

ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕДОБЫЧИ, НЕФТЕХИМИИ, НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

УДК 628.543

Д. В. Алексеев, А. А. Шагивалеев, Л. Р. Уразбахтина,
И. В. Павлова

КОМПЛЕКСНАЯ ОЧИСТКА СТОКОВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АППАРАТАХ ПРЯМОТОЧНО-ВИХРЕВОГО ТИПА И СТРУЙНЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ АППАРАТАХ

Ключевые слова: очистка стоков от нефтепродуктов; разделения гетерогенных систем; аппараты прямоточно-вихревого типа; флотация; струйные флотационные аппараты; турбулентная миграция частиц.

Одной из важнейших проблем в настоящее время является качественная очистка стоков от нерастворимых взвесей, главным образом от нефтепродуктов. Проведённые экспериментальные исследования эффективности очистки стоков в аппаратах прямоточно-вихревого типа и струйных флотаторах показали высокую эффективность водоочистки.

Keywords: treatment of wastewater from oil; separation of heterogeneous systems; devices direct-flow vortex; flotation; Inkjet flotation devices; turbulent particle migration.

One of the major problems is currently the quality of wastewater treatment insoluble sediment, mainly from petroleum products. Experimental tests of the efficiency of wastewater treatment in the direct-flow apparatus and jet vortex flotators showed high efficiency of water purification.

Наиболее распространённым способом очистки стоков от нефтепродуктов остаётся гравитационный способ, основанный на разнице удельных весов сплошной и дисперсной фазы [1]. Такой способ разделения гетерогенных систем обладает низкой производительностью. В результате отстойники имеют, как правило, большие габариты. Попытки увеличить скорость разделения гетерогенных систем в отстойниках путём применения коагулянтов и флокулянтов ведут к существенному повышению затрат на процесс разделения и незначительному повышению их эффективности.

Наиболее перспективной представляются комплексная очистка стоков от нефтепродуктов в аппаратах прямоточно-вихревого типа и струйных флотаторах. Так, например, универсальным и более эффективным является центробежный способ разделения гетерогенных систем в гидроциклонах. Однако, в связи с тем, что в аппаратах этого типа присутствуют два встречных течения сплошной фазы (периферийный и приосевой) в них наблюдается эффект «вторичного уноса», что снижает качество очистки жидкости от тонкодисперсных фракций. Этому недостатка лишены прямоточно-вихревые сепараторы, в которых реализуется вращательно-поступательное движение несущего потока, но при отсутствии встречных течений в объёме аппарата.

Методика расчёта прямоточно-вихревых сепараторов, предназначенных главным образом для очистки больших объёмов промышленных стоков, как от жидких, так и от твёрдых взвесей, представлена в работах [2, 3].

Общая эффективность разделения гетерогенной системы в сепарационном устройстве определяется соотношением:

$$\eta = \int_0^{\infty} \eta_{\phi} V(a) da, \quad (1)$$

где η – общая эффективность вихревого аппарата; η_{ϕ} – фракционная эффективность процесса сепарации; $V(a)$ – объёмная функция распределения дисперсной фазы по размерам; a – диаметр частицы.

Расчёт общей эффективности разделения может быть выполнен только при наличии данных о дисперсном составе дискретной фазы. Параметры течения и геометрия аппарата выбираются так, чтобы достигаемая при этих условиях фракционная эффективность, обеспечивала заданную общую эффективность разделения гетерогенной системы.

На основе полученных соотношений, было проведено исследование закономерностей изменения эффективности процесса разделения гетерогенных систем в прямоточно-вихревом аппарате, в зависимости от дисперсности дискретной фазы, соотношения плотностей, параметров течения потока, геометрии аппарата, и выявлена связь расходных и геометрических параметров прямоточно-вихревых аппаратов с эффективностью разделения гетерогенных систем.

Расчёты выполнялись для гетерогенной системы капли нефти (мазута) в воде, выбор которой был продиктован необходимостью повышения очистки стоков на предприятиях нефтехимической отрасли и установках первичной подготовки нефти. Расчёты показали, что применение закрутки потока позволяет выполнить удовлетворительное разделение смесей капли нефти – вода уже при традиционной для трубопроводного транспорта жидких сред среднерасходной скорости потока 0,5÷3 м/с. Как и следовало ожидать, эффективность сепарации возрастает при

увеличении скорости потока и при росте крутки потока.

Значение фракционной эффективности процесса разделения существенно зависит от размера частиц дисперсной фазы. Процесс разделения смеси вода – капли нефти протекает по кривым. Зависимость величины фракционной эффективности от диаметра капли, имеет асимптоту в области малых диаметров, а интенсивный рост эффективности разделения в узком диапазоне значений диаметров капель свидетельствует о селективном характере протекания процесса и возможности применения вихревого аппарата в качестве сепаратора – классификатора.

Важным геометрическим параметром, определяющим эффективность процесса, является длина аппарата. Её увеличение до определённых, экономически целесообразных пределов позволяет управлять конечным результатом процесса разделения.

Экспериментальные исследования прямоточно-вихревых сепараторов подтвердили их высокую эффективность в широком диапазоне нагрузок и показали, что они наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к устройствам для очистки стоков от нефтепродуктов.

В настоящее время с целью очистки стоков от тонкодисперсной взвеси широкое распространение получают флотационные способы водоочистки. В силу своей универсальности, высокой производительности и эффективности флотационный способ позволяет повысить степень очистки воды, уменьшить расход реагентов, сократить продолжительность процесса очистки, снизить обводнённость извлекаемых загрязнений и тем самым упростить процесс их дальнейшей переработки [4-6]. Более совершенные способы флотации, например, безнапорная струйная флотация, позволяет резко сократить энергетические затраты на процесс очистки стоков при одновременном сокращении или полном отказе от применения коагулянтов и флокулянтов.

Как показали экспериментальные данные, струйная флотация позволяет эффективно очищать стоки от тонкодисперсной взвеси за счёт турбулизации жидкой фазы. Механизм турбулентной миграции принципиально отличается от механизма осаждения частиц на поверхности пузырьков газа в неподвижной жидкости и значительно превосходит его по интенсивности осаждения. Физическая сущность явления заключается в том, что мелкая частица увлекается турбулентным моём среды в направлении своего движения к поверхности пузырька газа и движется с тем же ускорением, что и турбулентный моель жидкости. Попадая в область пониженной интенсивности турбулентных пульсаций, частица продолжает сохранять некоторое время свою инерцию и перемещается к стенке пузырька газа. Следствием турбулентной миграции частиц является повышение их концентрации у стенок пузырьков газа и осаждение частиц на межфазной

поверхности не только на фронтальной, но и на кормовой части пузырьков.

Известно, что основную роль при осаждении мелких частиц на пузырьки воздуха играет инерционный механизм. В результате, проведена классификация частиц по критерию Стокса в турбулентном потоке на инерционные, слабо инерционные и безынерционные, и установлена эффективность осаждения частиц каждой группы в отдельности и суммарная эффективность осаждения взвешенных частиц.

Классификация флотуемых частиц в зависимости от степени увлечения турбулентными пульсациями среды:

3) I группа $\overline{\mu_p} = 1$ – мелкие частицы, полностью увлекаемые турбулентными пульсациями среды.

$$d < 0,3 \sqrt{\frac{\mu_{жс} R Re^{1/8}}{W_{жс} \rho_ч}} \quad (2)$$

2) II группа $0 < \overline{\mu_p} < 1$ – средние частицы, обладающие некоторой инерционностью по отношению к увлечению турбулентными пульсациями среды.

$$0,3 \sqrt{\frac{\mu_{жс} R Re^{1/8}}{W_{жс} \rho_ч}} < d < 30 \sqrt{\frac{\mu_{жс} R Re^{1/8}}{W_{жс} \rho_ч}} \quad (3)$$

3) III группа $\overline{\mu_p} = 0$ – крупные частицы, не увлекаемые турбулентными пульсациями среды.

$$d > 30 \sqrt{\frac{\mu_{жс} R Re^{1/8}}{W_{жс} \rho_ч}} \quad (4)$$

На основе [7, 8] предложена зависимость для определения осреднённой скорости турбулентной миграции, которая была использована для расчёта эффективности осаждения безынерционных и слабо инерционных частиц.

$$\overline{u_m} = 1,146 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\rho_ч^2 r^4 W_{жс}^5}{\mu_{жс}^2 \rho_ч^2 Re^{5/8}} \cdot \left[\frac{1}{1 + \frac{4}{9} \frac{W_{жс} \rho_ч r^2}{\mu_{жс} R Re^{1/8}}} \right] \quad (5)$$

В результате экспериментальных исследований эффективности струйных флотационных аппаратов с опускными трубами были получены опытные значения эффективности очистки от скорости движения жидкости в перфорированной опускной трубе.

Экспериментальные исследования показали, что эффективность очистки тесно связана с количеством инжектированного воздуха. С увеличением скорости жидкости в перфорированной опускной трубе эффективность очистки растёт. При этом максимальная эффективность, достигнутая при единичном акте флотации, составила 35% при скорости жидкости 18 м/с. Дальнейшее увеличение скорости не приводило к заметному повышению эффективности очистки. Следовательно, можно считать, что для условий

эксперимента: диаметр трубы 25 мм; высота трубы 1,8 м; количество перфораций 20, указанная скорость является оптимальной.

С целью достижения любой заданной степени очистки предполагается или многократное циркуляционное прохождение жидкости через контактные элементы, или использование многосекционного аппарата с последовательным прохождением жидкости через каждую секцию.

Продолжительность флотационной очистки или количество секций струйного флотационного аппарата определяется исходя из требуемой степени очистки и энергетических затрат на процесс водоочистки.

Литература

1. Колесник А.А., Куликова Т.С. Состояние водных ресурсов Республики Татарстан и их использование для питьевого водоснабжения // Научно-практическая конференция «Чистая вода». – Тезисы докладов. Казань, 2000, с.22-30.
2. Овчинников А.А., Шадрин А.А., Алексеев Д.В., Николаев Н.А. Разделение гетерогенных систем жидкость-жидкость и жидкость-твёрдая фаза в прямоточных вихревых сепараторах // Теоретические

основы химической технологии, 2006, том 40, №4, с.442-446.

3. Зиганшин М.Г., Латыпов Д.Д., Алексеев Д.В. Эффективность очистки воды от жидких взвешенных частиц вихревыми сепараторами // Экология и промышленность России, 2008, №12, с.12-15.
4. Алексеев Д.В., Николаев Н.А. Анализ технико-экономических показателей работы флотационных аппаратов // Химическая промышленность, 2001, №1, с.40-43.
5. Алексеев Д.В., Николаев Н.А. Технико-экономический анализ работы флотаторов применительно к очистке стоков промышленных предприятий // Гидромеханика отопительно-вентиляционных и газоочистных устройств: Межвузовский сборник. Казань, КГАСА, 1999, с.82-88.
6. Алексеев Д.В., Николаев Н.А., Лаптев А.Г. Комплексная очистка стоков методом флотации. – Казань: Изд-во КГТУ. 2005. – 158с.
7. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М.: Наука, 1980. 176с.
8. Сугак Е.В., Войнов Н.А., Николаев Н.А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. – Казань, РИЦ “Школа”, 1999. – 224с.

© **Д. В. Алексеев** – доц. каф. экономики и организации производства КГЭУ, alex-dima@list.ru; **А. А. Шагивалеев** – доц. каф. оборудования пищевых производств КНИТУ; **Л. Р. Уразбахтина** – доц. каф. экономики и организации производства КГЭУ; **И. В. Павлова** – ст. препод. каф. экономики КНИТУ, Iren_51@mail.ru.

© **D. V. Alekseev** - Associate Professor, Kazan State Energy University, alex-dima@list.ru; **A.A. Shagivaleev** - Associate Professor Kazan National Research Technological University; **L. R. Urazbahtina** - Associate Professor Kazan State Energy University; **I. V. Pavlova** - senior Lecturer Kazan National Research Technological University, Iren_51@mail.ru.