УДК 631.03

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ГИДРОЦИКЛОНА

Чернов Р.М., магистрант,
тел. 89173963716, vipttk@mail.ru
Шарафутдинов Р.Р., магистрант, тел. 89631234601,
ramilsharaf9@gmail.com
Салахутдинов И.Р., кандидат технических наук, доцент,
тел. 8(8422)-55-95-13, ilmas.73@mail.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Глущенко А.А., кандидат технических наук, доцент,
тел. 89374564933, oildel@yandex.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский государственный университет
Салахутдинова З.И., курсант,
тел. 89378731990, zarrina.7300@mail.ru
ФГКОУ ВО Волгоградская академия МВД России

Ключевые слова: *гидроциклон, параметр, цилиндрическая часть, коническая часть, спиральный поток*

Работа посвящена теоретической проверке рабочего процесса, происходящего в гидроциклоне. Учитываются силы, действующие на частицы разделяемого потока в устройстве, а также отражает их влияние на направление движения частицы. Представлено влияние изменения геометрических параметров на эффективность работы гидроциклона.

Введение. Гидроциклоны успешно применяются во многих отраслях промышленности и показывают хорошие результаты. Они имеют простую конструкцию и не имеют движущихся частей, но, несмотря на это, спрогнозировать их работу, используя только теорию, очень сложно. Поэтому используются эмпирические модели. Они обеспечивают обоснованные прогнозы для различных условий

эксплуатации и позволяют достоверно рассчитывать точность гидроциклонов при отсутствии экспериментальных данных [1].

Гидроциклон (рисунок 1) представляет собой устройство, имеющее цилиндрическую часть (1), коническую часть (7) с широким основанием внизу и промежуточную сливную камеру (3) с дренажной трубкой. Между цилиндрической частью и сливной камерой установлена диафрагма (6), а к нижней части конуса прикреплены сменные насадки (8).

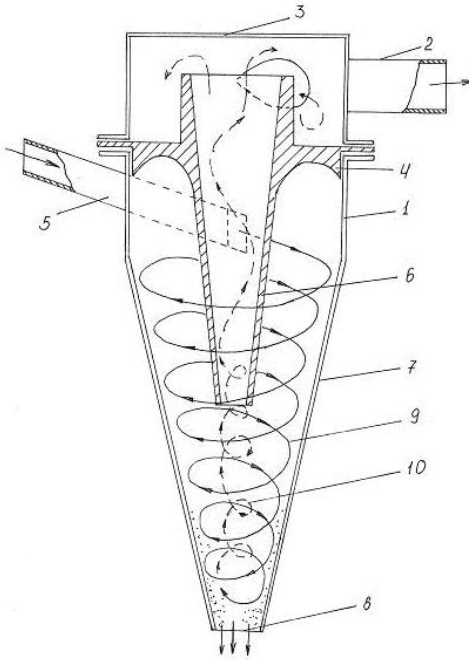

Рисунок 1 - Схема гидроциклона

Материалы и методы исследований. Процесс разделения отработанных масел на фракции в гидроциклоне можно представить следующим образом. На частицу в потоке жидкости в гидроциклоне действуют следующие силы (рис. 2): центробежная $P_ц$, отбрасывает частицу к краю; радиальная сила P_r, возникает из-за функции радиального потока жидкости и направлена к оси устройства; сила Кориолиса $P_к$, перемещающая частицу в окружном направлении относительно потока; сила сопротивления среды P_c, препятствующая

осаждению частицы; сила инерции $P_и$ обусловлена изменением скорости осаждения [2].

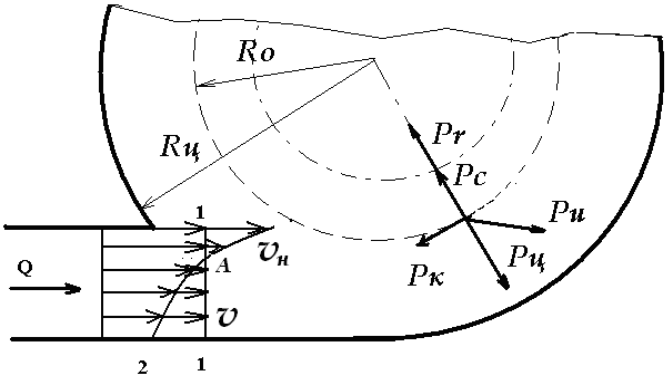

Рисунок 2 – Силы, действующие на частицу в спиральном потоке в гидроциклоне

Если принять, что поток увлекается с угловой скоростью ω во вращательное движение за счет мелких частиц, то основная сила, действующая на него, центробежная [3]:

$$P_ц = m_ч \omega^2 r = \frac{\pi \delta_ч^2 \rho_ч \omega^2 r}{6} = \frac{\pi \delta_ч^2 \rho_ч v^2}{6r}, \quad (1)$$

где $m_ч$ – масса частицы, кг; ω - угловая скорость вращения, с$^{-1}$; r – радиус вращения частицы, м; $\delta_ч$- диаметр частицы, м; $\rho_ч$- плотность частицы, кг/м^3; v– линейная локальная скорость потока, м/с.

При спиралеобразном движении потока жидкости в гидроциклоне наблюдается стоксовский (ламинарный) режим осаждения находящихся в потоке масла частиц, обеспечивающий разделение их по фазам. Поэтому, если учитывать действие центробежной силы $P_ц$ и силы сопротивления среды P_c, то из выражения (1), с учетом силы сопротивления среды, получим:

$$\frac{\pi \delta_ч^2 \rho_ч v^2}{6r} = \frac{24\mu}{v_c \delta_ч \rho_ж} \frac{\pi \delta_ч^2}{4} \frac{\rho_ж v_c^2}{2}. \quad (2)$$

Откуда $\frac{v^2}{r} = \frac{18 v_c \mu}{\delta_ч^2 \rho_ч}$. (3)

При условии обеспечения в гидроциклоне принятого закона изменения тангенциальной скорости от радиуса

$$v r^n = const, \quad (4)$$

где n – показатель свободы.

Распределение скорости жидкости в криволинейном канале (линия *2–2* на рисунке 2) характеризуется зависимостью:

$$v = \frac{v_н(R_2 - R_1)}{r\, ln\frac{R_2}{R_1}}, \quad (5)$$

где R_2 – наружный радиус потока жидкости, равный радиусу гидроциклона $R_2 = R_ц$, м; R_1 – внутренний радиус потока жидкости в гидроциклоне, м.

Введение которой в формулу (3) дает выражение [4]:

$$\frac{v_н(R_2 - R_1)^2}{r^3\left(ln\frac{R_2}{R_1}\right)^2} = \frac{18 v_C \mu}{\delta_ч^2 \rho_ч}. \quad (6)$$

Приняв в качестве текущего радиуса *r* среднее его значение:

$$r_{ср} = \frac{R_2 + R_1}{2}, \quad (7)$$

получим обобщенную зависимость, характеризующую минимальный диаметр осаждающихся частиц:

$$\delta \sqrt{\frac{18 v_C \mu D}{2{,}5 v_н^2 \rho_ч}}_{ч.min}, \quad (8)$$

где D – диаметр циклона $D = 2R_2$, м.

Использование среднего значения радиуса определяет только диаметр частиц, расположенных на данном радиусе, и не позволяет найти точный диаметр осаждаемой частицы. Чтобы решить эту проблему, необходимо использовать значение радиуса нулевой вертикальной скорости.

Если предположить, что прямого воздействия на частицы в потоке циклона нет, то каждая частица будет нахрдиться на определенном расстоянии от центра вращения (рис. 3), то есть на расстоянии, где действует центробежная сила. равная радиальной силе $P_ц = P_r$. Более тяжелые частицы располагаются вблизи перефирии гидроциклона, а более легкие – в центре. Во внутреннем конусе гидроциклона каждая группа частиц, находящаяся в потоке масла при движении, создает искривленную поверхность.

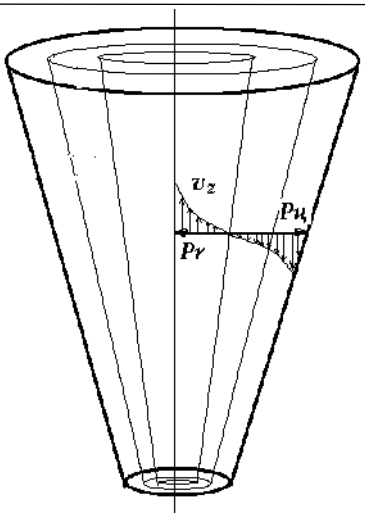

Рисунок 3 - Схема поверхностей частиц в потоке гидроциклона

Точки нулевой вертикальной скорости, т.е. границы изменения знаков вертикальной скорости также образуют криволинейную поверхность. Пересечение плоскости вертикальной скорости с плоскостью любой группы частиц дает граничный размер зерна: крупные зерна попадают в слив, а мелкие - в чистый поток [5].

Если определить уравнение плоскости нулевой вертикальной скорости, то можно рассчитать основные геометрические размеры гидроциклона, обеспечивающего определенный уровень очистки.

Подставив уравнение радиуса нулевой поверхности осевой скорости в выражение (6), заменив значение диаметра гидроциклона *D* значением радиуса нулевой поверхности $2R_o$, получим:

$$\delta\sqrt{\frac{36v_C\mu R_O}{2{,}5v_н^2\rho_ч}}_{ч.min}. \qquad (9)$$

Полученная зависимость наглядно показывает связь каждой из величин, входящих в подкоренное выражение, и связь между отделяемыми частицами во вращающемся потоке в гидроциклоне. При этом с увеличением радиуса нулевой поверхности увеличивается размер отделяемых частиц. Поэтому для улавливания более мелких частиц следует использовать гидроциклоны уменьшенного диаметра. Увеличение начальной скорости потока очищенного масла $v_н$ (во входной трубке циклона) способствует сепарации мелких частиц.

Использование выражения (9) для определения минимального размера отделяемой частицы в практических целях не всегда возможно, так как оно содержит неизвестную величину - скорость сепарации v_c.

Для определения скорости разделения будем считать, что частицы, попадающие в циклон, должны осаждаться на стенке циклона вблизи входного патрубка (радиус R_1) при прохождении через цилиндро-коническое сечение, части циклона

Если принять, что по характеру движения частиц гидроциклон работает в подходящем режиме вытеснения, тогда, время осаждения частицы [6].

$$\tau = \frac{R_2 - R_1}{v_c} = \frac{V_г}{Q_г} = \pi H \frac{R_2 - R_1}{Q_г}, \quad (10)$$

где $V_г$- объем цилиндроконической части гидроциклона, м^3; $Q_г$- производительность гидроциклона, м^3/ч; H – высота цилиндроконической части гидроциклона, м.

Поскольку отделение частиц происходит на радиусе R_o, заменив R_2-R_1 на R_o, получим:

$$\tau = \pi H \frac{R_o}{Q_г}. \quad (11)$$

При этом скорость осаждения частицы

$$v_c = \frac{Q_г}{\pi H R_o}. \quad (12)$$

Для разделения частицы в гидроциклоне важны три параметра: скорость сепарации v_c, толщина осажденного слоя и время пребывания частицы в гидроциклоне τ.

Из этих трех величин можно составить параметр – критерий сепарации, определяющий количество частиц, отделяемых частиц из потока очищаемого масла [7]:

$$K_c = \frac{v_c \tau}{\lambda}, \quad (13)$$

где λ - толщина слоя осаждения, м.

Поскольку толщину слоя осаждения определяют граничные значения радиусов $R_ц$ - R_o, то:

$$\lambda = R_ц - R_o, \quad (14)$$

где $R_ц$ – радиус гидроциклона, м.

Поскольку качество очистки определяет количество осажденных примесей, мы заменяем количество подаваемого масла на количество

примесей в очищаемом масле. Выполнив замену и подставив значение v_c в формулу (12), получим:

$$K_c = \frac{G_г \tau R_ц}{\pi H}, \quad (15)$$

где $G_г$ – количество примесей в очищаемом масле, кг.

В этом случае качество очистки гидроциклона можно определить как удаление частиц через сливное отверстие, которое выражается в процентах от общего количества частиц, попадающих в гидроциклон с очищаемым маслом [8]:

$$\varphi = \frac{G_г - K_c}{G_г} 100. \quad (16)$$

Вывод. Поэтому качество очистки масла будет определяться в зависимости от геометрических параметров гидроциклона и времени пребывания частиц в гидроциклоне, зависящее от режима сепарации.

Библиографический список:

1. Афросина, К.И. Влияние изменения внешних параметров на эффективность работы гидроциклона // Вестник науки и образования № 9(87). Часть 3. 2020. С. 19-21.

2. Зазуля, А.Н. Теоретическое обоснование влияния геометрических параметров цилиндро-конического гидроциклона на степень очистки отработанных смазочных масел от нерастворимых примесей / А.Н. Зазуля, А.А. Глущенко, Д.Е. Молочников [и д.р] // Наука в центральной России – 2019. – №2 (38). – С. 116-123.

3. Башаров, М.М. / Устройство и расчет гидроциклонов // М.М. Башаров, О.А. Сергеева: учеб. для вузов – Казань: Вестфалика, 2012 – 92 с

4. Глущенко, А.А. К вопросу очистки отработанных масел от нерастворимых примесей в гидроциклоне / А.А. Глущенко, Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев [и д.р] // Вестник Казанского ГАУ – 2018 - № 3 (50) С. 81-84.

5. Замальдинов, М. М. Загрязнение минерального масла и влияние типа очистителя на износ двигателя / М. М. Замальдинов, И. Р. Салахутдинов, Р. Т. Хакимов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 57. – С. 141-148. – DOI 10.24411/2078-1318-2019-14141. – EDN GNTSIS.

6. Хусаинов А.Ш. Оптимизация выбора технологий регенерации отработанных смазочных масел / А.Ш. Хусаинов, А.А. Глущенко, И.Р. Салахутдинов, [и др.] // Автоматизация процессов управления, № 3 (57). - Ульяновск, 2019. – С. 118 - 126

7. Глущенко А.А. Результаты испытаний гидроциклона для очистки масел // Известия СПБ ГАУ / - СПб, 2008. - № 12. – С. 254-258.

8. Глущенко А.А., Обоснование параметров гидроциклона для очистки отработанных масел // Вестник МГАУ / Агроинженерия. 2009.- №3, С. 82-85.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL PARAMETERS FOR THE EFFICIENCY OF HYDROCYCLONE OPERATION

Chernov R.M., Sharafutdinov R.R., Salakhutdinov I.R., Glushchenko A.A., Salakhutdinova Z.I.

Keywords: *hydrocyclone, parameter, cylindrical part, conical part, spiral flow*

The work is devoted to the theoretical substantiation of the working process occurring in a hydrocyclone. The forces that act on the particles of the separated flow in the apparatus are considered, and their influence on the direction of movement of the particle is also reflected. The influence of changes in geometric parameters on the operating efficiency of a hydrocyclone is presented.