

В результате проведенных экспериментальных исследований (рис. 6-a,b,c,d) нами установлено, что куполообразные жидкостные экраны надежно защищают человека от воздействия многих токсичных газообразных веществ (CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> и др.)

Таким образом, сопоставление полученных экспериментальных данных с теоретическими по расчету переноса массы токсичных газов через куполообразный жидкостный экран дает отклонение на 15-20%.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Новиков В.М., Строкач П.П. Защитный водяной колпак. Сельское хозяйство Белоруссии, Минск, 1979, №1.
- Новиков В.М. Некоторые перспективы использования струйных комплексов для оздоровления воздушного бассейна. Тезисы докладов 1-ой Международной научно-технической конференции 18-20 мая 1995 г., Брест, 1995.
- Новиков В.М. Стенд для испытаний струйных комплексов для защиты человека от газовых выбросов. Информационный листок, 1989, № 49-89, Брест.

- Строкач П.П., Новиков В.М. Некоторые закономерности оздоровления воздушного бассейна струйными комплексами. - «Вестник БГТУ – Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология», №2, 2002.
- Новиков В.М. Закономерности образования протяженной жидкостной завесы.// Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. №9.- Новосибирск, 1989. С. 118-122.
- Строкач П.П., Новиков В.М., Житенев Б.Н., Яловая Н.П., Меженная О.Б. Методические рекомендации по расчету и выбору струйных комплексов для очистки воздушной и водной среды от загрязнений. Из-во БГТУ, Брест, 2003.
- Новиков В.М. Струйный комплекс для образования многослойной куполообразной жидкостной завесы, локализующей техническое оборудование, загрязняющее воздух особо токсичными выбросами. Информационный листок, 1989, №89-18 НТД, Брест.
- Перри Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ./ Под ред. Н.М. Жаворонкова и П.Г. Романкова.- Л.: Химия, 1969, Т. 2.

УДК 628.179.621.175

Новиков В.М., Мороз В.В., Меженная О.Б.

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ АЭРАЦИИ ВОДЫ СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ, ФОРМИРУЮЩИМИ КУПОЛООБРАЗНУЮ ЖИДКОСТНУЮ ЗАВЕСУ

Анализ опубликованных исследований по динамике и распаду полых струй жидкости, формируемых струйными аппаратами нового поколения, указывает на возможность использования последних в качестве высокопроизводительных аэраторов [1-5].

Изучается возможность определения количества кислорода поглощенного водой при изливе жидкостных завес такого типа, с самых общих позиций.

На рис. 1 представлена расчетная схема для установления закономерностей аэрации воды струйными аппаратами, формирующими куполообразную жидкостную завесу.

Количество кислорода, поглощенного водой при изливе куполообразной жидкостной завесы в общем случае, есть функция следующих переменных:

$$y_k = f(V_1, b_0, W, V_{cp}, \bar{d}, t, \nu, \delta, p, k_{O_2}, k_{CO_2}, D_{O_2}, D_{CO_2}, \beta_{CO_2}) \quad (1)$$

где:  $V_1$  - средняя скорость излива куполообразной жидкостной среды на выходе из струйного аппарата (сечение I-I), м/с;

$b_0$  - толщина жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата, м;

$W$  - объем факела распыла, м<sup>3</sup>;

$V_{cp}$  - средняя скорость падения капель, м/с;

$\bar{d}$  - средний диаметр капель, мкм;

$t$  - температура воды, °С;

$\nu$  - коэффициент кинематической вязкости воды, м<sup>2</sup>/с;

$\delta$  - растворимость кислорода в воде при различных температурах, г/л;

$p$  - атмосферное давление, кПа;

$k_{O_2}$  - поверхностный коэффициент абсорбции O<sub>2</sub> водой, г/с г/л м<sup>2</sup>;

$k_{CO_2}$  - поверхностный коэффициент абсорбции CO<sub>2</sub> водой, г/с г/л м<sup>2</sup>;

$D_{O_2}$  - коэффициент диффузии O<sub>2</sub> в воде, м<sup>2</sup>/с;

$D_{CO_2}$  - коэффициент диффузии CO<sub>2</sub> в воде, м<sup>2</sup>/с;

$\beta_{CO_2}$  - объемный коэффициент десорбции CO<sub>2</sub> данного типа струйного аппарата, г/м<sup>3</sup> с г/л;

Струйные аппараты, рассматриваемой конструкции, могут работать, как в режиме образования сплошной протяженной куполообразной жидкостной завесы, так и в режиме распыла жидкости, что так важно для процесса массопередачи в жидкой фазе.

Процесс массопередачи в жидкой фазе определяется физическими свойствами системами и числом Рейнольдса жидкой фазы и выражается критериальной зависимостью:

$$N_{U_{ж}} = 0,11 \cdot Re_{ж} \cdot Pr_{ж}^{0,5}, \quad (2)$$

где:  $N_{U_{ж}}$  - критерий Нуссельта, характеризующий процесс переноса веществ в потоке;

Для процесса абсорбции O<sub>2</sub> водой эти безразмерные критерии определяются следующими уравнениями:

$$N_{U_{ж}} = \frac{k_{O_2} \cdot \bar{d}}{D_{O_2}}; \quad (3)$$

$$Re_{ж} = \frac{V \cdot \bar{d}}{\nu}; \quad (4)$$

$$Pr_{ж} = \frac{\nu}{D_{O_2}}. \quad (5)$$

Подставляя значения  $N_{U_{ж}}$ ,  $Re_{ж}$ ,  $Pr_{ж}$  в уравнение получаем:

$$\frac{k_{O_2} \cdot \bar{d}}{D_{O_2}} = 0,11 \cdot \frac{V_{cp} \cdot d}{\nu} \cdot \left( \frac{\nu}{D_{O_2}} \right)^{0,5} \quad (6)$$

или

$$k_{O_2} = 0,11 \cdot V_{cp} \cdot \frac{D_{O_2}^{0,5}}{\nu^{0,5}}. \quad (7)$$

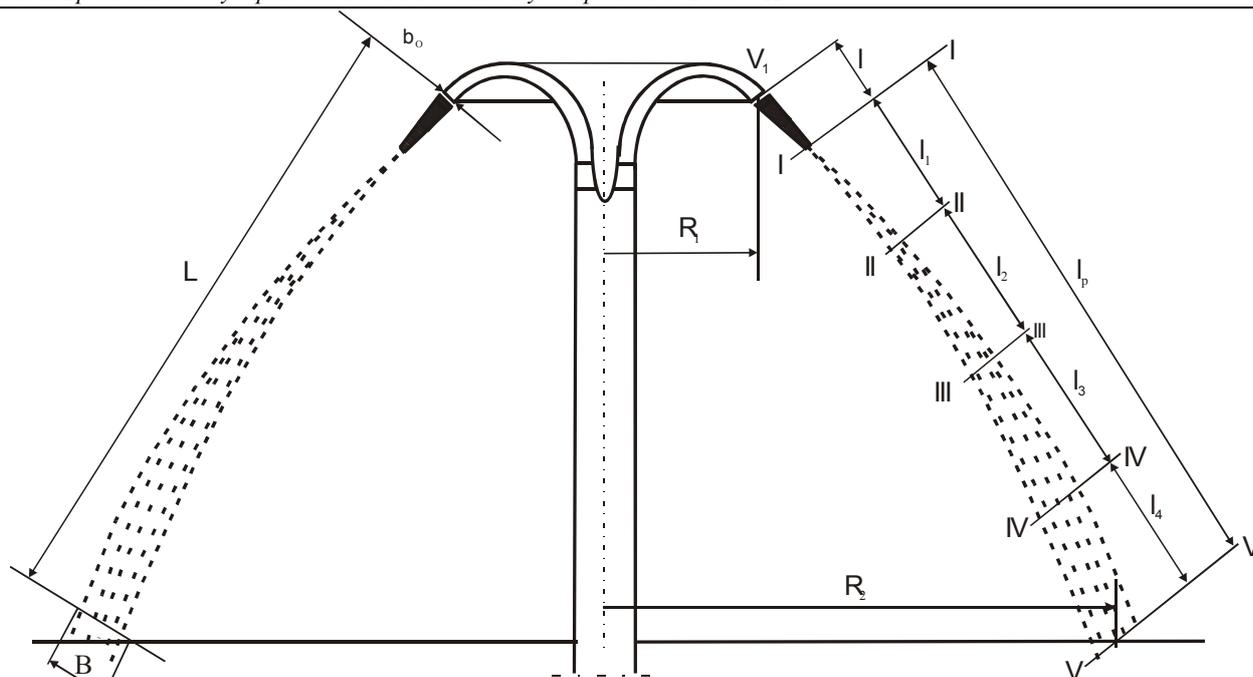


Рис. 1. Расчетная схема.

Аналогично для процесса абсорбции CO<sub>2</sub> водой будем иметь

$$k_{CO_2} = 0.11 \cdot V_{cp} \cdot \frac{D_{CO_2}^{0.5}}{\nu^{0.5}} \quad (8)$$

Разделим (7) на (8) и получим

$$\frac{k_{O_2}}{k_{CO_2}} = \frac{D_{O_2}^{0.5}}{D_{CO_2}^{0.5}} \quad (9)$$

Соотношение  $\frac{D_{O_2}^{0.5}}{D_{CO_2}^{0.5}}$ , практически, постоянно и равно

$$\frac{D_{O_2}^{0.5}}{D_{CO_2}^{0.5}} = \frac{(1.98 \cdot 10^{-5})^{0.5}}{(1.71 \cdot 10^{-5})^{0.5}} = 1.077 \quad (10)$$

Введем следующее обозначение

$$K = \frac{D_{O_2}^{0.5}}{D_{CO_2}^{0.5}} \quad (11)$$

где:  $K$  - отношение коэффициентов диффузии O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в воде.

Как известно, для расчета обезжелезивающих установок с брызгательным бассейном может быть использовано уравнение:

$$Q \cdot C_y = \beta_{CO_2} \cdot \Delta C_{cp} \cdot W \quad (12)$$

где:  $Q$  - производительность струйного аппарата, л/с;

$C_y$  - количество свободной углекислоты, подлежащей удалению из воды, г/л;

$\Delta C_{cp}$  - средняя движущая сила процесса десорбции (разность концентраций CO<sub>2</sub>), г/л.

Количество поглощенного при разбрызгивании воды кислорода может быть найдено из уравнения, идентичного (12) для обратного процесса десорбции CO<sub>2</sub> из воды при введении коэффициента  $K$

$$y_k = K \cdot \frac{\beta_{CO_2} \cdot W}{Q} \cdot \Delta C_{cp} \quad (13)$$

где:  $\Delta C_{cp}$  - средняя разность концентраций для всего процесса абсорбции O<sub>2</sub>.

Средняя разность концентраций для всего процесса абсорбции кислорода определяется по следующей формуле

$$\Delta C_{cp} = \frac{\Delta C_H - \Delta C_K}{2.3 \cdot \lg \frac{\Delta C_H}{\Delta C_K}} \quad (14)$$

где:  $\Delta C_H = C_p - C_o$  - начальная разность концентраций O<sub>2</sub> в воде, г/л;

$\Delta C_K = C_p - X_k$  - конечная разность концентраций O<sub>2</sub> в воде, г/л.

где:  $C_p$  - равновесная концентрация O<sub>2</sub> в воде, соответствующая его парциальному давлению в воздухе, г/л;

$C_o$  - начальное содержание растворенного кислорода в воде, г/л;

$X_k$  - конечное содержание растворенного кислорода в воде, г/л.

Задача сводится к определению количества поглощенного при разбрызгивании воды кислорода.

Для определения  $y_k$  необходимо установить:

1. Форму и размеры образующей куполообразной жидкостной завесы.
2. Общую длину сплошной и раздробленной части образующей куполообразной жидкостной завесы.
3. Объем факела распыла куполообразной жидкостной завесы.
4. Среднюю скорость падения капель.
5. Средний диаметр капель.

Траекторию образующей куполообразной жидкостной завесы можно построить, решая систему уравнений:

$$S_n = V_1 \cdot k_{V_n} \cdot \tau_n \quad (15)$$

$$y_n = \frac{g \cdot \tau_n^2}{2} \quad (16)$$

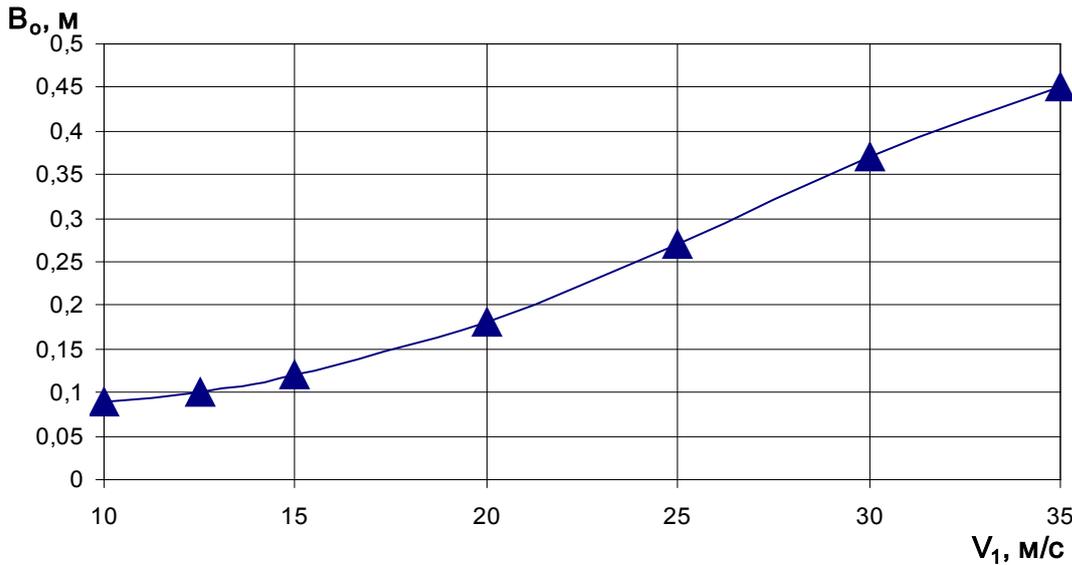


Рис. 2. Зависимость ширины факела куполообразной жидкостной завесы от скорости излива воды.

где:  $S_n$  -длина принимаемого отрезка по направлению луча половины угла раскрытия отбойников, м;

$k_{V_n}$  -коэффициент потери скорости куполообразной жидкостной завесы в любой точке по направлению луча половины угла раскрытия отбойников;

$\tau_n$  -время движения куполообразной жидкостной среды на отрезке  $l_p$ , С;

$y_n$  - отклонение траектории куполообразной жидкостной завесы от направления луча половины угла раскрытия отбойников в любой точке, м.

Коэффициент потери скорости куполообразной жидкостной завесы в любой точке по направлению луча половины угла раскрытия отбойников может быть определен по следующей зависимости

$$k_{V_n} = \frac{k_{V_5} \cdot S_n}{5}, \quad (17)$$

где:  $k_{V_5}$  - коэффициент потери скорости куполообразной жидкостной завесы на расстоянии 5 м от сопла струйного аппарата по направлению луча половины угла раскрытия отбойников.

Коэффициент потери скорости может быть найден по формуле

$$k_{V_5} = 0.01 \cdot V_1^{1.22}. \quad (18)$$

Протяженность куполообразной жидкостной завесы может быть определена по формуле

$$L = -2.8153 + 1.1383V_1 - 0.598V_2 + 352.6b_0 + 0.0148n - 0.474V_1^2. \quad (19)$$

Длина образующей куполообразной жидкостной завесы [ ] состоит из двух основных участков: а) сплошной куполообразной жидкостной завесы (начальный участок); б) раздробленной части струи.

$$L = l_H + l_p, \quad (20)$$

где:  $l_H$  - начальный участок струи, м;

$l_p$  - раздробленный участок струи, м.

Раздробленный участок струи включает в себя следующие составляющие

$$l_p = l_1 + l_2 + l_3 + l_4, \quad (21)$$

где:  $l_1, l_2, l_3, l_4$  - характерные участки распада куполообразной жидкостной завесы.

Длина раздробленной части струи будет равна

$$l_p = L - l_H. \quad (22)$$

Длина начального участка определяется по формуле

$$l_H = 124 \frac{1}{V_1}. \quad (23)$$

Объем факела распыла определяется по формуле

$$W = \frac{\pi(D_1 - D_2) \cdot l_p \cdot b_{ocp}}{2}, \quad (24)$$

где:  $R_1$  - радиус куполообразной жидкостной завесы в нижнем основании, м;

$R_2$  - радиус куполообразной жидкостной завесы в сечении III-III, м;

$b_{ocp} = \frac{b_{0_1} + B_0}{2}$  - средняя ширина продольного сечения

распыленной части образующей куполообразной жидкостной завесы, м;

$B_0$  - ширина продольного сечения распыленной части образующей куполообразной жидкостной завесы в нижнем основании, м.

В результате поисковой работы была установлена зависимость ширины продольного сечения распыленной части образующей куполообразной жидкостной завесы в нижнем основании от скорости излива куполообразной завесы на выходе из струйного аппарата.

Из графика видно, что аэрация воды будет интенсивно осуществляться при скоростях излива жидкостной завесы от 10 до 35 м/с при изменении ширины факела куполообразной завесы от 0,09 до 0,45 м.

Ширина факела куполообразной жидкостной завесы может быть определена по зависимости

$$B_0 = L \cdot tg\alpha, \quad (25)$$

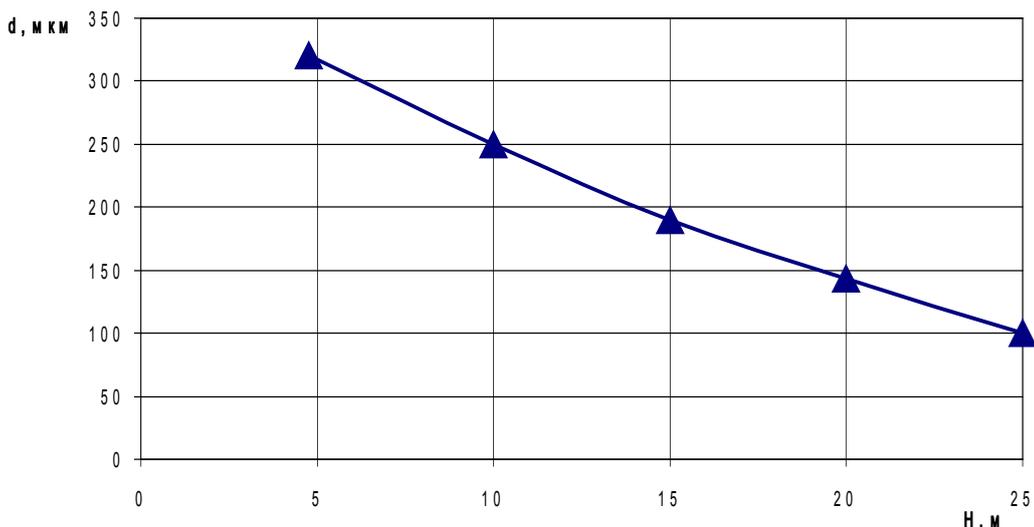


Рис. 3. Зависимость среднего диаметра капель от напора на входе в струйный аппарат.

Таблица 1. Экспериментальное определение дисперсионного состава куполообразной жидкостной завесы по длине образующей при разных скоростях излива жидкости.

| №№<br>пп | Средняя скорость излива куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата $V_1$ , м/с | Характерные длины участков куполообразной жидкостной завесы |  |         |         |         |         |        |         |         |         |        |        |         |         |         |
|----------|--|---|--|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
|          |  | $l_H$   | $l_1$                                  |         |         | $l_2$   |         |        | $l_3$   |         |         | $l_4$  |        |         |         |         |
|          |  |   | Процентное содержание капель диаметром |         |         |         |         |        |         |         |         |        |        |         |         |         |
|          |  | Сплошная часть  | 0,45 мм                                | 0,28 мм | 1,15 мм | 0,45 мм | 0,28 мм | 2,3 мм | 1,15 мм | 0,45 мм | 0,28 мм | 3,6 мм | 2,3 мм | 1,15 мм | 0,45 мм | 0,28 мм |
| 1        | 2  | 3   | 4                                      | 5       | 6       | 7       | 8       | 9      | 10      | 11      | 12      | 13     | 14     | 15      | 16      | 17      |
| 1.       | 9  | нет   | 73                                     | 27      | 33      | 40      | 27      | 13     | 20      | 40      | 27      | 4      | 9      | 20      | 40      | 27      |
| 2.       | 10   | нет   | 73                                     | 27      | 33      | 40      | 27      | 13     | 20      | 40      | 27      | 4      | 9      | 20      | 40      | 27      |
| 3.       | 11   | нет   | 73                                     | 27      | 33      | 40      | 27      | 13     | 20      | 40      | 27      | 4      | 9      | 20      | 40      | 27      |
| 4.       | 12   | нет   | 73                                     | 27      | 33      | 40      | 27      | 13     | 20      | 40      | 27      | 4      | 9      | 20      | 40      | 27      |
| 5.       | 13   | нет   | 73                                     | 27      | 33      | 40      | 27      | 13     | 20      | 40      | 27      | 4      | 9      | 20      | 40      | 27      |
| 6.       | 14   | нет   | 73                                     | 27      | 33      | 40      | 27      | 13     | 20      | 40      | 27      | 4      | 9      | 20      | 40      | 27      |
| 7.       | 15   | нет   | 73                                     | 27      | 33      | 40      | 27      | 13     | 20      | 40      | 27      | 4      | 9      | 20      | 40      | 27      |

где:  $B_0$  - ширина факела куполообразной жидкостной завесы, м;  
 $L$  - протяженность куполообразной жидкостной завесы (5-5,7 м), м;

$tg \alpha$  - тангенс угла одностороннего расширения струи.

В свою очередь тангенс угла одностороннего расширения струи может быть определен по формуле

$$tg \alpha = A \cdot B^{C \cdot V_1}, \quad (26)$$

где:  $A, B, C$  - коэффициенты, найденные опытным путем ( $A=0,00457, B=2, C=0,1$ ).

На основании поисковой работы была установлена зависимость среднего диаметра капель от напора воды а струйном аппарате (см. рис. 3).

Из графика рисунка 3 видно, что при изменении напора перед струйным аппаратом от 5 до 25 м, средний размер капель изменяется от 338 до 144 мкм.

Средний размер капель можно найти по формуле

$$d_k = 7.96 \cdot H^{-0.532}, \quad (27)$$

где:  $d_k$  - средний диаметр капель, мкм;

$H$  - напор воды перед струйным аппаратом, м;

$B, n$  - коэффициенты (найлены экспериментально и равны:  $B=796, n=-0,532$ )

Определение размеров капель производилось на экспериментальной установке дифракционного измерения, которая представлена в работе [6] и в таблице 1.

Для нахождения среднего размера капель, когда имеется необходимый экспериментальный материал (процентное содержание капель определенного размера) можно использовать формулу

$$\bar{d}_k = N_1 \cdot d_1 + N_2 \cdot d_2 + N_3 \cdot d_3 + \dots + N_n \cdot d_n, \quad (28)$$

где:  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$  - процентное содержание капель определенного размера;

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  - диаметр капель, мкм.

Далее необходимо установить среднюю скорость падения капель на участке II-III.

Активный процесс аэрации, практически, начинается в сечении струи II-II и заканчивается в сечении III-III.

Используя коэффициент потери скорости можно определить значение скоростей в сечениях II-II и III-III, которые будут равны:

$$V_{II} = (1 - k_{V_n}) \cdot V_1; \quad (29)$$

$$V_{III} = (1 - k_{V_s}) \cdot V_1. \quad (30)$$

Таблица 2. Экспериментальное определение количества поглощенного кислорода в процессе аэрации воды

| №№<br>пп | Расход<br>воды $Q$ ,<br>$\text{м}^3/\text{с}$ | Средняя<br>скорость<br>излива<br>воды $V_1$ ,<br>$\text{м}/\text{с}$ | Поверхность<br>окисления<br>куполообразной<br>жидкостной<br>завесы $F_{ок}$ , $\text{м}^2$ | Толщина<br>куполообразной<br>жидкостной<br>завесы на выхо-<br>де из струйного<br>аппарата $b_0$ , $\text{м}$ | Температура<br>воды на<br>выходе из<br>струйного<br>аппарата,<br>$t_{вод}$ | Содержание<br>кислорода в<br>воде до<br>аэрации<br>$C_0$ , $\text{г}/\text{л}$ | Содержание<br>кислорода в<br>воде после<br>аэрации<br>$X_k$ , $\text{г}/\text{л}$ | Количество<br>поглощенного<br>кислорода<br>водой $Y_k$ , $\text{г}/\text{л}$ |
|----------|---|--|--|--|--|--|---|--|
| 1        | 2   | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8   | 9  |
| 1.       | 0,0095  | 8  | 50   | 0,001  | 16   | 0,004  | 0,0056  | 0,0016   |
| 2.       | 0,019   | 16   | 50   | 0,001  | 16   | 0,004  | 0,0072  | 0,0032   |
| 3.       | 0,0095  | 8  | 130  | 0,001  | 16   | 0,004  | 0,0064  | 0,0024   |
| 4.       | 0,019   | 16   | 130  | 0,001  | 16   | 0,004  | 0,0088  | 0,0048   |
| 5.       | 0,0095  | 8  | 50   | 0,002  | 16   | 0,004  | 0,0052  | 0,0012   |
| 6.       | 0,019   | 16   | 50   | 0,002  | 16   | 0,004  | 0,0064  | 0,0024   |
| 7.       | 0,0095  | 8  | 130  | 0,002  | 16   | 0,004  | 0,0058  | 0,0018   |
| 8.       | 0,019   | 16   | 130  | 0,001  | 16   | 0,004  | 0,0076  | 0,0036   |
| 9.       | 0,0095  | 8  | 50   | 0,001  | 24   | 0,004  | 0,0054  | 0,0014   |
| 10.      | 0,019   | 16   | 50   | 0,001  | 24   | 0,004  | 0,0068  | 0,0028   |
| 11.      | 0,0095  | 8  | 130  | 0,001  | 24   | 0,004  | 0,006   | 0,002  |
| 12.      | 0,019   | 16   | 130  | 0,001  | 24   | 0,004  | 0,0081  | 0,0041   |
| 13.      | 0,0095  | 8  | 50   | 0,002  | 24   | 0,004  | 0,005   | 0,001  |
| 14.      | 0,019   | 16   | 50   | 0,002  | 24   | 0,004  | 0,0061  | 0,0021   |
| 15.      | 0,0095  | 8  | 130  | 0,002  | 24   | 0,004  | 0,0055  | 0,0015   |
| 16.      | 0,019   | 16   | 130  | 0,002  | 24   | 0,004  | 0,0071  | 0,0031   |
| 17.      | 0,035   | 20   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,008   | 0,004  |
| 18.      | 0,0071  | 4  | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0048  | 0,0008   |
| 19.      | 0,021   | 12   | 170  | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0074  | 0,0034   |
| 20.      | 0,021   | 12   | 10   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0055  | 0,0015   |
| 21.      | 0,035   | 12   | 90   | 0,0025   | 20   | 0,004  | 0,0059  | 0,0019   |
| 22.      | 0,007   | 12   | 90   | 0,0005   | 20   | 0,004  | 0,0073  | 0,0033   |
| 23.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 28   | 0,004  | 0,0061  | 0,0021   |
| 24.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 12   | 0,004  | 0,006   | 0,002  |
| 25.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0073  | 0,0033   |
| 26.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0072  | 0,0032   |
| 27.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0071  | 0,0031   |
| 28.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0064  | 0,0024   |
| 29.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0057  | 0,0017   |
| 30.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0056  | 0,0016   |
| 31.      | 0,021   | 12   | 90   | 0,0015   | 20   | 0,004  | 0,0055  | 0,0015   |

Тогда значение средней скорости на участке активного процесса аэрации составит

$$V_{cp} = \frac{V_{II} + V_{III}}{2}. \quad (31)$$

В (31) подставим значения (29), (30), (23), (18), (17) и после некоторых преобразований получим

$$V_{cp} = 0.5 \cdot V_1 \times \left[ \left( 1 - 0.02 \cdot V_1^{1.22} \cdot 1.24 \cdot \frac{1}{V_1} \right) + \left( 1 - 0.01 \cdot V_1^{1.22} \right) \right]. \quad (32)$$

В результате проведенной поисковой работы было установлено, что на количество поглощенного кислорода при изливе куполообразной жидкостной завесы влияют следующие основные показатели

$$y_k = f(V_1, F_{ок}, b_0, t_{вод}), \quad (33)$$

где:  $V_1$  - скорость излива воды на выходе из струйного аппарата,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$F_{ок}$  - поверхность окисления куполообразной жидкостной завесы,  $\text{м}^2$ ;

$b_0$  - толщина жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата,  $\text{м}$ ;

$t_{вод}$  - температура воды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Окончательно было получено уравнение регрессии для определения количества поглощенного кислорода при изливе куполообразной жидкостной завесы

$$y_k = 0.00114 + 0.000205 \cdot V_1 + 0.000012 \cdot F_{ок}. \quad (34)$$

Экспериментальные исследования показали, что при изменении средней скорости излива воды от 8 до 20  $\text{м}/\text{с}$ , изменение поверхности окисления куполообразной жидкостной завесы от 50 до 170  $\text{м}^2$ , толщины завесы на выходе из струйного аппарата от 0,0005 до 0,0025  $\text{м}$ , количество поглощенного кислорода изменяется от 0,0012 до 0,0048  $\text{г}/\text{л}$ .

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Новиков В.М., Уласевич В.П. Исследование некоторых закономерностей распада куполообразных жидкостных завес.-«Вестник БГТУ-Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология», №2, 2002, с.60-62.
- Новиков В.М. Закономерности образования протяженной куполообразной жидкостной завесы//Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. №9.-Новосибирск, 1989, с.118-122.
- Новиков В.М. Струйный комплекс для аэрации воды. Информационный листок, 1989, №89-14, Брест.
- Новиков В.М. Исследование некоторых закономерностей управления распадом защитной куполообразной жидкостной завесы. Тезисы докладов XX научно-технической

- конференции в рамках проблемы «Наука и мир». Часть I. Брест, 1992, с.91.
5. Новиков В.М. Эффективность работы струйных аэра-  
ров, образованных грибвидными отбойниками. Тезисы

- докладов XXI научно-технической конференции в рамках  
проблемы «Наука и техника». Часть II. Брест, 1994, с.82.
6. Новиков В.М. Стенд для определения сплошности купо-  
лообразной жидкостной завесы. Информационный ли-  
сток, 1989, №42-89, Брест.

УДК 628.162.1

*Наумчик Г.О.*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЗОНА В ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

Подземные источники водоснабжения Белоруссии харак-  
теризуются повышенным содержанием соединений железа.  
Одним из наиболее перспективных и экономически выгодных  
методов обезжелезивания является метод “сухой фильтра-  
ции”, который в настоящее время еще недостаточно изучен.  
Сущность этого метода заключается в фильтровании водо-  
воздушной эмульсии через “сухую” (незаопленную) зерни-  
стую загрузку путем образования вакуума в поддонном про-  
странстве или путем нагнетания больших количеств воздуха с  
последующим отсосом из поддонного пространства. В обоих  
случаях в поровых каналах фильтрующей загрузки образуется  
турбулентный режим движения смеси, характеризующийся  
завихрениями и противотоками, что способствует молекуляр-  
ному контакту воды с поверхностью зерен загрузки. При этом  
на зернах фильтрующей загрузки формируется адсорбционно-  
каталитическая дегидратированная пленка из соединений  
железа (и марганца, если он присутствует в воде), повышаю-  
щая эффективность процессов обезжелезивания и демангане-  
зации.

Как показали рентгенографические исследования состава  
адсорбционно-каталитической дегидратированной пленки  
образовавшейся на зернах загрузки эта пленка состоит из  
магнетита, сидерита, гетита и гематита. Указанные соедине-  
ния имеют плотную структуру, а их объем в пять раз меньше  
, чем объем гидроксида железа [1].

Поэтому темп прироста потерь напора в фильтрующей за-  
грузке при напорном фильтровании по методу “сухой филь-  
трации” чрезвычайно мал, а продолжительность фильтроци-  
кла велика (от нескольких месяцев до года).

Период “зарядки” фильтрующей загрузки (т.е. образова-  
ние на поверхности адсорбционно-каталитической дегидрати-  
рованной пленки) составляет от двадцати минут до двух час-  
сов. Эффект обезжелезивания воды зависит от следующих  
основных факторов: воздушно-водяного соотношения, скоро-  
сти фильтрования, параметров фильтрующей загрузки, степе-  
ни диспергирования воды, рН аэрированной воды. Кроме  
того, качество обработки воды обратно пропорционально  
крупности зерен и прямо пропорционально его высоте [2].

Высокий технико-экономический эффект метода “сухой  
фильтрации” и отсутствие промывных вод, конструктивная  
простота установки и высокая надежность делают этот метод  
весьма перспективным [3].

Вместе с тем, “сухая фильтрация” недостаточно эффек-  
тивна при обезжелезивании вод с повышенной окисляемо-  
стью вследствие недостаточной окислительной способности  
кислорода воздуха. Поэтому целесообразно исследовать эф-  
фективность метода “сухой фильтрации” при использовании  
вместо кислорода воздуха других, более сильных окислите-  
лей, например озона.

Озон является одним из самых сильно действующих  
окислителей, используемых в очистке воды. Он представляет

собой светло голубой газ с едким запахом и широко исполь-  
зуется в Европе и США. Озон относительно непостоянен в  
воздухе и должен производиться на месте, где происходит его  
дозирование. В воде озон в 11,5 раз более растворим, чем  
кислород. Из-за своего непостоянства, остаточный озон не  
может удерживаться длительное время в воде [4].

Озон – нестабильный газ, образующийся в результате  
ионизирующего действия кислород воздуха электрического  
поля с высоким потенциалом. Видимый результат этого дей-  
ствия – фиолетовый разряд. В настоящее время в промыш-  
ленности распространен способ получения озона при помощи  
барьерного электрического разряда. Осушенный и охлажден-  
ный кислородосодержащий воздух проходит через разрядный  
промежуток, где под воздействием барьерного электрическо-  
го разряда ему сообщается энергия, достаточная для частич-  
ной диссоциации молекул кислорода. Образовавшийся ато-  
марный кислород реагирует с молекулой кислорода, образуя  
озон. Возникновению электрической дуги или искровому  
пробоему препятствует слой диэлектрика, наносимый на один  
или на оба электрода. Мощность озонатора прямо пропорци-  
ональна величине напряжения на озонаторе, частоте тока,  
диэлектрической постоянной материала диэлектрика и обрат-  
но пропорциональна толщине этого диэлектрика [5].

Затем озонсодержащий воздух, выходящий из озонатора  
смешивают с водой и озон окисляет примеси, находящиеся в  
воде. Кроме использования озона в качестве сильного окис-  
лителя, его также используют в качестве дезинфицирующего  
средства. При использовании озона в качестве дезинфициру-  
ющего средства, его смешивают с водой, прошедшей весь  
цикл очистки, и затем эту воду подают потребителю [6].

Разработан способ “мокроразрядного” синтеза озона [7],  
сущность которого состоит в диспергировании водного пото-  
ка на капли и обработке капельно-воздушной смеси высоко-  
вольтными разрядами. В отличие от классических схем озо-  
нирования при этом образуется не только озон, но и атомар-  
ный кислород, перекиси закиси водорода, гидроксильные  
группы, ультрафиолетовое излучение и другие факторы.

В результате происходит окисление примесей, содержа-  
щихся в воде, и обеззараживание воды. Необходимо отме-  
тить, что окислительный потенциал радикалов гидроксиль-  
ных групп существенно выше, чем окислительный потенциал  
озона. Поэтому радикалы гидроксильных групп являются  
универсальными окислителями и скорость реакции примесей  
с радикалами гидроксильных групп во много раз выше скоро-  
сти реакции примесей с озоном. Важно то, что при этом ме-  
тоде озонирования не требуется сушка и очистка воздуха, а  
процессы синтеза озона и обработки воды осуществляется в  
одном реакторе, что уменьшает габариты озонаторного обо-  
рудования, при этом очистка воды озоном протекает эффек-  
тивнее за счет более полного использования энергии высоко-  
вольтных электрических разрядов. Необходимо отметить, что

*Наумчик Григорий Остапович. Преподаватель-стажер каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского  
государственного технического университета.*

*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*