

УДК 628.16.081

Экспериментальное подтверждение математической модели вибрационной флотации

Антуан Лэн

*студент,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

*Научный руководитель: Павлихин Г.П.,
д. т. н., профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
antoine090@gmail.com

Аннотация

В этой статье сравнивается многостадийная модель Б.С.Ксенофонтова флотационной отчистки воды с результатами экспериментальных исследований. Моделирование модели было произведено в программном комплексе Scilab. Было реализовано два вида экспериментов: первый вид эксперимента для измерения параметров необходимых для расчета констант скорости, а второй – для измерения процесса очистки воды. Результаты показали хорошее совпадение между теорией и экспериментами.

Введение

В настоящее время чрезвычайно остро стоит вопрос очистки сточных вод от нефтепродуктов и прочих гидрофобных загрязнений. Одним из наиболее эффективных способов удаления взвешенных частиц и нефтепродуктов из сточных вод является физико-химический процесс флотации. В настоящее время, в силу высокой актуальности и невысоких показателей эффективности данного способа очистки разрабатываются различные способы интенсификации процесса и повышения его эффективности. Одним из перспективных способов интенсификации флотационной очистки является вибровоздействие. Виброфлотация – флотация с применением вибровоздействия. Оно может быть приложено как к флотационной машине, так и непосредственно к аэратору. Этот метод водоочистки изучался такими российскими учеными как Белоокоая Н.В., Карпова Е.В., иностранными – Фукуши, Горен, Шварц и прочими.

Методы и материалы

Для проведения эксперимента в МГТУ им. Баумана на кафедре «Экология и промышленная безопасность» была разработана опытная флотационная установка с использованием вибровоздействий, представленная на рис. 1.

Принцип работы данного аппарата следующий. Корпус аппарата 7 разделяется перегородками на четыре камер. Исходная вода А сначала подается во флотационную камеру диспергирования 2, в которой аэратор 3 соединен с помощью

тяги с вибростендом 1. Вибростенд работает постоянно и передает возвратно-поступательное движение на аэратор. За счет интенсифицирующего воздействия вибрации в данной камере можно добиться более высокой степени очистки. После этого, очищаемая вода поступает во вторую по ходу камеру коалесценции 5, в которой имеется поршень 4, соединенный с помощью тяги с вибростендом 3. В этой камере за счет действия вибрации происходит коалесценция флотокомплексов, их укрупнение и всплытие. Далее очищаемая вода поступает в четвертую камеру - блок тонкого осветления 6, в которой оставшиеся флотокомплексы задерживаются на пластинах блока. После этого, вода поступает в последнюю накопительную камеру и отводится через патрубок В.

В ходе проведения экспериментов, исследовалось содержание нефтепродуктов в используемом стоке автомоечного комплекса.

Режим вибровоздействия выбирался по разработанной методике, которая описана в [1]. Так, для камеры диспергирования частота вибровоздействия составляла 90 Гц, уровень виброускорения - 2g.

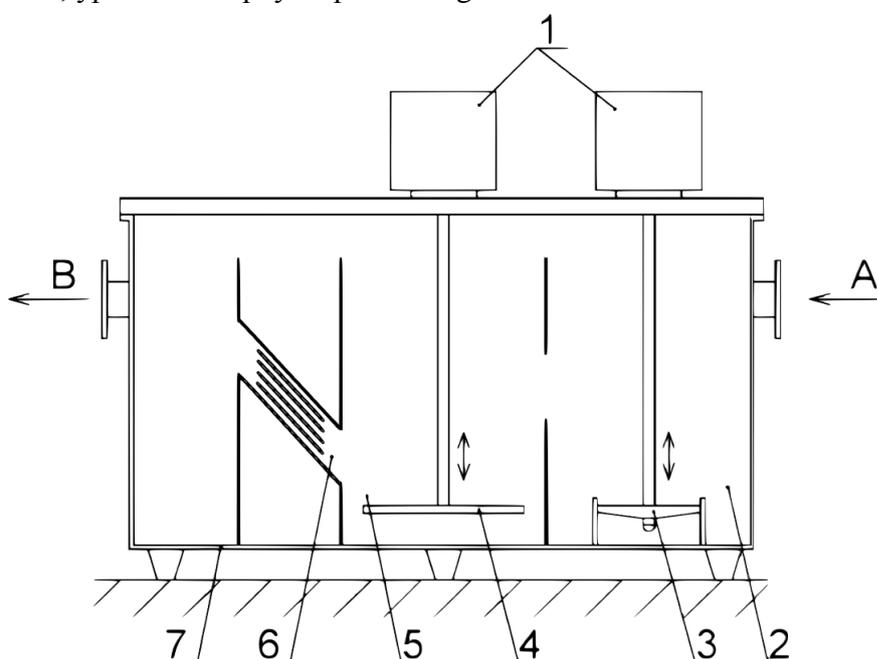


Рис. 1. Установка флотационная с диспергированием в корпусе аппарата:

А – подача исходной воды, В – выход очищенной воды.

- 1 – вибростенды, 2 – флотационная камера диспергирования, 3 – аэратор, с помощью тяги соединенный с вибростендом, 4 – поршень, с помощью тяги соединенный с вибростендом, 5 – флотационная камера коалесценции, 6 – блок тонкослойного осветления, 7 – корпус аппарата.

Для измерения концентрации загрязнения в воде, использовался турбидиметр НАСН 2100N. Это устройство измеряет потерю прозрачности воды из-за взвешенных частиц загрязнения. Результат называется мутность и считается в единицах NTU. Концентрация частиц пропорциональна мутности, тогда: $C_i = k * T_i$.

Теоретическая модель

Модель без вибрации

Здесь рассмотрим следующие состояния частиц: А — исходное состояние частиц, В — состояние прилипания и закрепления частиц на пузырьках, —

состояние частиц в пенном слое. C_A , C_B , C_D — концентрации частиц в состояниях А, В и D.

Тогда у нас есть следующий процесс, представленный на рис. 2:

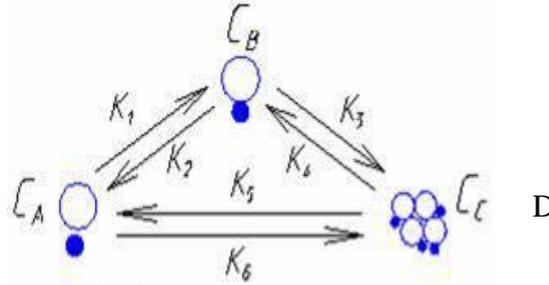


Рис. 2. Схема флотационного процесса без вибрации

Тогда:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A}{dt} &= -(K_1 + K_6)C_A + K_2C_B + K_5C_D, \\ \frac{dC_B}{dt} &= K_1C_A - (K_2 + K_3)C_B + K_4C_D, \\ \frac{dC_D}{dt} &= K_6C_A + K_3C_B - (K_4 + K_5)C_D, \end{aligned}$$

где K_1 — константа для разных способов флотации.

$$K_1 = 1,5 \frac{qE}{Dk_0},$$

где E — эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа при флотации ($E = r^{0,8} / R$), q — скорость барботирования, D — средний диаметр пузырьков и k_0 — фактор полидисперсности пузырьков.

Для нашего материала, $q = 0,0084 \text{ мс}^{-1}$, $k_0 = 1,58$, $E = 0,00045$ и $D = 0,3 \text{ мм}$. Тогда $K_1 = 0,0012 \text{ с}^{-1}$.

K_3 характеризует перемещение флотокомплексов частица-пузырек из жидкости в пенный слой.

$K_5 = v_{\text{под}} / h$, где v — скорость подъема флотокомплексов и h — расстояние от зоны аэрации до пенного слоя. У нас $v_{\text{под}} = 0,00017 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и $h = 0,5 \text{ м}$, тогда $K_5 = 0,00034 \text{ с}^{-1}$.

K_6 характеризует вероятность разрушения флотокомплекса и возвращения частицы в зону флотации.

$K_9 = v_{\infty} / h$, где v_{∞} — скорость осаждения загрязнений из пенного слоя в исходную воду, и h — расстояние от зоны аэрации до пенного слоя. Для нас эти параметры составляют: $v_{\infty} = 0,00062 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и $h = 0,5 \text{ м}$. Тогда $K_9 = 0,0012 \text{ с}^{-1}$.

Считаем что $K_2 = K_4 = K_6 = 0$.

Результат моделирования представлен на рис. 3. Чёрная кривая — C_A , зелёная кривая — C_B , Синяя кривая — C_D . Точками показаны экспериментальные значения для C_A и C_D . Вертикальная ось - мутность (NTU), горизонтальная ось — время, с.

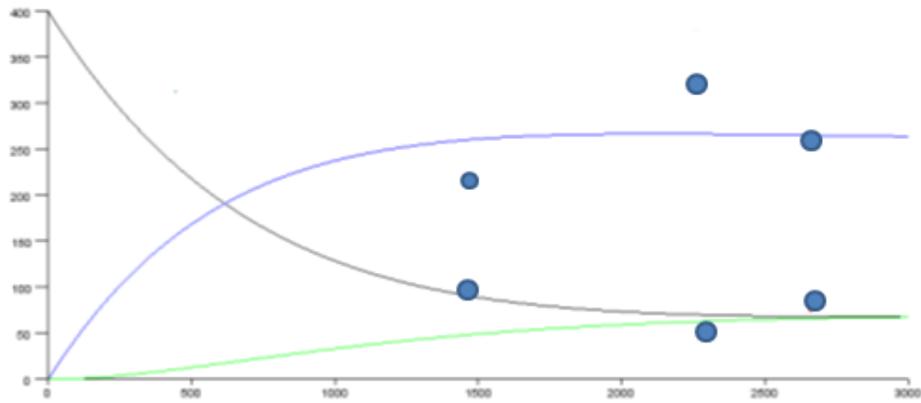


Рис. 3. Сравнение теоретических и экспериментальных данных флотационной очистки сточных вод без вибрационного воздействия

Анализируя графики, показанные на рис. 3, отметим хорошее совпадение между теоретическими и экспериментальными результатами.

Модель с вибрацией

Здесь рассмотрим следующие состояния частиц: А — исходное состояние частиц, В и С — состояние прилипания и закрепления частиц на пузырьках, D — состояние частиц в пенном слое. Ca, Cb, Cc, Cd — концентрации частиц в состояниях А, В, С и D.

Тогда у нас есть следующий процесс, представленный на рис. 4:

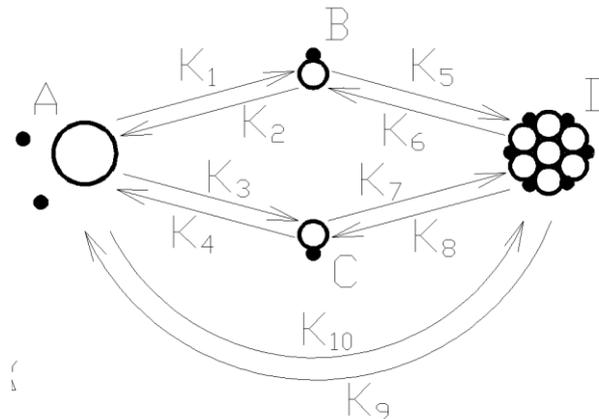


Рис. 4. Схема флотационного процесса с вибрацией.

Тогда:

$$\frac{dC_A}{dt} = -(K_1 + K_3 + K_{10})C_A + K_2C_B + K_4C_C + K_9C_D,$$

$$\frac{dC_B}{dt} = K_1C_A - (K_2 + K_5)C_B + K_6C_D,$$

$$\frac{dC_C}{dt} = K_3C_A - (K_4 + K_7)C_C + K_8C_D,$$

$$\frac{dC_D}{dt} = K_{10}C_A + K_5C_B + K_7C_C - (K_6 + K_8 + K_9)C_D,$$

где $K_1 = K_3$ — константа для разных способов флотации. $K_1 = 1,5qE / Dk_0$, где E — эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа при флотации

($E = r^{0,8} / R$), q – скорость барботирования, D — средний диаметр пузырьков и k_0 — фактор полидисперсности пузырьков.

Для нашего материала $q = 0,0084 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, $k_0 = 1,58$, $E = 0,00045$ и $D = 0,3 \text{ мм}$. Тогда $K_1 = 0,0008 \text{ с}^{-1}$.

$K_5 = K_7$ характеризует перемещение флотокомплексов частица-пузырек из жидкости в пенный слой.

$K_5 = v_{\text{пд}} / h$, где v – скорость подъема флотокомплексов и h – расстояние от зоны аэрации до пенного слоя. У нас $v_{\text{пд}} = 0,00025 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и $h = 0,5 \text{ м}$, тогда $K_5 = 0,0005 \text{ с}^{-1}$.

K_9 характеризует вероятность разрушения флотокомплексов и возвращения частица в зону флотации.

$K_9 = v_{\infty} / h$, где v_{∞} - скорость осаждения загрязнений из пенного слоя в исходную воду и h - расстояние от зоны аэрации до пенного слоя. Для нас эти параметры составляют: $v_{\infty} = 0,00016 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и $h = 0,5 \text{ м}$. Тогда $K_9 = 0,8 \text{ с}^{-1}$.

Считаем что $K_2 = K_4 = K_6 = K_8 = K_{10} = 0$.

Результат моделирования представлен на рис. 5. Частота вибровоздействия – 90 Гц. Чёрная кривая — Ca, зелёная кривая — Cb и Cc, Синяя кривая — Cd. Точками показаны экспериментальные значения для Ca и Cd. Вертикальная ось - мутность (NTU), горизонтальная ось — время, с.

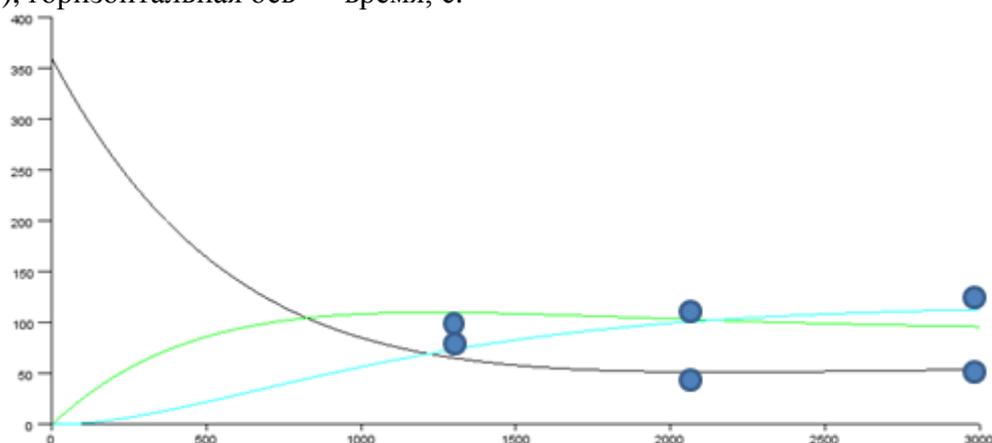


Рис. 5. Сравнение теоретических и экспериментальных значений флотационной очистки сточных вод с вибравационным воздействием

Анализируя графики, представленные на рис. 4, можно отметить хорошее совпадение теоретической модели и экспериментальных данных.

Вывод

На основании проведенной работы, можно сделать вывод о хорошей согласованности теоретической модели с экспериментальными данными. Особенно хорошее совпадение имеет место быть для случая с вибравационным воздействием. Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная модель — удовлетворяет необходимым требованиям и может использоваться для описания вибравационного процесса. Однако, она требует уточнения значений констант, поэтому последующие исследования будут ставить своей задачей поиск более точных констант и сравнение математических методов с экспериментами.

Список литературы

1. Ксенофонов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые

технологии, 2010. 272 с.

2. Ксенофонов Б. С., Иванов М. В. Флотационная очистка сточных вод с использованием вибровоздействий // Безопасность жизнедеятельности, 2011. - № 9. - С. 32-37.