРОМ

Обеззараживание воды хлором на современных станциях водоподготовки осуществляется в два этапа. На первом этапе эжекцией газообразного хлора в воду с использованием хлораторов получают так называемую хлорную воду, которую затем (на втором этапе) инжектируют насосом в водовод, где движется поток обрабатываемой воды. Составим математическую модель каждого из этих процессов.

2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИНЖЕКЦИИ

Инжекция хлорной воды в водовод осуществляется с помощью насоса, обеспечивающего прокачивание воды, взятой трубопроводом из водовода через эжектор и далее вкачивание хлорной воды обратно в водовод. Для технического обеспечения таких процессов насос должен обеспечивать в точке ввода давление хлорной воды более высокое, чем давление потока воды в этой точке водовода. Этим гарантируется и эжекция, и инжекция.

Для повышения эффективности инжекции ввод хлорной воды в водовод осуществляется с помощью специальной конструкции устройства ввода, благодаря которому хлорная вода вводится в поток хлорируемой воды через отверстия устройства ввода по направлению движения потока (рис. 1). При этом обеспечивается минимальное сопротивление потока вводу хлорной воды.

Благодаря устройству ввода струи хлорной воды попадают в поток воды с меньшим содержанием хлора, что приводит к перемещению частиц хлора из хлорной воды в хлорируемую воду, т.е. имеет место массообменный процесс между двумя потоками через границу их раздела. Причем динамика этого процесса (изменение во времени τ) имеет место, как по продольной координате x , так и по поперечной его пространственной координате r .

При математическом описании такого процесса уместно принять цилиндрическую систему координат.

Назовем массосодержанием удельное количество вещества, участвующего в массообмене. В нашем случае это есть хлор. Обозначим через — распределенное массосодержание хлора в потоке инжектируемой хлорной воды, а через — среднее массосодержание хлора в том же потоке.

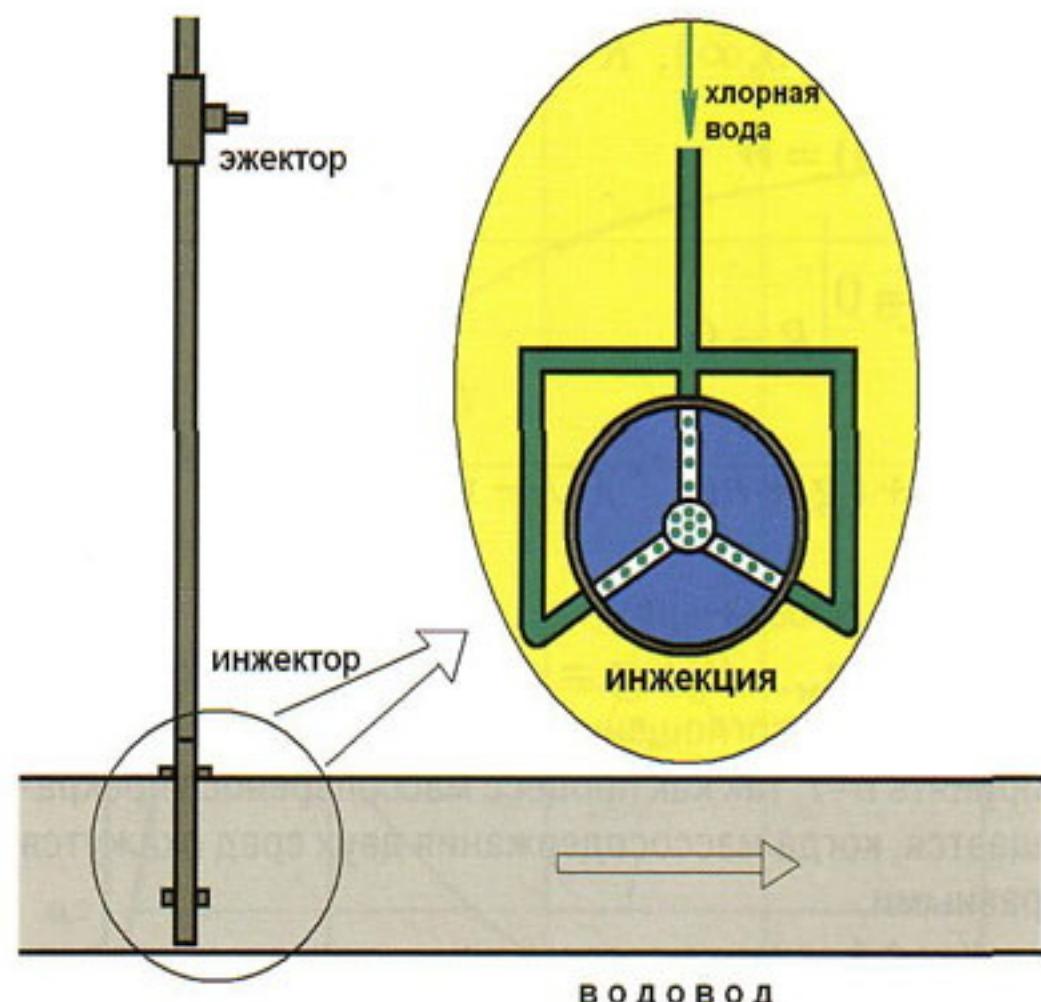


Рисунок 1
Конструкция устройства ввода хлорной воды для повышения эффективности инжекции.

Теоретический расчет изменения скорости инжектируемой жидкости при ее транспортировании по трубопроводу потоком вызывает серьезные трудности. Поэтому на основе анализа кинетики таких процессов уместно принять следующую аппроксимацию ее изменения:

$$V(x) = V_0 + V_1(1 - e^{-\sigma x}) \quad (1)$$

где V_0 — начальная скорость каждой струи инжектируемой жидкости, т.е. при $x=0$; $V_1 = V_m - V_0$; V_m — ее скорость в установившемся движении; σ — коэффициент возрастания скорости. Величины V_1 , V_m , σ уточняются экспериментально.

В соответствии с (1) имеем:

$$x = \frac{1}{\sigma} \ln \left[\left(1 - \frac{V_1}{V_m} \right) e^{\sigma V_m x} + \frac{V_1}{V_m} \right]. \quad (2)$$

Введя безразмерную переменную $R = r/R_0$, где R_0 — радиус сечения струи инжектируемой жидкости, сформулируем исходную задачу в цилиндрической системе координат.

Необходимо определить:

$$W(x) = 2 \int_0^1 R U(R, x) dR \quad (3)$$

где $U(R, x)$ является решением дифференциального уравнения [1,2,3].

$$(V_m - V_1 e^{-\sigma x}) \frac{\partial U}{\partial x} = b_m \left(\frac{\partial^2 U}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial R} \right) \quad (4)$$



$$\left. \begin{array}{l} \text{При } x \in [0, \infty), R \in [0, 1] \text{ и краевых условиях} \\ U(R, 0) = W^* \\ \frac{\partial U}{\partial R} = 0 \Big|_{R=0}, \\ \frac{\partial U}{\partial R} + (g + he^{-\lambda x})(U - vW_B) = 0 \Big|_{R=1}. \end{array} \right\} (5)$$

Здесь обозначено:

$b_M = a_M / R_0^2$; $g = a_0 R_0 / \lambda_M$; v — коэффициент массопоглощения. В данном случае можно принять $v=1$, так как процесс массопереноса прекращается, когда массосодержания двух сред окажутся равными.

Коэффициент массоотдачи α_M существенно влияет на динамику массообменных процессов и зависит от многих параметров. В данном случае он зависит, например, от температуры хлорной и хлорируемой воды, значений pH и Redox каждого потока воды, исходного содержания в хлорируемом потоке воды диффундирующего вещества W_B — хлора (например, при вторичном хлорировании), разности скоростей обменивающихся массой потоков $\Delta V = V_B - V$. Ввиду того, что ΔV может изменяться значительно в таких процессах, нецелесообразно принимать α_M постоянным, так как в реальных условиях этот коэффициент существенно изменяется, убывая по закону, близкому к экспоненциальному. Поэтому принято следующее приближение:

$$\alpha_M(x) = a_0 + b_0 e^{-\lambda x} \quad (6)$$

где a_0 — значение $\alpha_M(x)$ при: $x \rightarrow \infty$ ($\tau \rightarrow \infty$); $(a_0 + b_0)$ — значение α_M при $x=0$; ($\tau=0$); λ — коэффициент, характеризующий убывание $\alpha_M(x)$. Коэффициенты a_0 , b_0 и λ уточняются экспериментально. В краевых условиях (5) коэффициент массоотдачи записан с учетом введения безразмерной переменной R .

Так как массообмен происходит в закрытой системе, то для любого сечения трубопровода справедливо следующее уравнение материального баланса

$$W(x) + qW_B(x) = G^*, \quad (7)$$

где $G^* = W^* + qW_B^*$, $q = \frac{Q_B}{Q}$, причем Q_B — расход воды в водоводе и Q — расход инжектируемой хлорной воды.

О средняя исходное дифференциальное уравнение (4) в соответствии с формулой (3) при краевых условиях (5) и допуская, что:

$$\frac{\partial U}{\partial R} \Big|_{R=1} = (g + he^{-\lambda x})[vW_B(x) - W(x)], \quad (8)$$

с учетом (7) получим следующее дифференциальное уравнение относительно искомой функции:

$$(V_m - V_1 e^{-\sigma x}) \frac{\partial W}{\partial x} + (1 + v\varepsilon)(c' + c'' e^{-\lambda x})W = v\varepsilon G^*(c' + c'' e^{-\lambda x}) \quad (9)$$

при начальном условии $W(0) = W^*$, где $\varepsilon = 1/q$; $c' = ag$; $c'' = ah$; $a = 2a_M / R_0^2$. Заметим, что полученное дифференциальное уравнение справедливо и при иной конструкции инжектора, так как отражает динамику изменения осредненного массосодержания. Следует только иметь ввиду, что с изменением конструкцией инжектора будут изменяться те параметры, входящие в коэффициенты этого уравнения, которые определяются именно конструкцией устройства.

Введя функцию:

$$\theta(x) = \frac{W(x) - W^*}{v\varepsilon G^* - (1 + v\varepsilon)W^*}, \quad (10)$$

получим дифференциальное уравнение для обобщенной характеристики среднего массосодержания:

$$(V_m - V_1 e^{-\sigma x}) \frac{\partial \theta}{\partial x} + (1 + v\varepsilon)(c' + c'' e^{-\lambda x})\theta = c' + c'' e^{-\lambda x} \quad (11)$$

с начальным условием $\theta(0) = 0$, точное решение которого выражается следующей зависимостью:

$$\theta(x) = ce^{-c'(1+v\varepsilon)x} (V_m - V_1 e^{-\sigma x})^{\frac{c'(1+v\varepsilon)}{n_0}} [F_1(x)]^D F_2(x) + \frac{1}{1 + v\varepsilon}. \quad (12)$$

Здесь обозначено:

$$F_1(x) = (-1)^{m+1} \frac{e^{\xi x} + B}{(e^{\xi x} - B) \prod_{k=1}^{n_0-1} \Phi_k(x)}; \quad (13)$$

$$F_2(x) = e^{\left[2D \sum_{k=1}^{n_0-1} \sin\left(\frac{km\pi}{n_0}\right) \arctg \frac{e^{\xi x} - B \cos\left(\frac{k\pi}{n_0}\right)}{B \sin\left(\frac{k\pi}{n_0}\right)} \right]};$$

$$\Phi_k(x) = 1 - \frac{2}{B} e^{\xi x} \cos\left(\frac{k\pi}{n_0}\right) + \frac{1}{B^2} e^{\xi^2 x}, \quad k = 1, \dots, n_0 - 1;$$

$$C = -(V_m - V_1)^{\frac{c'(1+v\varepsilon)}{2n_0}} \left\{ (1 + v\varepsilon) [F_1(0)]^D F_2(0) \right\}^{-1};$$

$$D = \frac{AC''(1+v\varepsilon)}{2n_0}; \quad B = \left[\frac{V_1}{V_m} \right]^{\frac{1}{a_1}}; \quad A = \frac{1}{\xi} \left[\frac{V_m}{V_1} \right]^{\frac{a_2}{a_1}};$$

$$\frac{n_0}{m} = \frac{a_1}{2}; \quad m = a_1 - a_2; \quad a_1 = \frac{\sigma}{\xi}; \quad a_2 = \frac{\lambda}{\xi};$$

ξ — масштабный множитель, выбираемый из условия, чтобы при известных значениях σ и λ величины a_1 и a_2 являлись целыми числами.

Таким образом, среднее массосодержание потока хлорной воды рассчитывается по формуле:

$$W(x) = W^* + [v\varepsilon G^* - (1+v\varepsilon)W^*] \theta(x). \quad (13)$$

Рассмотренный вариант расчета среднего массосодержания базируется на допущении (8), позволяющем получить дифференциальное уравнение (11), которое имеет точное решение. К числу недостатков такого расчета следует отнести громоздкость выражения (12), что затрудняет его анализ и применение, например, для получения передаточной функции системы и ее частотных характеристик.

Эти недостатки можно устранить, если расчет среднего массосодержания выполнить по методике, изложенной в [3]. Найдем приближенное решение уравнения (11) в пределах заданной длины трубопровода l , т.е. при $X \in [0,1]$. Для этого преобразуем это уравнение по Лапласу, ограничив верхний предел интегрирования значением $X=1$. При этом получим

$$\int_0^1 K(s, X) \theta_c(X) dX = F(s) + A(s) \theta_c(1), \quad (14)$$

где:

$$K_0(s, X) = e^{-sX} \left[s - \delta_v(s+a_1) e^{-a_1 X} + b_1 (C' + C'' e^{-a_2 X}) \right];$$

$$F(s) = \frac{C'}{s} + \frac{C''}{s+a_2};$$

$$A(s) = \delta_v e^{-(s+a_1)} - e^{-s}.$$

Правая часть полученного интегрального уравнения содержит одно «лишнее» граничное значение $\theta_c(1)$, исключив которое будем иметь:

$$\int_0^1 [A(p)K_0(s, X) - A(s)K_0(p, X)] \theta_c(X) dX = A(p)F(s) - A(s)F(p) \quad (15)$$

Результат приближенного расчета $\theta_c(X)$ по интегральному уравнению (15) приведен на рис.2, из которого следует достаточная для практических целей точность приближения получена уже при трех членах аппроксимирующего ряда экспоненциального вида.

Возможен и иной вариант решения рассматриваемой задачи. Если преобразовать исходную краевую задачу (4), (5) по Лапласу относительно времени $\tau \in [0, \infty)$ и осреднить полученное изображение по $R \in [0, l]$, то получим следующее интегральное уравнение:

$$\int_0^\infty e^{-s\tau} \theta_{BC}(\tau) d\tau = \frac{1}{s} - \left[\frac{1}{s} + (1+v\varepsilon) \tilde{A}(s) \right] \sqrt{\frac{a}{s}} \cdot \frac{D_2(s)}{D_0(s)} \quad (16)$$

где $\tilde{A}(s)$, $D_0(s)$, $D_2(s)$ — известные функции [3], а $\theta_{BC}(\tau)$ такова, что среднее массосодержание потока $W(x)$ с учетом формулы (2) можно вычислить по

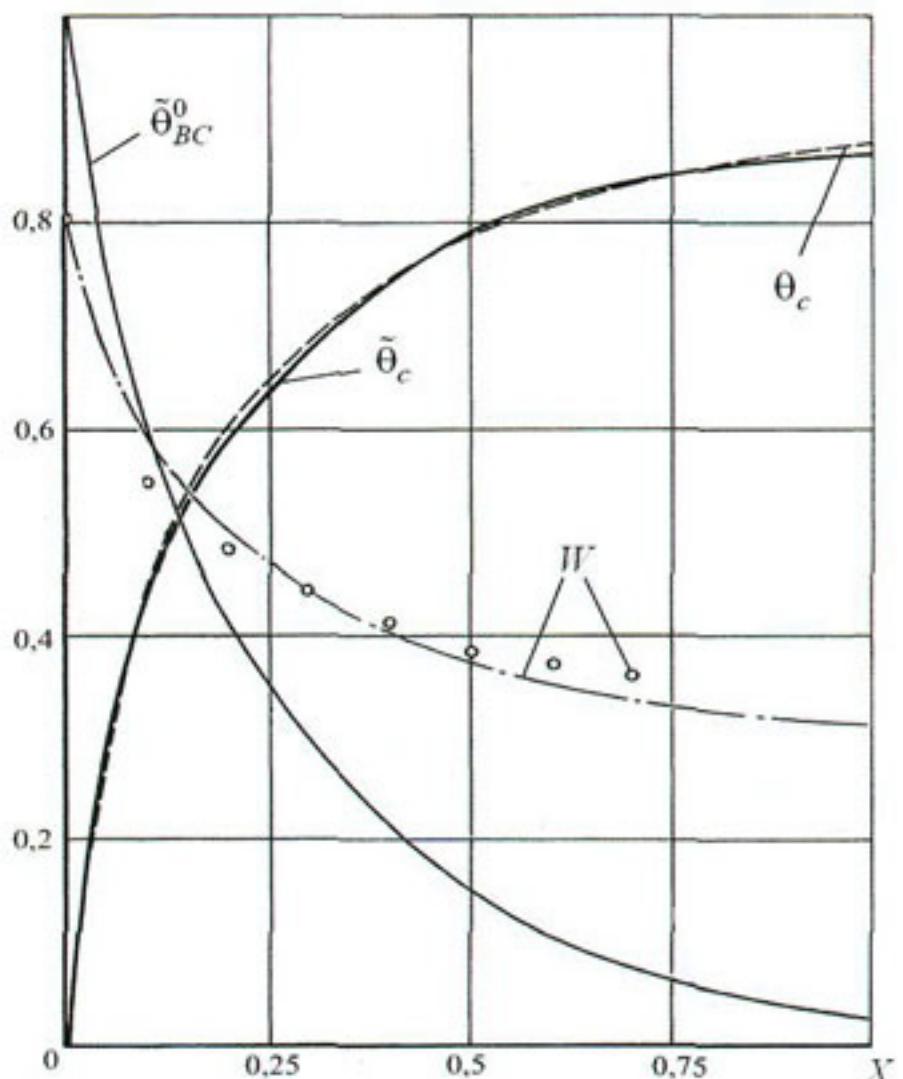


Рисунок 2
Результат приближенного расчета $\theta_c(X)$ по интегральному уравнению (15).

формуле:

$$W(x) = W^* + \left[\frac{v\varepsilon G^*}{(1+v\varepsilon)} - W^* \right] \left[1 - \tilde{\theta}_{BC}^0(x) \right] \quad (17)$$

Для обобщенной динамической характеристики $\tilde{\theta}_{BC}^0(X)$ как функции обобщенной продольной координаты X получено простое приближенное выражение в виде экспоненциального ряда на основе интегрального уравнения (16) с использованием процедур спектральной оптимизации [3,4], что отражено на рис. 2. На том же рисунке приведены расчетная кривая $W(X)$ согласно формулы (17), и экспериментальные значения этой величины.

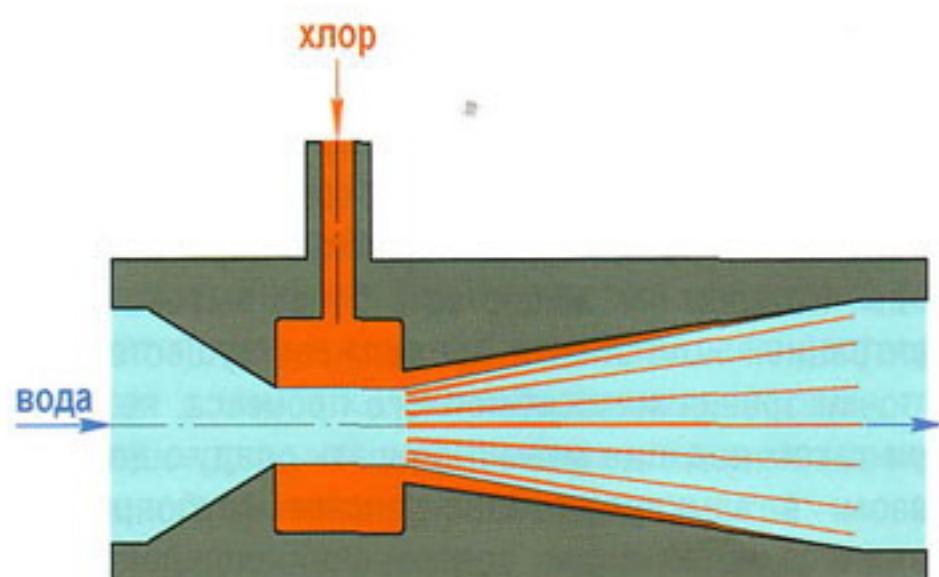


Рисунок 3
Движение потока воды и хлора в диффузоре.

Каждое из решений (12), (13), (17) получено с учетом принятия того или иного допущения, упрощающего решение исходной краевой задачи, поэтому применение каждого из них возможно и может оказаться предпочтительным в зависимости от существа решаемой практической задачи.

В принципе нас интересует динамика изменения массосодержания хлора в потоке хлорируемой воды $W_B(x)$. Выражение для этой функции нетрудно получить на основе полученных результатов для $W(x)$ если учесть формулу (7), а именно:

$$W_B(x) = \varepsilon [G^* - W(x)] \quad (18)$$

2.2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭЖЕКЦИИ

Прежде чем сформулировать исходную задачу, конкретизируем особенности, характеризующие специфику массообмена в процессе эжекции.

В диффузоре эжектора происходит внедрение частиц хлора в поток воды и его растворение благодаря их соприкосновению при различных скоростях движения, и далее в трубопроводе продолжается только растворение хлора в потоке воды, так как процесс внедрения завершен в диффузоре. Отсюда следует что массообмен (растворение хлора в воде) начинается с момента попадания хлора вместе с потоком воды в диффузор, причем динамика этого процесса также имеет место как по продольной координате x , так и по поперечной его пространственной координате r .

Смоделируем физическую картину движения потока воды и потока хлора в диффузоре. Для конструкции эжектора на рис.4 можно предположить, что будучи втянутым в расширяющуюся струю воды хлор занимает образовавшиеся при этом пустоты, образуя собственные разделенные водой струи, которые, соприкасаясь с водой, внедряются и растворяются в сопровождающем их потоке воды.

При выходе из диффузора струи хлора полностью обволакиваются водой, в связи с чем здесь имеет место процесс растворения хлора в потоке воды. Но хлор как вещество с более высокой концентрацией компонента продолжает существовать с точки зрения массообменного процесса, который при таком подходе можно описать следующим образом: в замкнутом пространстве трубопровода движется поток воды, содержащий определенную среднюю массу хлора (например, если было первичное хлорирование), в котором распределены струи иного вещества на 100% состоящего из хлора.

При математическом описании такого процесса уместно также принять цилиндрическую систему координат. Причем динамика процесса также определяется дифференциальным уравнением (4) и аналогичными (5) краевыми условиями, но естественно с учетом специфики процесса эжекции с точки зрения значений параметров, входящих в эти уравнения.

Так при написании дифференциального уравнения (4) и краевых условий (5) для процесса эжекции принято, что сечение диффузора цилиндрическое с радиусом r . Это вполне допустимо, так как его конусность очень мала. Это позволяет уйти от конической системы координат к цилиндрической и тем самым существенно упростить формулировку исходной задачи и, как будет показано далее, найти благодаря этому ее решение. Более того, если процесс массопоглощения медленный и выходит за пределы диффузора эжектора, продолжаясь в трубопроводе, что часто имеет место, то такой подход оправдан и по существу протекающих массообменных процессов.

Более того, существенно усложняется математическое описание скорости движения хлора и коэффициента массоотдачи, ввиду практической невозможности точного предположения их изменения в диффузоре. Однако, если учесть, что представляют интерес осредненные по пространственной координате характеристики процесса, то можно принять и здесь их математическое описание формулами (1) и (6), так как характер их изменений они отражают, а неточности задания этих параметров процесса могут быть компенсированы при идентификации процесса на основе экспериментальных исследований.

Окончательно сделаем следующий вывод. Как процесс инъекции, так и процесс эжекции в технологии обеззараживания воды газообразным хлором имеют идентичные математические описания, так как представляют собой сходные массообменные процессы, протекающие в цилиндрической системе координат.

3. ИНЖЕКЦИЯ ИЛИ ЭЖЕКЦИЯ РЕАГЕНТОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ

Оценим возможности применения разработанной математической модели при инъекции и эжекции иных реагентов.

Гипохлорит, применяемый для обеззараживания воды, используется для этих целей в виде щелочного раствора с определенной концентрацией хлора, который собственно и обеспечивает дезинфекцию

воды. Раствор гипохлорита вводят в воду либо дозирующими насосами (инжекционный способ), либо эжекционными дозаторами (эжекционный способ). Не останавливаясь на достоинствах и недостатках каждого из них применительно к гипохлориту, рассмотрим математическое моделирование этих процессов.

Инжекция гипохлорита в поток хлорируемой воды ничем не отличается от инжекции хлорной воды в тот же поток. Поэтому этот процесс имеет точно такое же математическое описание. Однако, учитывая то обстоятельство, что гипохлорит имеет худшие дезинфекционные показатели по сравнению с хлором, так как растворен в щелочной среде, существенно отличающейся по составу от хлорируемой воды, значения параметров, входящих в дифференциальное уравнение (4) и краевые условия (5) будут иметь соответственно иные значения.

Эжекция гипохлорита отличается от эжекции хлора лишь тем, что эжектируется не газ, а жидкость. Однако это обстоятельство не вносит принципиальных изменений в изложенную выше математическую модель эжекции, так как при ее формировании агрегатное состояние эжектируемого вещества (газ или жидкость) не учитывалось ввиду идентичности процессов в каждом из этих случаев.

Растворы коагулянтов и флокулянтов мало чем отличаются от раствора гипохлорита с точки зрения динамики инжекционных и эжекционных процессов. Поэтому приложение полученного математического описания к технологическим операциям коагуляции и флокуляции также не представляет затруднений.

4. ДИНАМИКА ЭЖЕКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕЙТРАЛИЗАТОРЕ СНГХ

Нейтрализатор системы нейтрализации газообразного хлора (СНГХ) представлен на рис.4. Основными элементами его конструкции являются резервуар 1 с нейтрализующим хлор раствором, эжектор 2 с трубопроводом нейтрализации 3, через который прокачивается циркулирующий по замкнутому контуру раствор, благодаря насосу 4, и, наконец, трубопровод 5, начинающийся в помещении 6, где возможна аварийная утечка хлора, а заканчивающийся на всасывающем входе эжектора. Наличие хлора в помещении 6 контролируется датчиком 7 детектора хлора в воздухе (ДХВ), который передает сигнал в детектор 8, управляющий включением и выключением аварийной сигнализации и насоса 4.

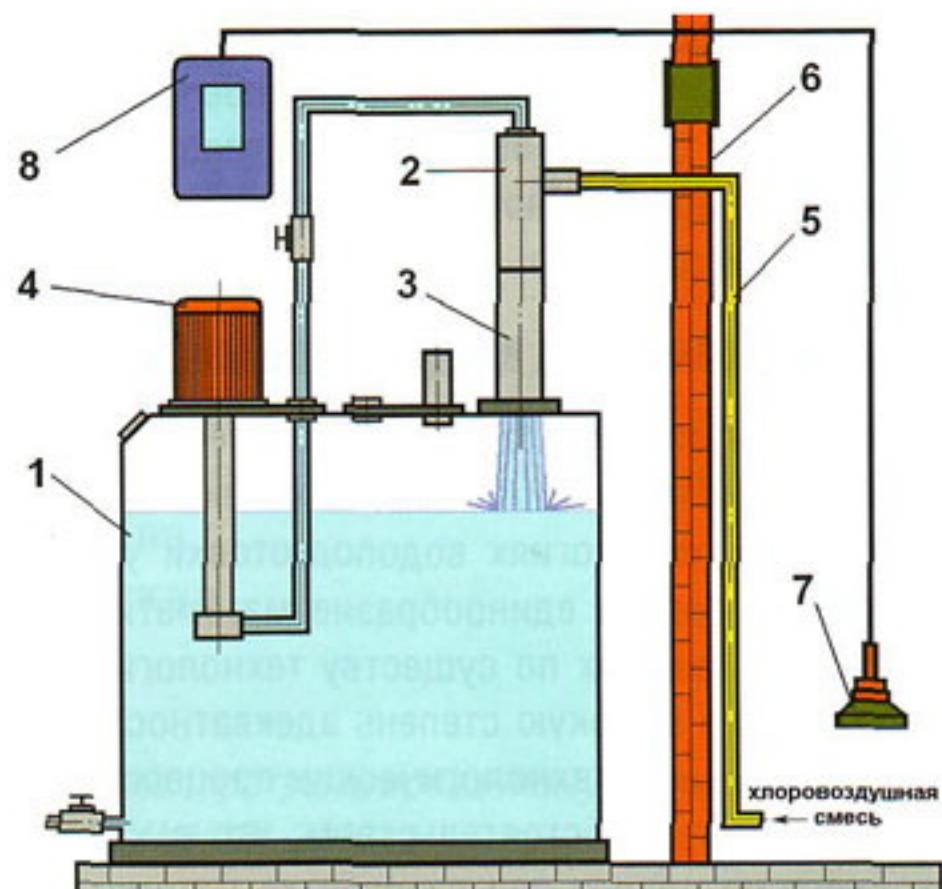


Рисунок 4
Схема нейтрализации газообразующего хлора (СНГХ).

При аварийном выбросе хлора более 20 ПДК в помещение 6 датчик 7 передает сигнал в детектор 8, который включает насос 4 для обеспечения циркуляции раствора. При циркуляции нейтрализующего раствора его поток, проходя через эжектор 2, создает всасывающий эффект в трубопроводе 5, благодаря которому обеспечивается движение хлоровоздушной смеси из помещения 6 в эжектор и ее внедрение в поток нейтрализующего раствора. При этом хлор вступает в химическое взаимодействие с раствором, которое должно быть завершено полностью на выходе трубопровода 3 эжектора 4 с тем, чтобы свободное падение потока на поверхность раствора в резервуаре сопровождалось отделением только воздуха, составлявшего исходную хлоровоздушную смесь, т.е хлор должен быть полностью нейтрализован раствором до выхода потока из трубопровода 3. Это с одной стороны принципиально, а с другой — возможно, что подтверждается продолжительностью химической реакции нейтрализации хлора.

В целом динамика эжекционного процесса в данной конструкции не имеет принципиальных отличий от рассмотренных выше. Некоторая специфика заключается лишь в том, что хлор, попадая в раствор, вступает с ним в химическое взаимодействие, что с одной стороны выводит его из влияния на динамику массообменного процесса, а с другой — снижает способность раствора нейтрализовать поступающий хлор ввиду того, что увеличивается доля отработанного раствора в общей массе потока. Эта особенность учитывается в математической модели



процесса коэффициентом массопоглощения , значение которого в данном случае меньше единицы и его изменение должно быть пропорционально убыли нейтрализующего раствора ввиду его перехода в отработанную фракцию.

5. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Подводя итог результатам математического моделирования динамики инжекционных и эжекционных процессов в технологиях водоподготовки уместно отметить не только единообразие математических моделей для разных по существу технологических объектов, но и высокую степень адекватности этих моделей реальным технологическим процессам. Это обусловлено тем обстоятельством, что в качестве исходного материала при разработке математических моделей взяты соответствующие рассматриваемым процессам уравнения массопереноса математической физики, в которых отражены физические закономерности этих процессов и влияние на их динамику параметров, вошедших в структуру полученных окончательных выражений. Причем значения этих параметров однозначно определяются особенностями веществ, участвующих в массообмене, вариантами конструктивных решений инжекторов и эжекторов, а также спецификой технологических операций. Поэтому построенные модели справедливы в широком диапазоне значений этих параметров, что позволяет глубоко проанализировать изучаемые процессы. На основе такого анализа далее можно успешно решать задачи оптимизации конструкций, выявить управляющие и возмущающие воздействия для реализации эффективной и надежной системы регулирования или управления.

Авторами уже проделана определенная работа в этом направлении. Разработано программное

обеспечение для решения задач анализа изучаемых технологических процессов массообмена с использованием математического аппарата спектральной оптимизации [3,4]. Найдены решения уравнений, определяющих обобщенные динамические характеристики массопереноса [3], что отражено на рис.2, определена концепция конструкций модельного ряда эжекторов для хлораторов АХВ-1000 и на ее основе разработаны соответствующие конструкции (патенты: №66944 от 16.06.2008г., №2367508 от 20.09.2009г., №73084 от 16.11.2009г.) Определена конструкция эжектора нейтрализатора, обеспечивающая фактическое завершение процесса нейтрализации в трубопроводе эжектора, что позволило обеспечить КПД нейтрализатора не хуже 99 % (патенты: №2367506 от 20.09. 2009г., №90854 от 20.01.2010г.). Разработаны алгоритм и программа автоматического управления процессом дозирования газообразного хлора в обрабатываемую воду, охватывающие как процесс эжекции хлора в воду и получение хлорной воды, так и процесс инжекции хлорной воды в поток хлорируемой воды в водоводе [5]. Причем благодаря вычислениям фактической длительности переходного процесса растворения хлора в воде определено минимально допустимое расстояние от точки инжекции хлорной воды в водовод до точки взятия пробы воды из водовода, что необходимо для нормального функционирования системы автоматического регулирования расхода хлора (САР-РХ) как составной части системы автоматического управления процессом хлорирования (САУ-РХ), реализованной в проекте автоматической хлораторной [5], внедренной на ряде объектов России и Казахстана.

Благодаря этим результатам положено начало переходу к полностью автоматическим станциям водоподготовки различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кошляков Н.С., Глинэр Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики.– М.: Высшая школа, 1970. – 712 с.
2. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
3. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Эжекция и сушка материалов в режиме пневмотранспорта. – М: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2010. – 142с.
4. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Эффективная идентификация технологических объектов водоподготовки// Материалы IV Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды», г.Калуга, 2008.- С. 140-143.
5. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Можно ли в России остановить противников хлора? // Водоснабжение и канализация 9-10, 2009 г. – С.82-94.