

В соответствии с требованиями СНиП [4] необходимое количество вносимого воздуха в аэротенк диктуется загрязненностью воды, выраженное через БПК, а также интенсивностью аэрации.

В работе [1] представлены теоретические зависимости между циркуляционным расходом жидкости и расходом воздуха при различных глубинах погружения диспергатора. Доказано, что скорость восходящего газожидкостного потока жидкости над диспергатором зависит от глубины слоя аэрируемой жидкости и расхода воздуха.

В дальнейшем авторы [2] расчетным путем получили уравнение, связывающее скорость восходящего потока в зоне аэрации с геометрическими размерами и удельным расходом воздуха.

Расширить область применения аэраторов среднего давления (до 50 кПа) в сооружениях биохимической очистки с глубиной слоя жидкости более 5 м возможно при установке в объеме биологического реактора специального устройства, обеспечивающего необходимое перемешивание потоков воды во всем его объеме [3].

Исследование основных гидродинамических параметров в сооружениях шахтного типа на сегодняшний день является актуальной задачей.

**Постановка задачи.** В данной статье сделана попытка с помощью численного решения и реализации

на ЭВМ уравнения гидродинамики проанализировать формирование поля скоростей в шахтных аэротенках с аэрационной колонной внутри при различной интенсивности аэрации. Использование такого метода позволяет исследователям раскрыть некоторые качественные закономерности явлений и дает возможность произвести определенные количественные оценки гидродинамической структуры потока аэрационного сооружения с барботажной аэрацией.

Рассмотрим некоторую замкнутую прямоугольную область, заполненную жидкостью (рис.1). В этот объем устанавливается конусообразная колонна, жидкость в которой отделена от жидкости в объеме боковыми гранями. Колонна состоит из двух частей: верхней прямоугольной и нижней – в виде равносторонней трапеции. На границе нижней и верхней частей колонны равномерно с некоторым шагом располагаются диспергирующие элементы воздуха (аэраторы).

При введении воздуха под слой жидкости образуется восходящий газожидкостный поток, который приводит к образованию замкнутой циркуляции потока через колонну.

Для описания гидродинамических процессов циркуляционного потока несжимаемой ньютоновской вязкой жидкости использованы уравнения Навье-Стокса и неразрывности.

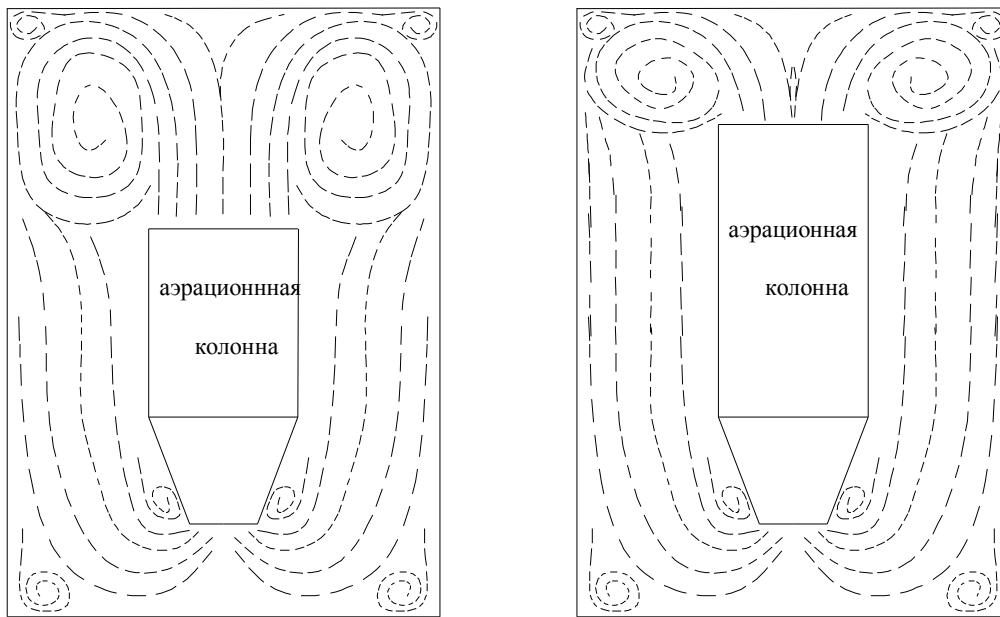


Рис. 1. Схема расчетной области, в зависимости от расположения колонны

Процессы течения жидкости описываются уравнениями количества движения и неразрывности, имеющих следующий вид:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \Delta \vec{V}$$

$$\nabla \vec{V} = 0$$

Уравнения записаны для физических переменных – вектора скорости  $\vec{V}$  и давления  $P$ : свойства жидкости характеризуются плотностью  $\rho$  и кинематическим коэффициентом вязкости  $\nu$

Применяя операцию “rot” исключая из вышеприведенных уравнений давление, получим зависимость, удобную для реализации этих уравнений в плоской постановке:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial V_1 \omega}{\partial x} + \frac{\partial V_2 \omega}{\partial y} = \nu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial x} + \frac{\partial V_2}{\partial y} = 0$$

Где  $\omega$  - z компонента вихря скорости [7]  $V_1$  и  $V_2$  – соответственно горизонтальная и вертикальная компо-

ненты скорости,  $t$  – текущее время,  $x, y$ , – текущие горизонтальные и вертикальные координаты,  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости.

Система уравнений дополняется начальными и граничными условиями.

Начальные условия:  $t=0: V_1 = V_2 = \omega = 0$ .

Граничные условия для заполненного водой объема представлены в виде условий непроницаемости и прилипания [6].

На боковых гранях циркуляционной колонны также выполняются условия непроницаемости и прилипания для обеих компонент скорости. На верхней и нижней границах колонны выполняются условия поступления и истечения жидкости по всему торцу колонны.

Предполагается:

1. что в связи со сложностью решаемой задачи, ее численная реализация будет осуществляться в плоской постановке;
2. задача симметрична относительно вертикальной оси координат;
3. расположение диспергирующих элементов воздуха равномерное

Задача реализована на ЭВМ в среде Delphi 7 с применением методов конечных разностей: интегроинтерполяционного, возмущенного оператора, разности против потока и прогонки [8].

**Результаты расчета.** Как указывалось выше скорость течения является функцией разности плотностей. На рис. 2 представлено изменение максимальной скорости течения жидкости в зависимости от разности плотностей газожидкостной смеси:

Компьютерное моделирование позволило визуально представить распределение циркуляционных токов воды вне аэрационной колонны.

На рисунке 3 изображено гидродинамическое поле скоростей циркуляционного потока в правой половине прямоугольной емкости относительно вертикальной оси (рис. 1).

Полученные за колонной рабочие объемы условно можно разделить на три характерные зоны:

1. **Верхняя** – зона интенсивного смешения двух потоков: газожидкостного, выходящего из циркуляционной колонны и увлекаемого за счет сил трения соседние слои жидкости (линия 1). Причем, вблизи верха колонны наблюдается некоторая замкнутая циркуляция потока жидкости, где и происходит интенсивное растворение кислорода воздуха в жидкость. Кроме того, в этой области хлопки активного ила будут дробиться на отдельные клоны, что улучшает их массообмен. По мере отхода потока от колонны степень турбулизации несколько снижается, и вновь возрастает вблизи стенок сооружения.

2. **Средняя** – зона относительной стабилизации потока (линия 2). В этой зоне интенсивность турбулизации потока низкая, что способствует соединению отдельных клонов в хлопки.

3. **Нижняя** – зона турбулизации придонного слоя (линия 3). Конусообразная нижняя часть колонны способствует турбулизации придонного слоя за счет пульсаций скорости, а естественно и пульсации давления. В результате пульсаций придонного слоя происходит отрыв и взмучивание активного ила от дна, и увлечение его потоком в циркуляционную колонну.

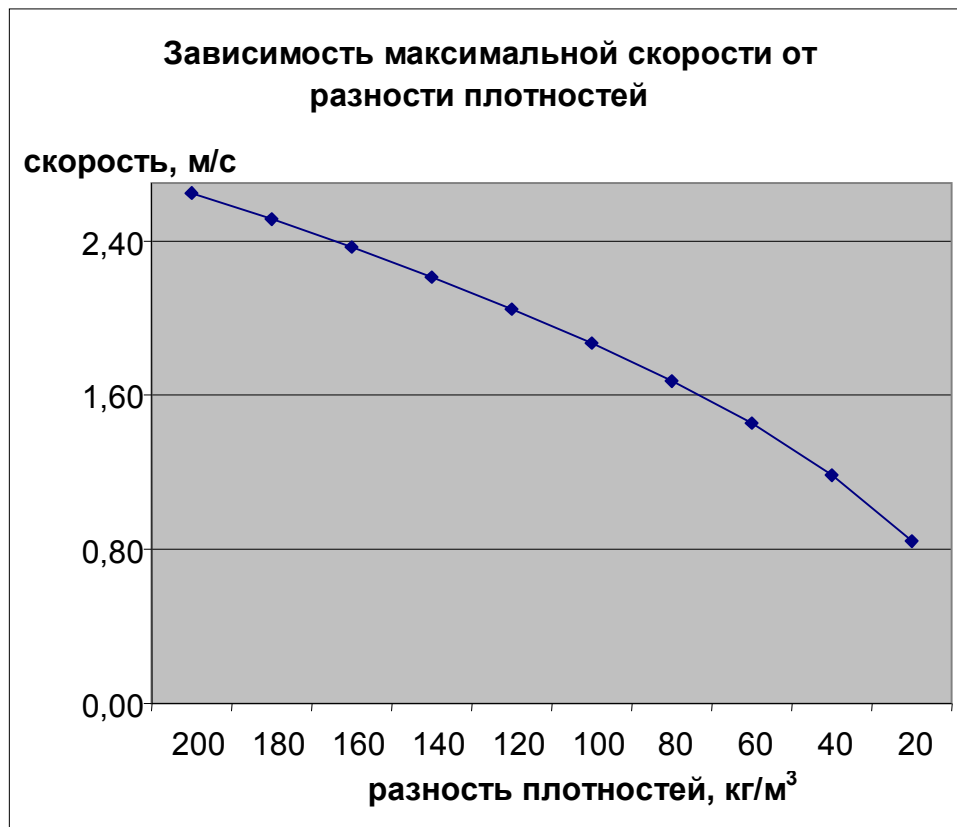


Рис. 2. Зависимость максимальной скорости течения жидкости от разности плотностей

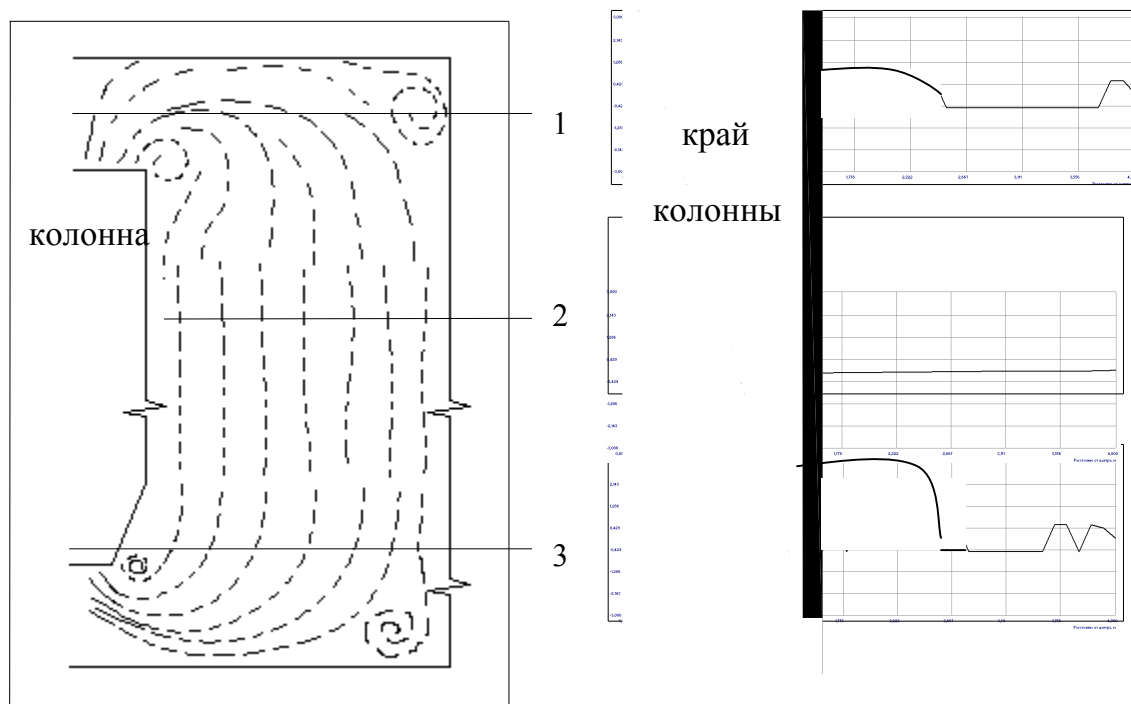


Рис. 3. Линии функции тока и вертикальные компоненты скорости: над колонной, под колонной в активном слое через 10 мин после начала процесса

### Выводы

Предложенная математическая модель, была апробирована на аэротенке – отстойнике, глубиной 8 м, внутри которого установлена эрлифтная циркуляционная колонна. Экспериментально при помощи гидравлической вертушки определены эпюры скоростей потока по глубине сооружений в каждой зоне. Полученные экспериментальные значения скоростей потока отличались от теоретических приблизительно на 15%.

Таким образом, с помощью предложенной математической модели можно с большей достоверностью проектировать габаритные размеры аэротенка с циркуляционной колонной, обеспечивающее стабильное протекание биохимических процессов с различным активным илом при различной интенсивности аэрации в циркуляционной колонне и возникающей турбулентности потоков за колонной. В свою очередь, турбулентность потока в аэротенке влияет на свойство активного ила, такие как: гидравлическая крупность, незаиляющие скорости, концентрация растворенного кислорода и др.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хуссейн Н.А., Сигел Р. Теоретические основы инженерных расчетов. М.: Мир – 1976. - Т. 98, серия Д, № 1.- С. 156-168.
2. Брагинский Л.Н., Евилевич В.И. Бегачев В.И. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. Л.: Химия, 1980, - 144 с.
3. Нездойминов В.И., Разумов А.Ю., Береза Г.Н. Использование двухъярусных отстойников в качестве аэротенков. Зб. наук. пр. -Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2004.- С. 179-185.
4. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР.- М.:1986.- 72с.
5. П.Роуч Вычислительная гидродинамика.-М. Мир 1981.-640 с. (это вместо Андерсена)
6. Повх И.Л.Техническая гидродинамика.-Л., Машиностроение.-1967.-540с.
7. Затвердевание металлических композиций: производство и моделирование // Белоусов В.В., Недопкин Ф. В., Лейбензон В.А., и др.. Донецк ООО «Юго-Восток», ЛТД, 2005.- 231с.
8. Самарский А.А. Введение в конечные разности. – М.: Наука, 1979. 656 с.

пост. 10.04.07.