

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУЙНОЙ АЭРАЦИИ ЖИДКОСТИ

Д.П. Фомин, Ю.А. Заславский

Дальневосточный государственный технический университет

Струйная аэрация жидкости очень широко применяется в промышленности, например, в устройствах для физико-химической и биологической очистки сточных вод, в декарбонизаторах, в щелевых деаэраторах, для обогащения полезных ископаемых, для интенсификации процессов теплообмена и в других технологических процессах.

Для оптимизации того или иного технологического процесса необходимо управлять механизмом струйной аэрации, влияя на фракционный состав газовой фазы аэрированной жидкости.

Универсальность данного способа аэрации заключается в том, что, не изменяя геометрических параметров струи можно регулировать количество подаваемого в жидкость воздуха в довольно широких пределах, путем изменения расхода жидкости через насадок, длины свободного участка струи, скорости струи. При этом средний диаметр диспергированных в жидкости пузырьков так же изменяется.

В результате проведенных опытов, а так же на основании работ других исследователей авторами построена математическая модель процесса аэрации воды незатопленной свободно падающей круглой струей.

Применение этой модели обеспечит возможность прогнозирования следующих параметров процесса струйной аэрации воды: глубина проникновения аэрирующей струи, размеры и форма факела пузырьков, количество эжектируемого воздуха и средний диаметр пузырьков.

Исходными данными для моделирования являются геометрические (высота, скорость и угол падения, диаметр), физические (температура и вязкость) и химические (содержание NaCl) характеристики аэрируемой жидкости.

Ниже приведены некоторые зависимости, использованные при моделировании.

Согласно В.Н. Русакову[1], глубина проникновения аэрирующей струи в жидкость растёт с увеличением гидравлического радиуса насадка и выходной скорости струи и уменьшается при увеличении высоты свободного падения струи от $l_c \approx 0$ до $l_c \approx l_{cp}$, а при $l_c > l_{cp}$ не зависит от нее. Глубина проникновения водовоздушного факела определяется из формулы:

$$\frac{l_\phi}{R_o} = 15,5\sqrt[3]{Fr}$$

где Fr – число Фруда, приведенное к скорости истечения струи из насадка.

Г.С.Попкович и Б.Н.Репин[2] рекомендуют определять глубину погружения в жидкость воздушных пузырьков H_I по формуле:

$$H_I = 2,6(Vd_H)^{0,7},$$

где: V - скорость истечения струи, м/с;

d_H - диаметр насадка, м.

Максимальный диаметр факела пузырьков D_ϕ примерно равен $0,4 l_\phi$ и незначительно зависит от числа Фруда по струе[3].

В.Е. Русаков[1] предлагает определять коэффициент аэрации α из выражения:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = 1,56 \cdot 10^{-6} X^{\frac{3}{4}} \left(\frac{l_c}{R_o} \right)^{\frac{3}{4}} \frac{1}{\sin \beta},$$

где l_c - высота свободного падения струи;

R_o - гидравлический радиус насадка;

X – безразмерный комплекс, равный $Re \sqrt{Fr}$ (приведенный к скорости истечения струи из насадка).

В.Г. Левич[4] предлагает следующее уравнение для определения среднего размера пузырьков воздуха:

$$R_n^m = R_n^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\sigma_{г-ж}}{k\rho_{ж}} \right)^{\frac{3}{5}} \frac{1}{\nu^{\frac{6}{5}}} \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_{г}} \right)^{\frac{1}{5}}$$

где R_n - начальный характерный размер пузырька;

k - коэффициент сопротивления воздушных пузырьков;

$\rho_{г}$ - плотность газа;

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости;

ν - скорость однородного изотропного потока;

$\sigma_{г-ж}$ - поверхностное натяжение на границе газ-жидкость.

Из этого уравнения следует, что размер образующихся пузырьков уменьшается с ростом скорости потока почти обратно пропорционально.

Ю.А. Заславским и В.Ф. Богдановым[5, 6] были получены зависимости для морской воды:

Коэффициент эжекции :

$$K_s = 0,198 C_s^{1,477} Re^{0,161} \text{ , кг/кг;}$$

Концентрация пузырьков воздуха в воде :

$$C_n = 2,014 \cdot 10^{-19} C_s^{0,564} Re^{2,811} \text{ , шт/см}^3\text{;}$$

где : Re - число Рейнольдса;

C_s - солесодержание, кг/кг.

Отмечено, что при аэрации морской воды средний диаметр пузырьков не превышает $75 \cdot 10^{-6}$ м[6].

На основании построенной математической модели, разрабатывается приложение для графической операционной среды Microsoft Windows, рассчитывающее основные параметры и позволяющее получить наглядное представление о процессе аэрации воды незатопленной свободно падающей круглой струей через его визуализацию на дисплее компьютера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Русаков В.Н. Исследование процесса аэрации струй, поступающих в нижний бьеф гидросооружений: Дис... канд. тех. наук / Русаков В.Н. – М. 1958. – 120 с.
2. Попкович Г.С. Системы аэрации сточных вод / Попкович Г.С., Репин Б.Н. – М.: Стройиздат, 1986. – 150 с.
3. Васильев Б.К. Аэрация объема жидкости при помощи незатопленной свободной струи: Дисс.. канд. техн. наук. / Васильев Б.К. Ленинградский инженерно-строительный институт. – Л., 1980, - 230 с.
4. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика / Левич В.Г. - М.: Физматгиз, 1959. – 700 с.
5. Заславский Ю.А. Очистка морских нефтесодержащих вод в условиях Тихоокеанского бассейна / Заславский Ю.А., Богданов В.Ф. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1992. – 144 с.
6. Богданов В.Ф. Флотационная водоочистка с применением струйной аэрации / Богданов В.Ф., Евсеева О.Я., Заславский Ю.А. - Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1991. – 52 с.