

УДК 628.162

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМИ ЛУЧАМИ И ОЗОНОМ ρ

Е.М.Наурызбаев
ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент

Проблема подготовки воды для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения в условиях постоянно ухудшающегося экологического состояния гидросферы требует совершенствования ее очистки – обеззараживания.

В последние годы был предложен [1,2] принципиально новый способ обеззараживания воды путем совмещения воздействия ультрафиолетового излучения (УФ) и реагентов – окислителей. В этом случае фотолитические реакции, происходящие в воде под воздействием УФ в присутствии окислителей, вынуждают интенсивное окисление органических веществ. Это происходит главным образом за счет образования активных промежуточных час-

тиц – радикалов, которые одновременно улучшают органолептические и физико – химические свойства воды. В качестве окислителей применяются широко известные реагенты: хлор чистый и его производные, перекись водорода, озон и т.п. Из всех известных дезинфицирующих реагентов озон имеет наибольший окислительный потенциал, переходит в безвредный кислород, предотвращая образование токсичных веществ после очистки, увеличивает эффективность УФ обработки воды [2]. Немаловажно при этом, что эффект обеззараживания достигается при небольших дозах озона. Наиболее перспективной представляется возможность использования фотолитического озона, получение которого возможно при ультрафиолетовом облучении кислорода УФ длиной волны $10^3 \div 2 \cdot 10^4 \text{ \AA}$. При таком способе обеззараживания можно использовать серийные бактерицидные установки.

Принцип работы такой установки заключается в следующем. По подводящей трубе под давлением подается обрабатываемая вода. За счет эжекции в пространство между кварцевым чехлом и источником УФ камеры фотохимической засасывается осушенный воздух, в котором под воздействием УФ излучения на кислород получается озон. Озоно – воздушная смесь, поступая в эжектор, смешивается с обрабатываемой водой, а затем подвергается действию УФ излучения.

Для эффективной практической реализации данного способа обеззараживания воды необходимо создать условия для получения максимального количества фотолитического озона. При этом следует решить две задачи: обеспечить максимальную производительность установки для получения озона и создать условия, при которых действия УФ излучения и озона на зараженную воду будет наиболее эффективным.

Для описания процессов тепло – и массопереноса и степени зараженности воды в установке используем балансовые уравнения массы и тепла. Будем считать, что гидродинамический перепад давления отсутствует и скорость газового потока постоянна; воздух абсолютно сухой; реализуется изотермический режим; вклад УФ источника в нагревание газа отсутствует; температуры кварцевого чехла и потока жидкости одинаковы. Фотолитическая реакция представляет собой обратимую экзотермическую реакцию. Скорость образования и разложения озона протекает по первому порядку. Скорость обеззараживания озоном пропорциональна его концентрации, и в реакцию окисления в жидкостном потоке озон вступает по первому порядку. Процесс гибели микроорганизмов под воздействием УФ излучения определяется мощностью источника излучения и степенью зараженности.

С учетом данных условий, балансовые уравнения стационарного процесса совместного обеззараживания жидкостного потока УФ излучением и озоном:

$$U_1 \frac{dC_1}{dx} - D \frac{d^2 C_1}{dx^2} = W \quad (1)$$

$$\alpha (T - T_x) F = W Q V \quad (2)$$

$$U_2 \frac{dc_2}{dx} = \beta (C^* - C_2) - K C_2 \quad (3)$$

$$U_2 \frac{dp}{dx} = -K C_2 - \frac{IP}{K} \quad (4)$$

$$W = k_1 (C_0 - C_1) - k_2 C_1 \quad (5)$$

$$I = \frac{2}{\varepsilon} \frac{J_0 r_2}{(r_1^2 - r_2^2)} \left(1 - \exp \left(-r_1 - r_2 \right) \right) \quad (6)$$

Здесь:

(1) и (2) – уравнения изменения концентрации озона C_1 и теплового баланса в газовом потоке;

(3) и (4) – уравнения изменения концентрации озона C_2 , растворенного в воде и степени ее зараженности P ;

(5) – кинетическое уравнение скорости W фотолитического образования и разложения озона в газовом потоке;

(6) – зависимость мощности излучения J от толщины концентрического слоя воды $r_1 - r_2$;

J_0 – мощность источника УФ;

ε – коэффициент поглощения УФ;

r_1 – радиус внутренней поверхности;

r_2 – радиус наружной поверхности;

x – координата;

U_1, U_2, T, T_x – скорости и температуры газового и жидкого потоков;

D, α, β – коэффициенты диффузии, тепло – и массопередачи;

F – поверхность теплообмена; V – объем камеры фотореакций;

C_2^* – равновесная концентрация озона в жидкости;

C_0 – исходная концентрация кислорода;

Q – тепловой эффект реакции;

k – константа скорости окисления озона в жидкостном потоке;

k_1, k_2 – константы скорости образования и разложения озона;

K – коэффициент сопротивляемости микроорганизмов.

Граничные условия для системы (1) – (6):

$$C_1 = 0, \quad C_2 = 0, \quad P = P_0 \quad \text{при} \quad x = 0 \quad (7)$$

$$\frac{dC_1}{dx} = 0 \quad \text{при} \quad x = L$$

Уравнения (1) и (2) позволяют определить производительность установки для получения фотолитического озона. При изотермическом режиме кинетические константы постоянны и решение (1) совместно с (5) и (7):

$$C_1 = \frac{k_1 C_0}{k_1 + k_2} \left[1 - \frac{\lambda_1 \exp(\lambda_2 X + \lambda_{1L}) - \lambda_2 \exp(\lambda_1 X + \lambda_2 L)}{\lambda \exp(\lambda_1 L) - \lambda_2 \exp(\lambda_2 L)} \right] \quad (8)$$

Из (8) следует, что производительность аппарата по озону

$$\Pi = \frac{k_1 C_0 V_1}{k_1 + k_2} \left[1 - \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda \exp(\lambda_1 L) - \lambda_2 \exp(\lambda_2 L)} \right] \quad (9)$$

преобразуем (9) к виду:

$$\Pi = \frac{k_1 C_0 J_1}{Z} \left[1 - \frac{2P}{(1+P)\exp(P_c(p-1)/2) - (1-p)\exp(-P_c(p=1)/2)} \right] \quad (10)$$

$$P = \sqrt{1 + 47/Pe} ; \quad Z = \frac{J}{V_1} (k_1 + k_2)$$

$$Pe = \frac{U_1 L}{D} \quad k_{1,2} = k_{1,2} \frac{V}{J}$$

V_1 – объемный расход газа;

Pe – число Пекле, определяющее влияние продольной диффузии на перенос вещества в потоке.

Из (10) следует, что максимальная производительность достигается при $Z \rightarrow 0$, тогда $Pe \rightarrow \infty$, что соответствует режиму идеального вытеснения.

При малых Z , разлагая в ряд Тейлора (10),

$$P = \frac{k_1 C_0 J}{Z} [(1 - \exp(-Z))] \quad (11)$$

при $Z \rightarrow 0$ $P = k_1 C_0 J = k_1 C_0 V = P_{\max}$

P_{\max} – определяется константой скорости образования озона, концентрацией кислорода и мощность источника УФ или объемом камеры. Используя уравнения (3) и (4) рассмотрим влияние комплексного воздействия УФ излучения и фотолитического озона на изменения степени зараженности жидкостного потока. Учитывая, что поглощение озона из газовой фазы в жидкостную имеет экспоненциальную зависимость и используя закон Генри для равновесной концентрации озона в жидкости, получим:

$$C_2^* = \Gamma \cdot C_1^* \cdot \exp(-\eta \tau_2) \quad (12)$$

где Γ – коэффициент Генри;

C_1^* – значение концентрации озона на выходе из камеры;

τ_2 – время пребывания зараженного потока в установке;

η – коэффициент поглощения озона.

Подставим (12) в (3) и проведя интегрирование при условии (7), получим:

$$C_2 = \frac{\beta \Gamma C_1^*}{\beta + K - \eta} [\exp(-\eta \tau_2) - \exp(-(\beta + K) \tau_2)] \quad (13)$$

Интегрируя уравнение (4) с учетом (7) и (13), получим выражение для степени зараженности жидкостного потока в зависимости от различных факторов процесса:

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{J \tau_2}{k}\right) - \frac{k \beta \Gamma C_1^*}{\beta k - \eta} \left[\frac{\exp(\eta \tau_2)}{J/k - \eta} - \frac{\exp(-\beta + k) \tau_2}{J/k - \beta - k} + \frac{(\beta + k - \eta) \exp\left(-\frac{J \tau_2}{k}\right)}{\left(\frac{J}{k} - \eta\right) \left(\frac{J}{k} - \beta - k\right)} \right] \quad (14)$$

Из расчетных по уравнению (14) и экспериментальных данных [1], представленных в таблице 1, следует, что во всех случаях эффективность обеззараживания воды при комплексном воздействии ультрафиолета и озона оказывается выше по сравнению только с УФ облучением. С ростом расхода обрабатываемой воды степень обеззараживания снижалась.

Для согласования с [1] были приняты следующие значения теплофизических величин:

$$T_x = 275 \text{ K};$$

$$Q = 15 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль};$$

$$\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1};$$

$$P_0 = 10^4 \text{ E.coli/л};$$

$$L = 1 \text{ м};$$

$$r_1 = 0,08 \text{ м};$$

$$r_2 = 0,025 \text{ м}$$

(E.coli – коли - индекс)

Таблица 1 – Результаты экспериментальных данных эффективности обеззараживания воды

Расход воды м ³ /ч	Коли-титр на входе при воздействии УФ, м.т/л экс./расч.	Коли-титр на выходе при воздействии УФ + O ₃ , м.т/л экс./расч.
6	4/0	2/0
9	5/1	3/1
12	8/2	5/1

Таким образом, эксперименты подтвердили теоретическую модель процесса обеззараживания воды УФ излучением и озоном.

Литература

- 1 Hanchang S., Zhansheng W. The experimental research of Ozone – UV photooxidation // Ozone Ultraviolet Water Treatment. Amsterdam, 1986.
- 2 Thieman W. // Abwasser. -1987. -В. 128. - № 8. - S. 441.

Қорытынды

Мақалада лас суларды ультрафиолеттік және қосымша озонаушылармен залалсыздандырудың математикалық моделі құрылған. Озондаушы қондырғылардың ең жоғарғы өнімділігін қамтамасыз етуге және лас суларға УФ пен шағылумен озондаудың әсерін мүмкіндігінше тиімді ететін жағдайлар жасауға қатысты екі мәселенің шешімі келтірілген.

Summary

In this article mathematical model disinfection waste water uv photooxidation and ozone are obtained. The result of simulation is optimal regimes intensively ultraviolet and ozone.