

УДК 628.162.1(043)

Аверина Ю.М., Курбатов А.Ю., Калякина Г.Е., Зверева О.В.

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ФАЗ ВОДА ВОЗДУХ ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА АЭРИРОВАНИЯ

Курбатов Андрей Юрьевич – генеральный директор ООО «КОБГАРД»

Аверина Юлия Михайловна – к.т.н., доцент каф. ИМиЗК, председатель ОСМУСС РХТУ имени Д.И. Менделеева,

e-mail: averinajm@mail.ru

Калякина Галина Евгеньевна – студентка каф. ИМиЗК РХТУ имени Д.И. Менделеева;

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

125047, Москва, Миусская пл., 9

Зверева Ольга Владимировна – заведующий лаборатории, ООО «БИНАКОР-ХТ», Россия, Москва.

Приведена схема и описание разработанной и созданной экспериментальной установки для изучения процесса аэрирования с использованием керамических мелкопористых трубок. Представлена разработанная методика проведения эксперимента по аэрации. Выведена формула для расчета поверхности контакта фаз «вода-воздух» в технологической ячейке с изменяемой геометрией.

Ключевые слова: обезжелезивание, керамическая мембрана, аэрация, поверхность контакта фаз.

CALCULATION OF THE SPECIFIC AREA CONTACT OF THE PHASE WATER AIR FOR THE DESIGN OF THE EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR THE STUDY OF THE AERATING PROCESS

Averina Yu.M., Kurbatov A.Yu., Kalyakina G.E., Zvereva O.V.*

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

*LLC "BINAKOR-HT", Moscow, Russia.

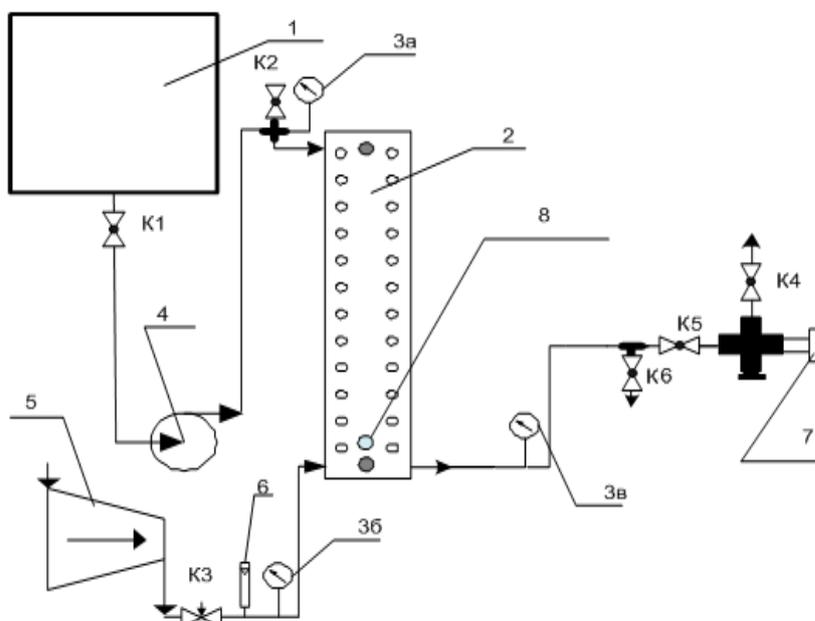
The scheme and description of the developed and created experimental installation for studying the aeration process using ceramic fine-pored tubes is given. The developed technique for performing the aeration experiment is presented. A formula has been derived for calculating the contact surface of the water-air phases in a technological cell with variable geometry.

Key words: deironing, ceramic membrane, aeration, contact surface of phases.

Проблемы существующих технологий обезжелезивания природных вод с успехом можно решить с помощью применения технологии разделения с использованием керамических мембран, которая основана на окислении ионов Fe^{2+} кислородом с последующей фильтрацией [1-7]. Т.к. аэрация значительно увеличивает скорость окисления ионов Fe^{2+} в воде [8-10], то возникает необходимость определения зависимости удельной поверхности контакта фаз «вода-воздух» от режимных параметров процесса барботирования и геометрических параметров установки.

Исследование барботажа через керамические трубчатые мембраны проводили на экспериментальной установке по изучению аэрирования (рис. 1). Из емкости исходной воды

(поз.1), по напорному трубопроводу насосом (поз.4) воду подавали в прозрачную аэрационную ячейку (поз.2) ($h_{\text{раб}}=500\text{мм}$, канал сечением $30\times 16\text{мм}$). Давление в ячейке измеряли манометрами (поз.3а и 3в), регулирование давления производили кранами (поз.К2 и К5). Подачу воздуха в ячейку (поз.2) осуществляли с помощью компрессора (поз.5). На трубопроводе подачи газа расположены регулирующий вентиль (поз.К3), ротаметр (поз.6) и манометр (поз.3б). Выходящий из аэрационной ячейки трубопровод соединён с крестовиной, один выход которой заглушен, но необходим для возможности отбора проб. В крестовину помещали электрод анализатора кислорода (поз.7). Ввод газа в ячейку производили через монтажное отверстие аэратора (поз.8). Регулирующий вентиль (поз.К6) сливной [11].



1 – емкость с исходной водой; 2 – аэрационная ячейка; 3 – манометры; 4 – насос; 5 – компрессор; 6 – ротаметр; 7 – анализатор кислорода; 8 – отверстие для монтажа аэратора.
K1, K2, K3, K4, K5, K6 – запорно-регулирующая арматура.

Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки по изучению аэрирования.

Методика расчета величины удельной поверхности контакта фаз «вода-воздух».

Для учёта гетерогенной составляющей процесса окисления ионов Fe^{2+} , была выведена формула для расчета величины удельной поверхности контакта фаз «вода-воздух». Площадь поверхности контакта фаз «вода-воздух» зависит от трех факторов:

- ✓ Объемного расхода воздуха,
- ✓ Размера пузырька,
- ✓ Времени пребывания пузырька, для заданной геометрии ячейки.

Для начала введём обозначения некоторых переменных:

d_n – диаметр пузырька, 10^{-6} м (определяется эмпирически по фото и видео съемке, непосредственно, при расчетах используется средний диаметр);

$S_{1п}$ - площадь поверхности одного пузырька, m^2 ;

S - площадь поверхности пузырьков, образовавшихся в единицу времени, m^2/c ;

$V_{1п}$ - объем одного пузырька, $10^{-12} m^3$;

z - число пузырьков образовавшихся у поверхности в единицу времени (у поверхности), $1/c$;

$G_{возд}$ – расход воздуха, задается и измеряется ротаметром, $10^{-6} m^3/c$;

h - высота ячейки, м;

ω_n - скорость подъема пузырьков, определяется эмпирически по видео съемке, м/с;

t – время всплытия пузырька, с.

$$S_{1п} = \pi d_n^2 \quad (2.8)$$

$$V_{1п} = \frac{1}{6} \pi d_n^3 \quad (2.9)$$

$$z = \frac{G_{возд}}{V_{1п}} \quad (2.10)$$

$$S = z S_{1п} \quad (2.11)$$

$$S = \frac{G_{возд}}{V_{1п}} \pi d_n^2 = \frac{6 G_{возд}}{\pi d_n^3} \pi d_n^2 = \frac{6 G_{возд}}{d_n} \quad (2.12)$$

$$t = h / \omega_n \quad (2.13)$$

При расчете удельной площади добавляется ещё один параметр – расход обрабатываемой воды.

$S_{уд}$ – удельная площадь поверхности контакта фаз вода-воздух m^2/m^3 обрабатываемой воды;

$G_{воды}$ – объёмный расход воды, подвергаемый барботажу в единицу времени, при динамическом движении жидкости. Задается и измеряется ротаметром [m^3/c].

$V_{воды}$ – объем воды в ячейке единомоментно подвергаемый барботажу, m^3 .

$$V_{воды} = G_{воды} t \quad (2.14)$$

$$S_{уд} = \frac{S t}{V_{об}} \quad (2.15)$$

где $V_{об}$ - общий объём подвергаемой барботажу воды за время t , m^3 , который рассчитывается по формуле:

$$V_{об} = V_{воды} + V_{я} \quad (2.16)$$

где $V_{я}$ – объем рабочей зоны барботажа.

При установившемся равновесии за время всплытия пузырька новая удельная поверхность вода-воздух образуется в объеме воды

соответствующему объему рабочей зоны, а именно:

$$V_{\text{я}} = abh, \quad (2.17)$$

где a – длина рабочей зоны, м;

b – ширина рабочей зоны, м;

h – высота рабочей зоны, м.

Таким образом, выведена формула для расчета площади поверхности контакта фаз вода-воздух в технологической ячейке с заданной геометрией [11]:

$$S_{\text{уд}} = \frac{6G_{\text{возд}} t}{d_{\text{п}}(V_{\text{я}} + G_{\text{воды}} t)} \quad (2.18)$$

Данная формула устанавливает зависимость скорости гетерогенного процесса окисления ионов Fe^{2+} от удельной поверхности контакта фаз «вода-воздух», а также влияние режимов процесса барботирования воздуха и конструктивных параметров установки обезжелезивания на величину удельной поверхности контакта фаз «вода-воздух».

Работа выполнена при финансовой поддержке РХТУ им. Д.И. Менделеева, проект № Х032-2018.

Список литературы

1. Аверина Ю.М., Александрин А.П., Кабанов О.В., Комягин Е.А., Ляпин И.Ф., Мынин В.Н., Петров В.В., Скопин А.Л., Терпугов Г.В., Терпугов Д.Г. Способ обработки жидкостей газами. Пат. 2400295 РФ. 2010.
2. Аверина Ю. М., Павлов Д. В., Варакин С. О. Обезжелезивание воды с замкнутым циклом водопользования // Вода: химия и экология. — 2011. — № 2. — С. 18–22.
3. Керамические трубчатые мембраны в качестве диспергирующего материала / Ю. М. Аверина, Г. В. Терпугов, В. А. Никитин, Г. И. Кандаки // Успехи в химии и химической технологии. — 2010. — Т. 24, № 2. — С. 47–51.
4. Аверина Ю.М., Сальникова О.Ю., Труберг А.А., Терпугов Г.В., Кабанов О.В., Кацерева О.В., Комляшов Р.Б. Обезжелезивание природных вод с применением наномембран // Успехи в химии и хим. технологии – 2009. - Том. XXIII, №2 (95) - С. 14-17.
5. Аверина Ю.М., Труберг А.А., Терпугов Г.В., Кабанов О.В., Кацерева О.В., Комляшов Р.Б., Куренков Р.А. Очистка сточных вод от тяжелых и радиоактивных металлов // Успехи в химии и химич. технологии – 2009. - Том. XXIII, №2 (95) - С. 18-21.
6. Аверина Ю.М., Терпугов Г.В., Никитин В.А., Кандаки Г.И. Керамические трубчатые мембраны в качестве диспергирующего материала // Успехи в химии и химической технологии – 2010. - Том. XXIV, №2 (107) - С. 47-51.
7. Курбатов А.Ю., Аснис Н.А., Баталов Р.С., Борткевич С.В., Аверина Ю.М., Ваграмян Т.А. Способ очистки воды. Пат. 2525177 РФ. 2014.
8. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод. М.: Высшая школа, 1987.
9. Аверина Ю.М., Меньшиков В.В., Курбатов А.Ю. Изучение технологии окисления растворенного в природных водах железа, методом принудительной аэрации с применением керамических мембран // Сборник научных работ «Современные концепции научных исследований» Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) ежемесячный научный журнал часть 6 (15), 2015. – С. 6-10.
10. Аверина Ю.М., Меньшиков В.В. Практическое изучение основ технологии обезжелезивания природных вод до питьевого качества различными режимами фильтрации с применением керамических мелкопористых трубчатых мембран // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том. XXIX, №1 (160) – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. - С. 82-85.
11. Аверина Ю.М. Интенсификация процесса аэрации при удалении ионов железа из воды. Дисс. ... канд.тех. наук. Москва - 2016. с. 130 - 143.