электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 628.16.081

Экспериментальное исследование виброфлотационного процесса очистки воды

 # 04, апрель 2012

Маркина К.Г.[(1)], Иванов М.В.[(2)]

Студентка [(1)], аспирант [(2)],
кафедра «Экология и промышленная безопасность».

Научный руководитель: Г.П. Павлихин,
д.т.н., проф., зав. каф. «Экология и промышленная безопасность»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
markina.kc@gmail.com

Одним из наиболее распространенных способов удаления взвешенных частиц и нефтепродуктов из сточных вод является физико-химический процесс флотации. В наши дни разрабатываются различные способы интенсификации процесса и повышения его эффективности. Одним из перспективных способов интенсификации очистки является виброфлотация.

В настоящее время существуют несколько различных подходов к математическому описанию процесса флотации, применимых и к виброфлотации.

K.Fukushi и N.Tambo [2] предлагают математическое описание процесса столкновения пузырька воздуха с частицей загрязнения и прилипания пузырька к частице в объеме флотокамеры, а так же оценивают скорость подъема флотокомплекса. Согласно предлагаемой модели процесс прилипания описывается статистически через количественный баланс пузырьков, частиц и флотокомплексов. В качестве основного фактора, влияющего на скорость подъема флотокомплекса принят размер флоккул и их состав, включающий функцию плотности флокула и количество прилипших пузырьков.

B.K. Gorain и M.C.Harris [3] рассматривают связь между потоком на поверхности пузыря и флотационной константой. Предлагаемая модель базируется на рассмотрении влияния времени существования пены на кинетику флотации.

T.Y.Liu и M.P.Schwarz [4] математически описывают на микроуровне эффективность столкновения пузырька с частицей в турбулентном потоке, и разрабатывают схему расчета эффективности.

Анализируя вышеуказанные разработки, можно сказать, что большинство исследователей рассматривают вопрос эффективности флотационного процесса либо через вероятность образования флотокомплекса, либо подробно рассматривая факторы, влияющие на эффективность захвата частицей пузырька.

Для рассмотрения процесса с позиций анализа факторов, влияющих на флотационные константы применима обратная задача химической кинетики.

На наш взгляд наиболее подходящей для описания процесса с дополнительным диспергированием воздушных пузырьков (например,

вибровоздействием) является многостадийная модель. Такая модель представляется схемой (рис.1), которая может быть описана следующей системой уравнений [1]:

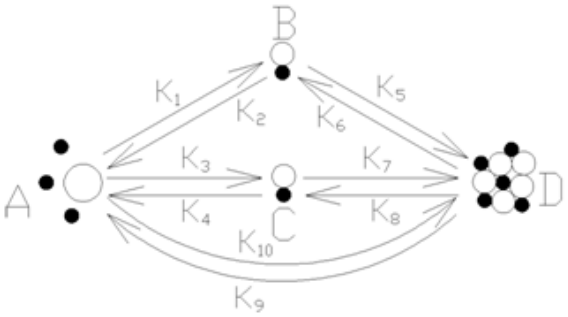

Рис. 1. Схема флотационного процесса с наложением вибровоздействий

$$\begin{cases} \dfrac{dC_A}{dt} = -K_1C_A + K_2C_B - K_3C_A + K_4C_C + K_9C_D - K_{10}C_A \\ \dfrac{dC_B}{dt} = K_1C_A - K_2C_B - K_5C_B + K_6C_D \\ \dfrac{dC_C}{dt} = K_3C_A - K_4C_C - K_7C_B + K_8C_D \\ \dfrac{dC_D}{dt} = K_5C_B - K_6C_D + K_7C_C - K_8C_D - K_9C_D + K_{10}C_A \\ C_B = C_C \\ C_0 = C_A + C_B + C_C + C_D \end{cases}$$

где A - исходное состояние частиц; B и C - состояние прилипания и закрепления диспергированных частиц на пузырьках; D - состояние частиц в пенном слое; C_A, C_B, C_C, C_D – концентрация частиц в состояниях A, B, C и D соответственно; K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10} - константы переходов флотируемых веществ из одного состояния в другое.

Константы перехода могут быть определены из следующих выражений:

Константы K_1, K_3, характеризующие вероятность образования флотокомплекса частица-пузырек в течение времени T_0 и определяются как $K_1 = \dfrac{1,5qE}{k_0\bar{D}}$; $K_3 = \dfrac{1,5qE}{k_0\bar{D}}$ где: q – скорость барботирования, E – эффективность захвата, k_0 – коэф. полидисперсности пузырей, $\bar{D}$ - эффективный диаметр пузырьков воздуха.

В качестве среднего размера пузырьков принимают величину, которая характеризует усредненную размер пузырьков R_r, образующих флотокомплексы.

Вероятность разрушения образовавшихся флотокомплексов характеризуется как $K_2 = AC_fG_aM^2; K_4 = AC_fG_aM^2$, где A – коэффициент, C_f – концентрация флотокомплексов, G_a– градиент скорости аэрации, M – отношение размера частицы и пузырька.

Перемещение флотокомплесков частица-пузырек в пенный слой характеризуется константами: $K_5 = \dfrac{v_r}{h}; K_7 = \dfrac{v_r}{h}$, где υ_r – скорость подъема флотокомплекса; h – расстояние от зоны аэрации до пенного слоя (глубина флотокамеры).

Выпадение флотокомплексов из пенного слоя при условии его мгновенного удаления, определяется константами: $K_6 = FC_f G_s d_r^3$; $K_8 = FC_f G_s d_r^3$, где F – коэффициент пропорциональности; G_s – градиент скорости в околопенном слое; C_f – концентрация пузырьков в пенном слое; d_r – эффективный диаметр пузырьков воздуха в пене.

Константа K_9, определяющая выпадение частиц твердой фазы из пенного слоя в зону аэрации $K_9 = \frac{v_{oc}}{h}$, где υ_{oc} – скорость осаждения частиц твердой фазы, выпадающих из пенного слоя.

Вероятность перехода частиц твердой фазы из жидкости в пену характеризуется константой:

$$K_{10} = \psi \frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{1}{2\sqrt{\pi\psi t}}\left[\exp\left(-\frac{(x-h)^2}{4\pi\psi t}\right) - \exp\left(-\frac{(x+h)^2}{4\pi\psi t}\right)\right]\right\},$$

где t – время, x – текущее расстояние от границы пенного слоя, D – коэффициент диффузии частиц твердой фазы.

В настоящей работе осуществлялось экспериментальное исследование постоянных флотационного процесса путем анализа концентрации загрязнений на различных этапах флотации.

Метод экспериментального определения констант флотации разработан на основе решения обратной задачи химической кинетики для уравнений первого порядка и состоит в следующем:

Проводятся два эксперимента: очищаемая вода проходит флотацию без применения вибрации и с наложением вибровоздействия на аэратор при частоте колебаний 150 Гц. В процессе очистки регистрируются параметры C_A и C_D - концентрация частиц в состояниях A и D соответственно; A - исходное состояние частиц; D - состояние частиц в пенном слое. Концентрация частиц регистрируется через измерение мутности пробы воды. Затем данные обрабатываются, и вычисляются константы флотации, путем подстановки данных в вышеуказанную систему уравнений, решенную относительно констант.

Принимаем допущение, что

$K_2 \to 0; K_4 \to 0; K_4 \to 0; K_6 \to 0; K_8 \to 0; K_9 \to 0$, тогда система уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -K_1 C_A - K_3 C_A - K_{10} C_A \\ \frac{dC_B}{dt} = K_1 C_A - K_5 C_B \\ \frac{dC_C}{dt} = K_3 C_A - K_7 C_B \\ \frac{dC_D}{dt} = K_5 C_B + K_7 C_B + K_{10} C_A \\ C_B = C_C \\ C_0 = C_A + C_B + C_C + C_D \end{cases}$$

где C_0 – концентрация загрязнений в исходной воде.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

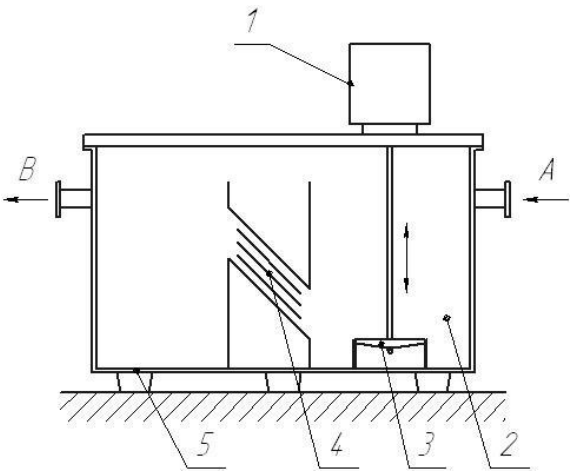

Рис.2. Флотационная установка с диспергированием воздуха в корпусе аппарата: А – подача исходной воды, В – выход очищенной воды. 1 – вибростенд, 2 – флотационная камера диспергирования, 3 – аэратор, с помощью тяги соединенный с вибростендом, 4 – блок тонкослойного осветления, 5 – корпус аппарата.

В опытах использовали сток автомобильной мойки, содержащий большое количество взвешенных частиц, ПАВ и нефтепродуктов. Среднее значение мутности исходной воды для эксперимента без наложения вибрации 154,25 NTU, для эксперимента с наложением вибрации – 105 NTU.

В результате проведения двух экспериментов получены сведения о составе и качестве очищаемой воды на различных этапах флотационного процесса. Пробы отбирались из камеры 5 (рис.2) и пеносборника, после чего измеряли их мутность при помощи турбидиметра hach 2100N. Каждый из двух экспериментов осуществлялся в три этапа, глее вышеуказанные значения измеряли для трех различных расходов, то есть для трех скоростей флотационного процесса.

Поскольку данные о концентрациях были получены для проб, взятых из различных объемов воды, полученные результаты были приведены к единому удельному объему. Объем входной камеры составлял 35 л.

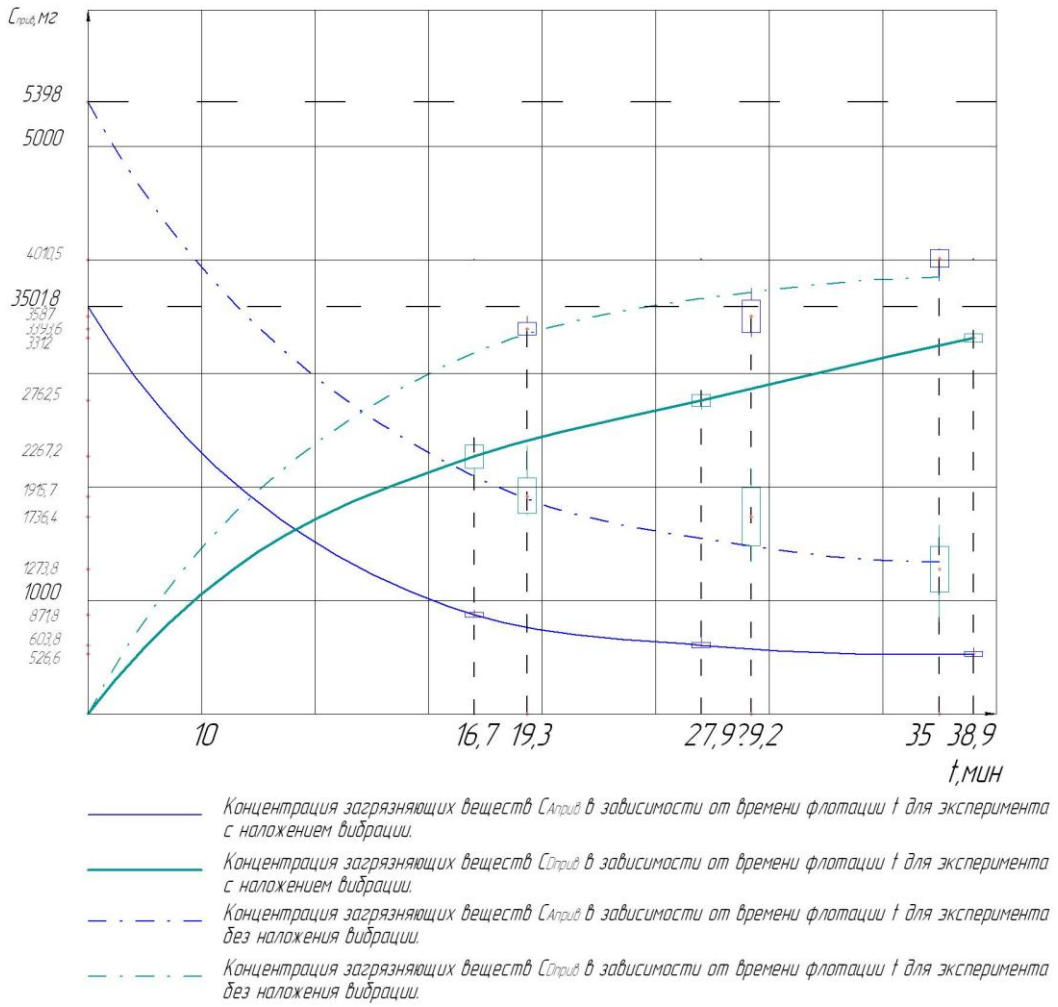

Рис.3 Изменение удельных концентраций $Сприв_D$ и $Сприв_A$ от времени для флотационного процесса без применения вибрации и для виброфлотации

На основании.представленных данных можно констатировать, что в отличие от пневматической, виброфлотация обеспечивает интенсификацию протекающих процессов и дает лучшую эффективность очистки.

Полученные экспериментальные данные показывают, что изменение количественных характеристик загрязненности модельной среды во времени не противоречат известным теоретическим кривым $C_A(t)$ и $C_D(t)$, поученным в рамках флотационной модели Ксенофонтова Б.С.[1]

Установлено, что концентрации загрязняющих веществ независимо от наложения виброоздействия проявляют асимптотическе свойства в зависимости от времени. В состоянии А концентрация загрязнителя стремится к нулю при ,а на стадии D при $t \to \infty$ растет, увеличиваясь от нуля до величины исходного загрязнения.

Литература

1. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010. 272 с.

2. K. Fukushi, N.Tambo, Y.Matsui. A kinetic model for dissolved air flotation in water and wastewater treatment // Water science technology, 1995. Vol.31, № 3-4.

3. B.K. Gorain, M.C Harris, J.-P. Franzidis. The effect of froth residence time on the kinetics of flotation. Minerals Engineering, 1998. Vol. 11, №. 7.

4. Y.Liu, M.P.Schwarz. CFD-based multiscale modeling of bubble–particle collision efficiency in a turbulent flotation cell // Chemical Engineering Science, 2009.