

Б.С. Кеенофонтов, доктор техн. наук, профессор,
Д.В. Сазонов, аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ФЛОТАЦИОННЫХ УСТАНОВОК С ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ АЭРАЦИИ

В работе рассмотрено применение пневмогидравлического способа аэрации при флотационной очистке воды. Показано, что пневмогидравлическая система удовлетворяет данным требованиям и обладает рядом преимуществ перед наиболее распространенными системами аэрации. С учетом особенностей процесса, протекающего при пневмогидравлическом аэрировании, предложена двухкамерная флотационная машина с пневмогидравлической системой аэрации. Разработана методика расчета предлагаемой флотационной машины с использованием результатов моделирования.

Аэрация – основа флотационного процесса, поэтому важнейшей задачей является выбор системы аэрации, которая обеспечит требуемые гидродинамические параметры для высокой эффективности процесса. При этом предпочтительно использование более простой по конструкции системы с меньшими энергозатратами. Проведенный анализ литературных источников и собственные результаты исследований показали, что пневмогидравлическая система удовлетворяет данным требованиям и обладает рядом преимуществ перед наиболее распространенными системами аэрации [1–3].

С учетом особенностей процесса, протекающего при пневмогидравлическом аэрировании, нами предложена двухкамерная флотационная машина с пневмогидравлической системой аэрации.

На экспериментальной установке лабораторного масштаба проведено определение важнейших параметров данной системы аэрации:

диаметра пузырька, скоростей всплытия, интенсивности аэрации. Проведено математическое моделирование процесса с учетом параметров, определенных экспериментально. Предложена методика расчета предлагаемой флотационной машины с использованием результатов моделирования.

Определение параметров системы аэрации было выполнено на лабораторной установке, состоящей из камеры аэрации, в которой генерируются пузырьки воздуха с помощью пневмогидравлической системы аэрации. На камере закреплена небольшая прозрачная емкость, частично погруженная в воду. С одной стороны емкости установлен цифровой USB-микроскоп, а с противоположной стороны, напротив микроскопа, – источник света. При этом цифровой USB-микроскоп подключен к компьютеру.

В данном эксперименте проводились измерения диаметров и скорости всплытия пузырьков, генерируемых в данной установке, и статистическая обработка результатов.

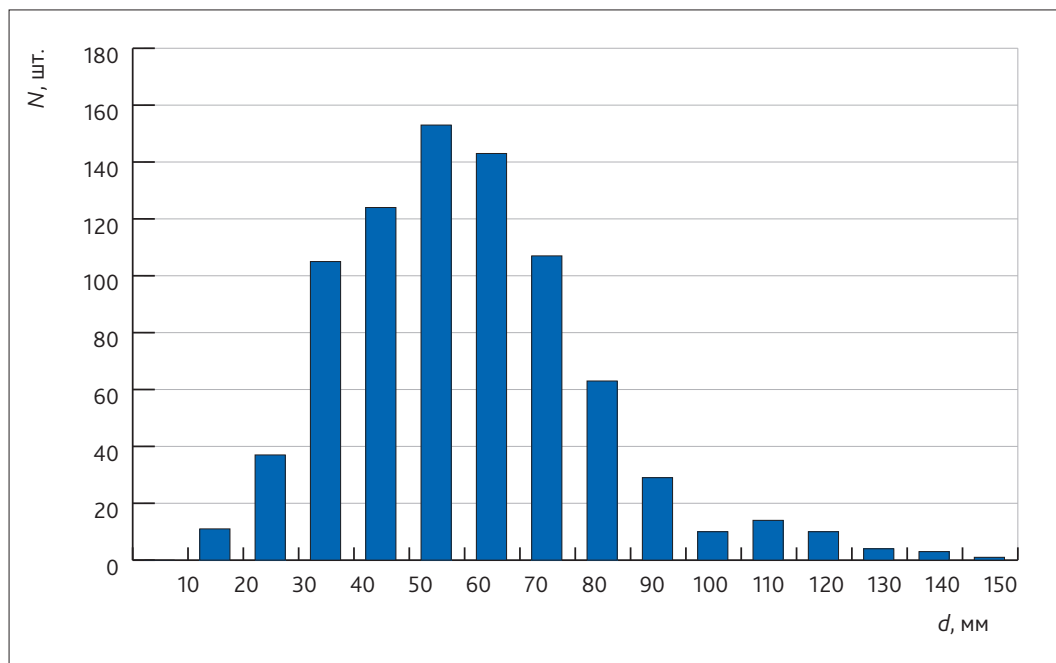


Рис. 1. Гистограмма распределения диаметров пузырьков

Эксперимент проводился при расходе воды около 0,7–0,8 м³/ч. В прозрачную емкость, частично погруженную в воду, набиралась исследуемая водовоздушная смесь. Постепенно пузырьки воздуха всплывали, вытесняя воду из емкости. При их попадании в поле зрения USB-микроскопа они периодически регистрировались. Полученные фотографии анализировались и были обработаны с помощью компьютерной программы. Далее была проведена обработка полученных результатов, в ходе которой все пузырьки были разбиты на группы по размерам: 0–10 мкм в диаметре, более 10–20 мкм и т.д. На основе этого была построена гистограмма распределения диаметров пузырьков (рис. 1), на которой число под столбцом указывает левую границу диапазона, а по оси ординат – количество пузырьков, попавших в данный диапазон.

Проанализировав все данные, можно сделать следующие выводы.

- Разброс диаметров пузырьков находится в интервале 10–160 мкм.
- Наибольшее число пузырьков с диаметрами в интервале 50–60 мкм – почти 20 % всех пузырьков), а на диапазон 30–80 мкм приходится 75 % пузырьков.
- Средний диаметр пузырька около 60 мкм.

Наряду с определением размеров пузырьков были рассчитаны и скорости их всплытия.

С учетом распределения пузырьков следует ожидать и такого же примерно распределения по скоростям всплытия этих пузырьков. Действительно, полученные данные свидетельствуют о подобном распределении пузырьков как по размеру (рис. 1), так и по скоростям их всплытия (рис. 2). При этом на гистограмме (рис. 2) число под столбцом указывает левую границу диапазона, а по оси ординат – количество пузырьков, попавших в данный диапазон.

С учетом особенностей процесса, протекающего при пневмогидравлическом аэрировании, нами предложена двухкамерная флотационная машина с пневмогидравлической системой аэрации.

Используя многостадийную модель флотационного процесса, предложенную нами ранее [1], можно описать процесс флотационного извлечения загрязнений из сточной жидкости в такой флотомашине в два этапа: на первом этапе – в режиме идеального смешения, а на втором – в режиме идеального вытеснения (рис. 3).

Таким образом, в первой камере создаются оптимальные условия для образования флотокомплексов, а во второй – благоприятные возможности для их всплытия в пенный слой, так как для образования флотокомплексов нужно интенсивное перемешивание, а для их всплытия – отсутствие перемешивания. В связи с этим время пребывания в первой камере должно быть не менее интервала времени, определяющего

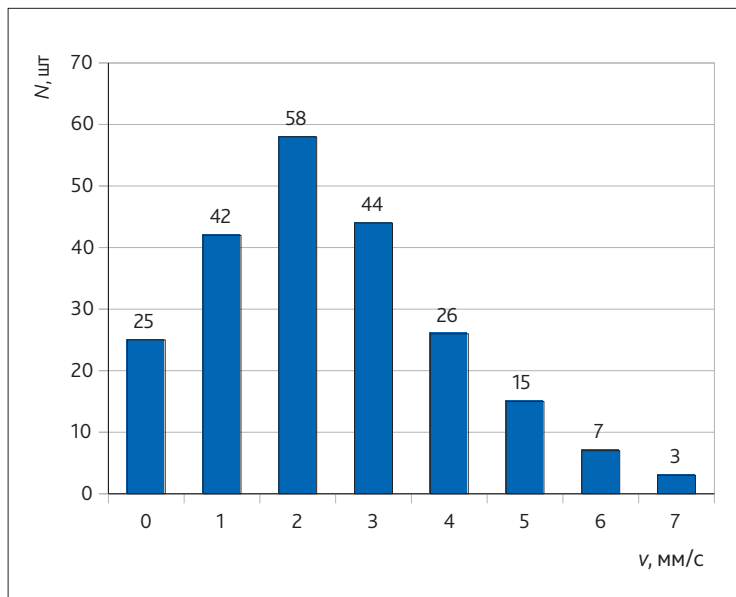


Рис. 2. Распределение скоростей всплытия пузырьков

максимум образования флотокомплексов, а время пребывания очищаемой жидкости во второй камере должно определяться значением начала выхода концентрационной кривой пенообразования практически на постоянное значение.

Наиболее реально отражающей кинетику флотационного процесса является многостадийная модель флотации Ксенофонтова [1–3]. Типичное решение системы уравнений флотационного процесса, согласно модели Ксенофонтова [1], имеет вид решения, представленного графически на рис. 4.

Пример расчета габаритных размеров камер аэрации

В процессе расчета необходимо определить размеры камер I и II: длины камер l_1, l_2 , ширину B , высоту h (рис. 5).

Задаем расход воды: $Q = 3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Рабочий объем флотомашины определяют по формуле:

$$V = Q \cdot t, \tag{1}$$

где Q – расход воды;
 t – время процесса флотации.

По графику рис. 4 определяем полное время процесса $t = 25$ мин. Тогда полный рабочий объем будет равен:

$$V = 3 \cdot 25 / 60 = 1,25 \text{ м}^3.$$

Принимаем рабочую высоту флотомашины: $h = 0,8$ м.

Ширину камер флотомашины принимаем: $B = 1$ м – из конструктивных соображений.

Тогда полная рабочая длина флотомашины: $l = l_1 + l_2$, определяется, как:

$$l = \frac{V}{h \cdot B}. \tag{2}$$

Получим $l = 1,56$ м.

По конструктивным соображениям в отдельных случаях общая длина флотомашины может быть увеличена до 2 м из-за создания дополнительной камеры вывода очищенной воды.

Определим длины камер l_1 и l_2 .

Минимальное время процесса в камере I, определенное по графику рис. 4, составляет

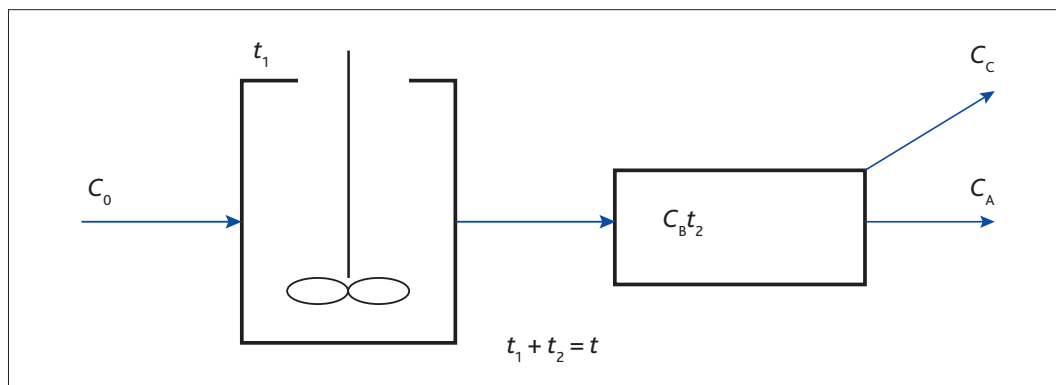


Рис. 3. Схема флотационного процесса во флотокамере с режимом идеального перемешивания и последующего идеального вытеснения: C_0 – начальная концентрация частиц загрязнений в исходной сточной жидкости; C_A – концентрация загрязнений в очищаемой жидкости по истечении времени t ; C_B – концентрация флотокомплексов в момент времени t ; C_C – концентрация загрязнений в пенном слое в момент времени t ; t_1 – время, в течение которого очищаемая жидкость находится в режиме идеального смешения; t_2 – время, в течение которого очищаемая жидкость находится в режиме идеального вытеснения

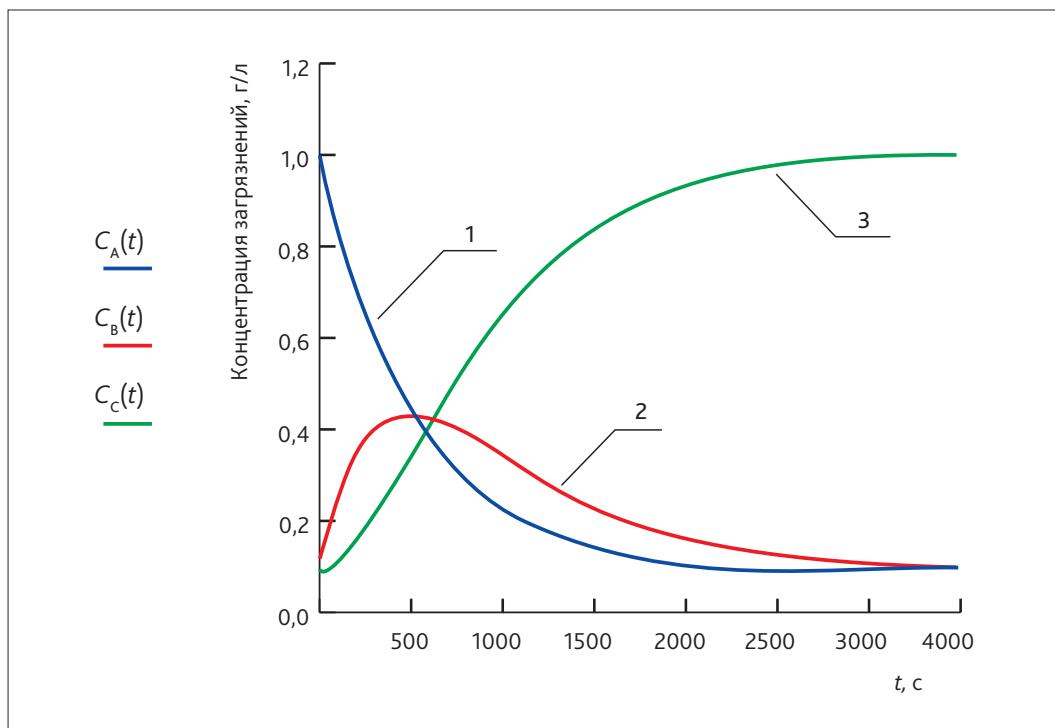


Рис. 4. Графическое решение системы уравнений флотационного процесса согласно модели Ксенофонтова. Зависимость концентрации загрязнений в осветляемой жидкости от времени: 1 – в осветляемой жидкости (состояние А); 2 – в виде флотокомплексов (состояние В); 3 – в пенном продукте (состояние С)

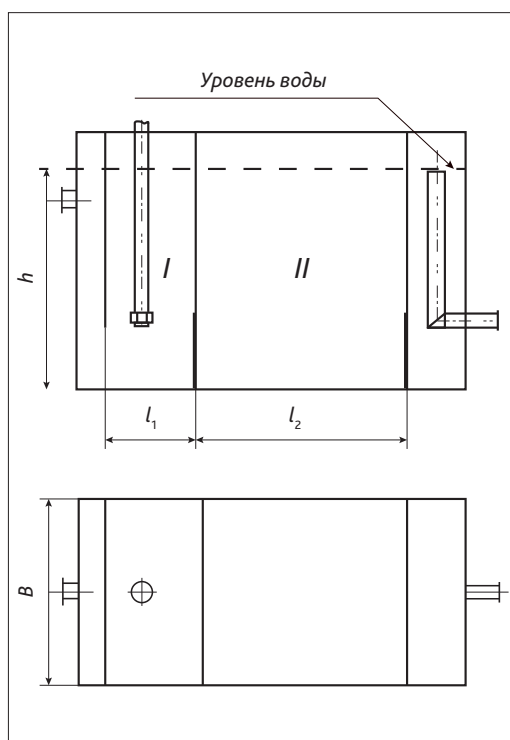


Рис. 5. Расчетные габариты флотомашины

примерно $t_1 = 8$ мин. Тогда минимальная длина l_1 камеры I составляет:

$$l_1 = \frac{Q \cdot t_1}{h \cdot B} = \frac{3 \cdot 8 / 60}{0,8 \cdot 1} = 0,5.$$

Таким образом, $l_1 = 0,5$ м, тогда $l_2 = 1,06$ м или в отдельных случаях, как отмечено выше, $l_2 = 1,5$ м.

В заключение следует отметить, что предлагаемая методика нашла практическое применение. Флотомшины производительностью $3 \text{ м}^3/\text{ч}$, установленные на ряде объектов, имеют такие же габариты, какие приведены в данном расчете.

Литература

1. Ксенофонтов Б. С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.
2. Ксенофонтов Б. С. Очистка сточных вод: Кинетика флотации и флотокомбайны. М.: Изд. дом «Инфра-Форум», 2015. 256 с.
3. Ksenofontov B. S. Water systems flotation treatment. Wastewater and soil flotation treatment. Saarbrücken: LAP LAMBERT acad. publ., 2011. 189 p.