

УДК 621.43; 631.37

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

Чернов Р.М., магистрант,

тел. 89173963716, vipttk@mail.ru

Шарафутдинов Р.Р., магистрант, тел. 89631234601,

gamilsharaf9@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:** отработанное масло, методы очистки, гидроциклон, воздушный столб, окружная скорость жидкости*

Работа посвящена теоретической проверке диаметра воздушного столба в гидроциклоне и его влияния на качество очистки. Также для определения эффективности гидроциклонной очистки были проведены исследования давления входного потока масла в гидроциклоне.

Введение. Утилизация отработанного масла сама по себе требует финансовых затрат, но еще более неэкономично использование одноразовых смазочных масел, стоимость которых может быть очень высокой из-за сложности их производства. Смазочные масла экономичнее перерабатывать, при этом из них удаляются накопившиеся примеси, и их можно использовать повторно и вернуть в систему смазки. Специальный метод очистки выбирается в зависимости от характера загрязнения, общего состава масла и необходимого уровня очистки. В случае сложных загрязнений можно использовать несколько

уровней фильтрации масла разными методами [1].

Материалы и методы исследования. Все способы переработки нефти принято разделять на три общие группы.

Физические способы

При очистке физическими методами масло не претерпевает никаких химических изменений, а процесс осуществляется с помощью определенного физического воздействия. Могут использоваться гравитационные или центробежные силы, электрические или магнитные поля и т. д. Также используются различные процессы теплопередачи, фильтрационные и вибрационные воздействия. Методы этой группы обычно выступают в качестве первого этапа очистки, в ходе которого удаляются механические примеси, жидкие загрязнения (в том числе вода) и газовые присадки. К наиболее распространенным методам физического очищения относятся следующие (рис. 1) [2-4]:

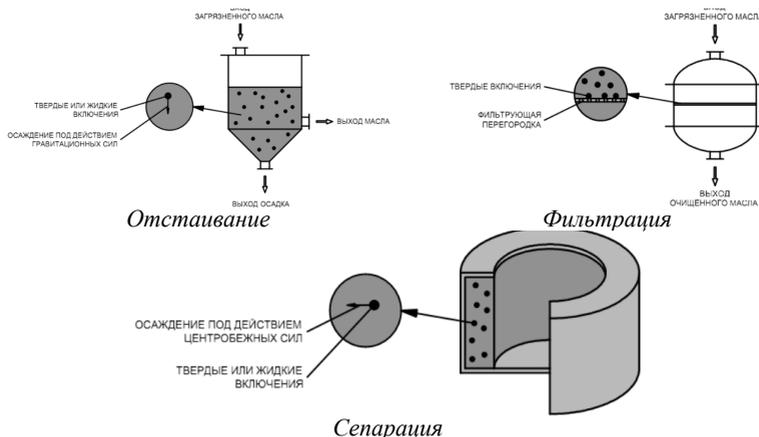


Рисунок 1 – Физические методы очистки масел

Физико-химические способы.

При использовании методов этой группы компоненты масла в процессе очистки могут подвергаться частичным химическим изменениям. Как правило, по сравнению с физическими, они более сложны и дороги в применении, но обеспечивают более глубокое и полное очищение масел. Физико-химические методы очистки, следующие: (рис. 2):.

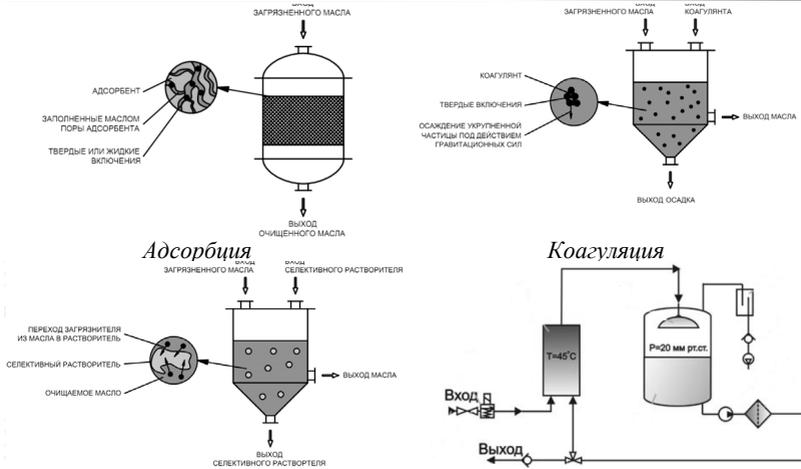


Рисунок 2 - Физико-химические методы очистки масел

Химические способы.

В методах этой группы используются различные реагенты, вступающие в химические реакции с компонентами нефтяных загрязнений. То есть в масле должны быть химические изменения. Существуют кислотные и щелочные методы обработки.

Кислотная обработка. В большинстве случаев используется серная кислота. Применяется для удаления асфальто-смолистых веществ, ненасыщенных углеводородов и других соединений, выпадающих в осадок при взаимодействии с серной кислотой.. Этот осадок, который легко отделяется от масла, обычно называют кислым гудроном.

Щелочная обработка – применяется при сильном износе масла, когда необходимо удалить различные органические кислоты и эфиры. При этом создаются химические соединения, которые легко растворяются в воде, что делает последующую промывку более эффективной.

В промышленности широко используются технические методы очистки отработанных масел. К ним относятся различные типы центрифуг и сепараторов. Наиболее простой и эффективной является очистка масла в гидrocиклоне (рис. 3), при этом твердые частицы

отделяются от потока очищаемого масла под действием центробежных сил (5,6).

Гидроциклон (рис. 3) представляет собой устройство, состоящее из цилиндрической части (1), конической части (7) с широким основанием внизу и промежуточной сливной камеры (3) с дренажной трубкой. Между цилиндрической частью и сливной камерой установлена диафрагма (6), а к нижней части конуса прикреплены сменные сопла (8) [7,8].

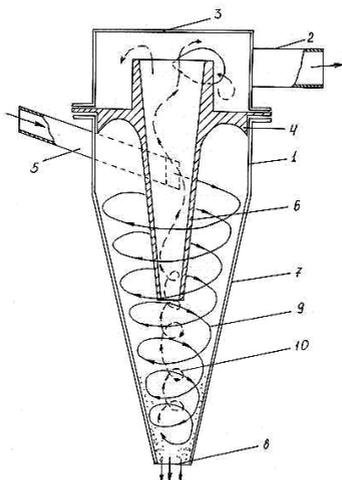


Рисунок 3 - Схема гидроциклона для очистки масел

Воздушный столб (9), возникающий вследствие разрежения вдоль оси устройства, оказывает существенное влияние на эффективность разделения сред в гидроциклонных устройствах.

Приведенные в литературе формулы для определения диаметра воздушного столба лишь отражают результаты проведения экспериментальных данных и не учитывают всех факторов, влияющих на его величину.

Для внецентральной части гидроциклона справедливо уравнение Бернулли

$$h_0 + \frac{P_0}{\rho} + \frac{v_0^2}{2g} = h_{\text{ст}} + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

где h_0 , P_0 , v_0 – геометрическая высота (м), давление (Па) и скорость потока (м/с) у стенки гидроциклона; h , P , v – геометрическая

высота(м), давление (Па) и скорость потока (м/с) в определяемой точке; ν - удельный вес жидкости, Н/м³; g – ускорение земного притяжения, м/с².

$$\begin{aligned} v^2 &= v_t^2 + v_r^2 + v_z^2 \\ v_0^2 &= v_{ot}^2 + v_{or}^2 + v_{oz}^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где v_t, v_r, v_z - окружная, радиальная и осевая скорости жидкости в определяемой точке, м/с; v_{ot}, v_{or}, v_{oz} - окружная, радиальная и осевая скорости жидкости у входного отверстия, м/с.

Окружная скорость v_{ot} равна скорости жидкости на входе в гидроциклон. Понятно, что давление и радиальная скорость на границе воздушного шнура равны нулю. С учетом малых размеров гидроциклона уравнение (1) принимает вид

$$v_t^2 = \frac{2P_0}{\rho_0} + v_{or}^2 + v_{ot}^2 + v_{oz}^2 - v_z^2, \quad (3)$$

где ρ_0 - плотность жидкости, кг/м³.

Значения входящих в уравнение скоростей:

$$v_{or} = -A_\psi v_{ot} \cos \beta_0 \frac{r_c(r_c^2 - r_0^2)}{h_c^2 \sqrt{h_c^2 + r_0^2}} \approx -A_\psi v_{ot} \cos \beta_0 t g^3 \beta_0, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} v_{oz} &= 2A_\psi v_{ot} \left[1 - \cos \beta_0 \left(\frac{\sqrt{h_c^2 + r_0^2}}{h_c} + \frac{r_c^2 - r_0^2}{2h_c \sqrt{h_c^2 + r_0^2}} \right) \right] \approx \\ &-A_\psi v_{ot} \cos \beta_0 t g^2 \beta_0, \end{aligned} \quad (5)$$

Осевая скорость на границе воздушного столба

$$v_z = 2A_\psi v_{ot} \left[1 - \cos \beta_0 \left(\frac{\sqrt{h_{\text{вн}}^2 + r_0^2}}{h_c} \right) \right] = 2A_\psi v_{ot} (1 - \cos \beta_0), \quad (6)$$

где β_0 - угол полураствора конуса гидроциклона; A_\square - коэффициент геометрии гидроциклона.

$$A_\psi = \frac{S_{\text{вх}}}{2\pi 0,75 r_{\text{вн}}^2 \left(1 - \cos \beta_0 \frac{\sqrt{h_{\text{вн}}^2 + r_{\text{вн}}^2}}{h_{\text{вн}}} \right)}, \quad (7)$$

где $S_{\text{вх}}$ - площадь входного отверстия, м²; $h_{\text{вн}}$ - расстояние от вершины конуса циклона до сливного насадка, м; $r_{\text{вн}}$ - внутренний радиус сливного насадка, м; r_0 - радиус воздушного столба, м; r_c - радиус, равный половине диаметра D гидроциклона, на уровне

входного отверстия, м; h_c - высота гидроциклона (расстояние от вершины конуса до входного отверстия), м.

Окружная скорость жидкости в гидроциклоне [7,8]

$$v_t = \frac{v_{ot}D}{2cr} \int_0^r r e^{\frac{k}{\gamma} r} v_r dr, \quad (8)$$

где k – коэффициент учета вязкостного трения; γ - вязкость жидкости, мм²/с; e - основание натурального логарифма; c – коэффициент, определяемый из граничных условий.

Окружная скорость жидкости на границе воздушного столба

$$v_t = \frac{v_{ot}D}{2cr} \frac{\int_0^{0,5r_{en}} r e^{\frac{k}{\gamma} r} v_r dr}{\int_0^{0,5D} r e^{\frac{k}{\gamma} r} v_r dr} = \frac{k_0 v_{ot} D}{d_0} C_1, \quad (9)$$

где d_0 – диаметр воздушного столба, м.

Вследствие подстановки (4 – 6), (9) в (3) и преобразований, диаметр воздушного столба будет составлять

$$d_0 = D C_1 \sqrt{\frac{1}{\frac{2P_0}{\rho_0 v_{ot}^2} + 1 + A^2 \psi [\cos^2 \beta_0 t g^4 \beta_0 (1 + t g^2 \beta_0) - 4(1 - \cos \beta_0)^2]}}, \quad (10)$$

Для гидроциклонных фильтров при определении качества очистки действует закон Стокса, поэтому крупность разделения определяют по формуле

$$\sigma = \frac{3}{v_t} \sqrt{\frac{2\rho_0 \gamma}{\rho - \rho_0} v_r r}, \quad (11)$$

где ρ - плотность отделяемой среды (частиц), кг/м³.

С целью определения эффективности гидроциклонной очистки были проведены исследования давления потока масла в гидроциклоне.

На основании исследования установлено, что оптимальный уровень очистки масла достигается при давлении входного потока масла 0,04 МПа, при этом содержание нерастворимых примесей снижается с 0,1589 до 0,0358 мг [7,8].

Результаты и их обсуждение. Следует отметить, что испытания проводились при температуре масла 100 – 105 °С. Причем для выявления зоны оптимального давления первоначальные исследования проводились при входном давлении от 0,01 до 0,1 МПа и только после выявления оптимальной зоны (0,02 – 0,08 МПа, что соответствует производительности гидроциклона) проводились эксперименты для выявить зависимости.

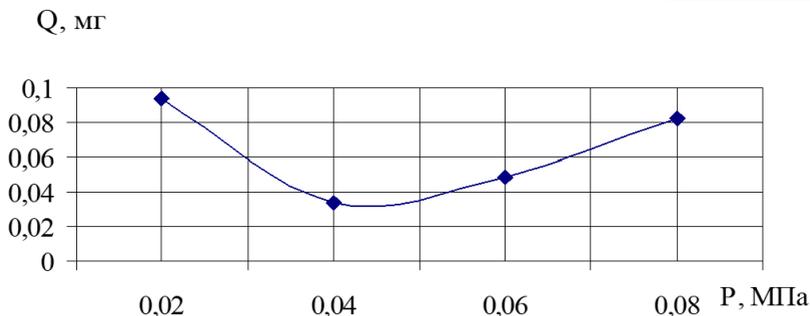


Рисунок 4 - График зависимости степени очистки от давления входного потока

Выводы. В этой статье рассмотрена теория использования гидроциклона для очистки отработанных масел. Важными параметрами при выборе гидроциклона являются плотность, размеры и концентрация механических примесей. Понимая эти особенности загрязнения масла, можно найти эффективный метод механической очистки отработанных масел.

Библиографический список:

1. ИНТЕХ ГмбХ https://intech-gmbh.ru/exhaust_oil_cleaning/
2. Глущенко А.А. Разработка технологии и технического средства для восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Ульяновск, 2009, - 7с.
3. Шестов Р.Н. О воздушном столбе в гидроциклонах// Известия ВУЗов СССР. Пищевая технология, 1965.– №2 – С.156-159.
4. Мустафьев А.М., Гутман Б.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. – М.: Недра, 1981. – 260 С.
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 BACKGROUND OF APPLICATION HYDROCYCLONE FOR CLEANING USED OILS

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

***Keywords:** waste oil, cleaning methods, hydrocyclone, air column, peripheral velocity of liquid*

The work is devoted to the theoretical substantiation of the diameter of the air column in a hydrocyclone with one top drain and its effect on the fineness of cleaning. also, to determine the effectiveness of hydrocyclone cleaning, studies were carried out on the pressure of the inlet oil flow in the hydrocyclone.