

ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ОЧИСТКА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ CENTRIFUGAL CLEARING OF LIGHT OIL PRODUCTS

Д.Е. Молочников, П.Н. Аюгин
Ульяновская ГСХА
D.E. Molocnikov, P.N. Ayugin
Ulyanovsk State Academy of Agriculture

The analysis of the scientific and technical literature shows that the most effective for clearing on a stream of a considerable quantity of oil products are devices which are based on joint influence on centrifugal field pollution in a combination to other kinds of fields.

Развитие теории центробежного (гидроциклонного) способа очистки жидкостей от механических примесей и воды шло по нескольким взаимосвязанным направлениям. Первое направление представлено теоретическими и экспериментальными исследованиями по выявлению физической сущности движения жидкости и нерастворимых в ней частиц загрязнений. К ним относятся работы А.И. Поварова, Б.М. Гутмана, М.Г. Акопова и др. [1]. Второе направление характеризуется разработкой гидравлических, конструкционных и технологических параметров устройств, реализующих центробежный метод. К нему относятся работы М.Г. Акопова, А.И. Поварова, А.А. Щербакова, Л.М. Дружкова, Г. Тарьяна и др. [2].

Известно, что в гидроциклоне имеют место три основных траектории движения твердых частиц и жидкости: пристенная, по которой движутся вниз наиболее тяжелые частицы; пространственная, по которой движутся наиболее легкие частицы и жидкость; внутренняя, по которой вращается центральная часть столба жидкости.

Сначала легкие частицы удаляются от стенок, вращаясь все быстрее с меньшим радиусом до тех пор, пока их вертикальная скорость не станет равной нулю. Затем они с потоком жидкости выносятся через сливной патрубок.

Более крупные частицы сосредотачиваются возле стенок гидроциклона, где центробежная сила сравнительно мала. То же самое будет происходить с частицами различной плотности – более тяжелые будут располагаться по периферии, а более легкие – ближе к центру.

Кроме того, под действием силы тяжести и осевой составляющей скорости потока частицы загрязнений движутся еще и в вертикальном направлении.

Рассматривая движение частицы внутри гидроциклона, силой тяжести можно пренебречь, так как центробежная сила многократно превосходит ее. Поэтому центробежная сила, действующая на частицу, и противоположная ей по направлению сила сопротивления среды будут определяющими при изучении сил, действующих на частицу загрязнения. Для удобства расчетов принимается то, что частица имеет шарообразную форму. Тогда центробежная сила будет равна [3]:

$$G = \frac{\pi d^3 (\gamma - \gamma_1) v_t^2}{r}, \quad (1.1)$$

где G – центробежная сила на радиусе вращения, Н;

v_t – тангенциальная скорость на том же радиусе, м/с;

d – диаметр частицы загрязнения, м;

γ – плотность частицы, кг/м³;

γ_1 – плотность жидкой среды, кг/м³;

r – радиус траектории частицы, м.

Соппротивление среды складывается из динамического сопротивления (P_g) и вязкостного сопротивления (S). Динамическое сопротивление среды выражается согласно закона Ньютона:

$$P_g = \frac{\pi d^2 \gamma_1 v_t^2}{12}. \quad (1.2)$$

Соппротивление, вызванное вязкостью жидкости, может быть найдено по формуле Стокса:

$$S = 3\pi d v_r \mu, \quad (1.3)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости среды, м²/с;

v_r – радиальная скорость, м/с.

Хотя, оба сопротивления действуют одновременно, величины их различны и находятся в зависимости от скоростей движения среды и размеров частиц загрязнения. Если для какого-то размера частиц будет соблюдаться условие

$$G = P_g + S, \quad (1.4)$$

то они будут находиться в равновесии.

Равновесное состояние твердой частицы можно выразить следующим образом

$$\frac{\pi d^3 (\gamma - \gamma_1) v_t^2}{6gr} = \frac{\pi d^2 \gamma_1 v_t^2}{12} + 3\pi d v_r \mu, \quad (1.5)$$

или

$$\frac{d^2 (\gamma - \gamma_1) v_t^2}{6gr} = \frac{d \gamma_1 v_t^2}{12} + 3\mu v_r. \quad (1.6)$$

Критерий R_g для обтекания частицы будет равен:

$$R_g = \frac{3dQ_t g \frac{\lambda}{2}}{\pi D d_c v}, \quad (1.7)$$

где Q – производительность гидроциклона, м³/с;

D – диаметр гидроциклона, м;

λ – угол конусности, град;

d_c – диаметр сливного отверстия, м;

v – коэффициент кинематической вязкости среды, м²/с.

Например, в условиях исследований, проведенных М.Г. Акоповым и В. Классеном, величина $3\mu v_r$ оказалась незначительной по сравнению с величиной. Пренебрегая ею, и решая уравнение (1.6) относительно γ и d , они получили формулы для приближенного расчета плотности и крупности разделения:

$$\gamma = \frac{\gamma_1 (g r v_t^2 + 2 d v_r^2)}{2 d v_r^2}, \quad (1.8)$$

$$d = \frac{\gamma_1 r v_r^2 g}{2(\gamma - \gamma_1) v_t^2}. \quad (1.9)$$

Если процесс разделения протекает в рамках закона Стокса ($Re \leq 1$), приближенную величину плотности и крупности разделения можно найти, учитывая, что

$$\mu = \nu \rho_1 = \nu \frac{\gamma_1}{g}, \quad (1.10)$$

где ρ_1 – плотность среды, г/см³.

Тогда имеем

$$\gamma = \frac{\gamma_1 (d^2 v_t^2 - 18 r v_r^2)}{d^2 v_t^2}. \quad (1.11)$$

Производительность характеризуют следующие параметры:

перепад между давлением на входе $P_{вх}$ в гидроциклон и давлением на сливном патрубке $P_{сл}$;

- диаметр гидроциклона;

- диаметр питающего отверстия (в том случае, когда это отверстие имеет прямоугольное сечение, берется его приведенный диаметр);

размеры сливного отверстия;

- угол наклона образующей конической части гидроциклона (угол конусности);

плотность исходного продукта.

В общих случаях зависимость производительности от давления питания выражается формулой

$$Q = k P^{n_1}, \quad (1.12)$$

где Q – общая производительность гидроциклона, л/с;

P – давление питания, Па;

k – коэффициент пропорциональности;

n_1 – показатель степени пропорциональности.

Зависимость производительности гидроциклона от плотности жидкости выражается формулой

$$Q = k_1 \gamma_{ж}^{n_2}, \quad (1.13)$$

где $\gamma_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³;

n_2 – показатель степени пропорциональности, величина которой принимается обычно 0,5;

k_1 – коэффициент пропорциональности.

Следовательно, с увеличением плотности жидкой среды, производительность гидроциклона падает. Вязкость жидкости существенного значения на работу гидроциклона не оказывает.

Производительность гидроциклона, в первую очередь, зависит от его диаметра. С увеличением объема гидроциклона возрастает его пропускная способность.

С увеличением диаметра питающего отверстия производительность гидроциклона также возрастает:

$$Q = k_2 d_n^{n_3}, \quad (1.14)$$

где d_n – диаметр питающего отверстия, м;

$n_2=0,9 - 2,0$ - показатель степени пропорциональности;

k_2 - коэффициент пропорциональности.

Общая производительность гидроциклона является функцией ряда параметров

$$Q=f(P, P_{cp}, D, d_n, d_c, d_p, H, h, \alpha, \gamma, \mu, \Pi), \quad (1.15)$$

где P - давление на входе;

P_{cp} - давление на сливной линии;

D - диаметр гидроциклона;

d_n - диаметр питающего патрубка;

d_c - диаметр сливного патрубка;

d_p - диаметр разгрузочного отверстия;

H - высота гидроциклона;

h - высота конической части;

α - угол конусности гидроциклона;

γ - плотность исходной жидкости;

μ - вязкость исходной жидкости;

Π - содержание механических примесей.

Теоретическое исследование вопроса об общем объемном расходе гидроциклона показало, что одновременное влияние многочисленных параметров не позволяет аналитическим путем установить математическую зависимость между ними. Решение возникающих в этом случае дифференциальных уравнений встречает непреодолимые математические трудности.

Литература:

1. Мустафьев А.М., Гутман Б.М. Теория и расчет гидроциклона, Баку: Изд. Маариф, 1969, с. 172.
2. Гутман Б.М., Мустафьев А.М. «Влияние разгрузочного отношения на количественные и качественные показатели работы гидроциклона при очистке нефти от минеральных примесей». Известия ВУЗ «Нефть и газ, №3, 1966, с. 25-31.
3. Кузнецов М.Е. Обезвоживание дизельных топлив в нефтехозяйствах колхозов и совхозов статическими сепараторами: Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИ-ИСП им. В.П. Горячкина, 1984. – 162 с.