

УДК 532.546

Устойчивость течения в гидродинамическом вибрационном фильтре

Захарова В.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

Научный руководитель: Девисилов В.А. к.т.н., доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Шарай Е.Ю. ассистент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,

e9@mx.bmstu.ru

1. Введение

Нефтяные масла находят широкое и разнообразное применение при эксплуатации современной техники. Каждый год увеличиваются объемы потребления смазочных материалов и, как следствие, объемы отработанных масел. Отработанные нефтепродукты токсичны, имеют невысокую степень биоразлагаемости (10-30%) и являются опасными отходами, которые подлежат обязательному сбору и утилизации, а в отдельных случаях – уничтожению.

По разным источникам 26-77 % всех отработанных масел нелегально сбрасываются в почву и в водоемы; 40-48% - собирается, но только 14-15% из них идет на очистку, а остальные 26-33% используются как топливо или сжигаются.

Утилизация масел в природной среде может пагубно отразиться на природной экосистеме. Например, слитые в любой водный источник отработанные масла снизят количество кислорода для флоры и фауны. Помимо этого, сжигание отработанных смазочных отходов без соблюдения необходимых для этого условий приведет к выбросам и образованию продуктов сгорания, которые являются вредными для окружающей среды.

С экономической точки зрения утилизация отработанных масел нецелесообразна, так как во время его использования практически не происходит ухудшения качества базового масла.

- очистка отработанных масел даёт дополнительное их количество без расходования нефти; снижает негативное воздействие на окружающую среду;
- себестоимость очищенного отработанного масла значительно ниже, чем товарного.

На современном этапе развития российской промышленности важным и актуальным является вопрос вовлечения в производство вторичного сырья, а именно отработанных масел, которые представляют собой сырьевую базу для получения ценных нефтепродуктов при надлежащей переработке. Наиболее эффективным способом утилизации является регенерация отработанных масел, с целью полного восстановления их первоначальных свойств.

Первым этапом регенерации масел является удаление из них твердых загрязнений. Одним из основных способов очистки жидкостей от механических загрязнений является фильтрование, заключающееся в пропускании очищаемой жидкости через пористую фильтровальную перегородку.

В процессе фильтрования на перегородке образуется осадок, снижающий ее пропускную способность. Кроме того, накопление осадка ведет к увеличению гидравлического сопротивления фильтра. Предельное значение гидравлического сопротивления обуславливает определенную продолжительность времени работы фильтра, при достижении которого необходимо удалить с поверхности фильтровальной перегородки или из ее пор задержанные частицы, т. е. восстановить ее фильтрующую способность (регенерировать). Зачастую, для дальнейшей работы, фильтровальная перегородка должна быть заменена на новую. Это приводит к увеличению эксплуатационных затрат.

Следовательно, повышение эффективности фильтрования, уменьшение затрат при работе фильтра является одной из приоритетных задач. Для ее решения необходимо интенсифицировать сам процесс фильтрования, что возможно в результате сочетания способа фильтрования с действием различных силовых механизмов. Среди существующих аппаратов комбинированного действия можно выделить гидродинамический вибрационный фильтр (ГДВФ) [1, 2].

Принцип работы ГДВФ заключается в пропускании жидкости через вращающуюся и вибрирующую фильтровальную перегородку, вместе с этим часть очищаемого потока перепускается вдоль фильтровальной перегородки, обеспечивая постоянную саморегенерацию фильтровальной перегородки.

Процессы, происходящие внутри гидродинамического вибрационного фильтра при очистке жидкостей, плохо изучены в силу сложности описания совместного действия всех механизмов очистки. Поэтому целесообразно рассмотреть последовательно отдельные составляющие процесса, обусловленные действием основных силовых факторов.

Существуют работы [3, 4], в которых рассмотрено течение жидкости между коаксиальными цилиндрами с вращающимся внутренним и неподвижным внешним. Известно, что при такого рода течении может возникать неустойчивое расслоение жидкости, и возникновение вихрей Тейлора.

Вихреобразование в жидкости приводит, с одной стороны, к разрушению слоя загрязнений на ФП, но, с другой стороны ухудшает сепарацию твердых частиц и резко повышает гидравлическое сопротивление. В данной статье рассмотрено влияние на вихреобразование режимных параметров, конструкционных особенностей и реологических характеристик среды:

- вязкость жидкости;
- расход жидкости;
- скорость вращения фильтровальной перегородки;
- ширина кольцевого зазора между фильтровальной перегородкой и конусной поверхностью корпуса фильтра.

2. Расчетная модель

Расчет реализовывался в программном комплексе ANSYS CFX для двух расчетных моделей.

Модель 1 представляет собой конический корпус, внутри которого расположена вращающаяся цилиндрическая фильтровальная перегородка. В кольцевой зазор сверху подается очищаемая жидкость. Под действием перепада давления жидкость фильтруется через перегородку. Часть жидкости перепускается вдоль перегородки и выходит через нижний кольцевой зазор.

Подача очищаемой жидкости во 2 модели осуществляется через патрубок, установленный касательно к корпусу фильтра, что способствует интенсификации закручивания потока. Отсос жидкости на гидравлический смыв осуществляется также с помощью тангенциального патрубка.

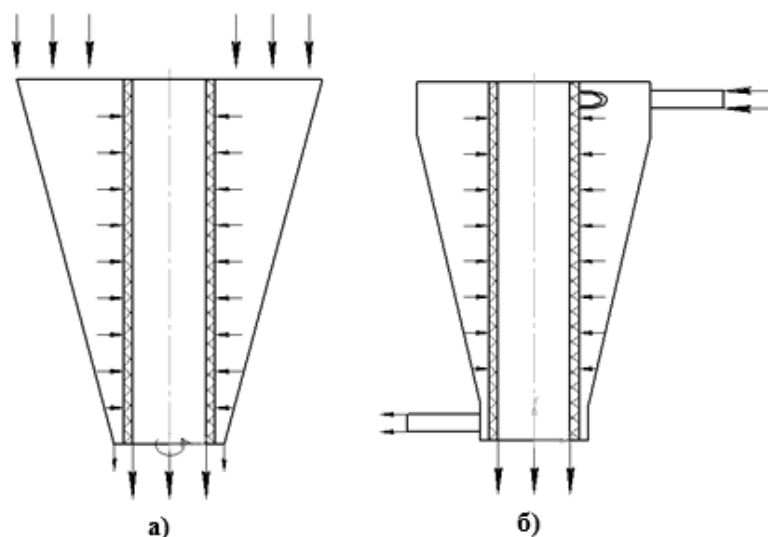


Рис. 1. Расчетные модели: а) с осевым подводом очищаемой жидкости;
б) с тангенциальным подводом очищаемой жидкости.

Математическая модель процесса течения неньютоновской жидкости представляет собой совокупность уравнений Навье-Стокса, уравнения неразрывности, реологического уравнения среды, условия равномерности расхода жидкости через фильтровальную перегородку, граничных условий, записанных в цилиндрической системе координат [5].

Система уравнения имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \cdot \left(\frac{dv_r}{dt} + v_r \cdot \frac{dv_r}{dr} + \frac{v_\varphi}{r} \cdot \frac{dv_r}{d\varphi} - \frac{v_\varphi^2}{r} + v_z \cdot \frac{dv_r}{dz} \right) = \\ = K_r - \frac{dp}{dr} + \mu \cdot \left(\frac{d^2 v_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dv_r}{dr} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{d^2 v_r}{d\varphi^2} - \frac{2}{r^2} \cdot \frac{dv_\varphi}{d\varphi} + \frac{d^2 v_r}{dz^2} \right) \\ \rho \cdot \frac{dv_\varphi}{dt} + v_r \cdot \frac{dv_\varphi}{dr} + \frac{v_\varphi}{r} \cdot \frac{dv_\varphi}{d\varphi} + \frac{v_r \cdot v_\varphi}{r} + v_z \cdot \frac{dv_\varphi}{dz} = \\ = K_\varphi - \frac{1}{r} \cdot \frac{dp}{d\varphi} + \mu \cdot \left(\frac{d^2 v_\varphi}{dr^2} \right) + \frac{1}{r} \cdot \frac{dv_\varphi}{dr} - \frac{v_\varphi}{r^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \left(\frac{d^2 v_\varphi}{d\varphi^2} \right) + \frac{2}{r^2} \cdot \frac{dv_r}{d\varphi} + \frac{(d^2 v_\varphi)}{dz^2} \\ \rho \cdot \left(\frac{dv_z}{dt} + v_r \cdot \frac{dv_z}{dr} + \frac{v_\varphi}{r} \cdot \frac{dv_z}{d\varphi} - \frac{v_\varphi^2}{r} + v_z \cdot \frac{dv_z}{dz} \right) = \\ = K_z - \frac{dp}{dz} + \mu \cdot \left[\frac{d^2 v_z}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dv_z}{dr} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{(d^2 v_z)}{d\varphi^2} + \frac{d^2 v_z}{dz^2} \right] \\ \frac{dv}{dr} + \frac{v}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{du}{d\varphi} + \frac{dw}{dz} = 0 \end{array} \right.$$

где μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с, $\mu = \rho \cdot \nu$;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости (кинематическая вязкость), $\text{м}^2/\text{с}$;

r, φ, z – соответственно радиальная, окружная и осевая координаты;

v, u, w и K_r, K_φ, K_z – составляющие скорости и массовой силы в направлении этих координат.

Полагаем, что распределение скоростей не зависит от угловой координаты, режим течения ламинарный, жидкость несжимаема, фильтровальная перегородка представлена эквивалентным гидравлическим сопротивлением.

3. Основные результаты

Влияния расхода жидкости на вихреобразование.

Исследование проводилось путем варьирования значения расхода подаваемой жидкости от $8,35 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ до $41,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ с шагом $8,35 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$. Динамическая вязкость исследуемой жидкости принимался равной $\mu = 0,153 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Скорость вращения фильтровальной перегородки – 10 с^{-1} .

Анализ полученных линий тока в проекции на плоскость меридионального сечения цилиндров (рис.2) позволяет сделать вывод, что увеличение значения расхода исследуемой жидкости влечет к дестабилизации потока.

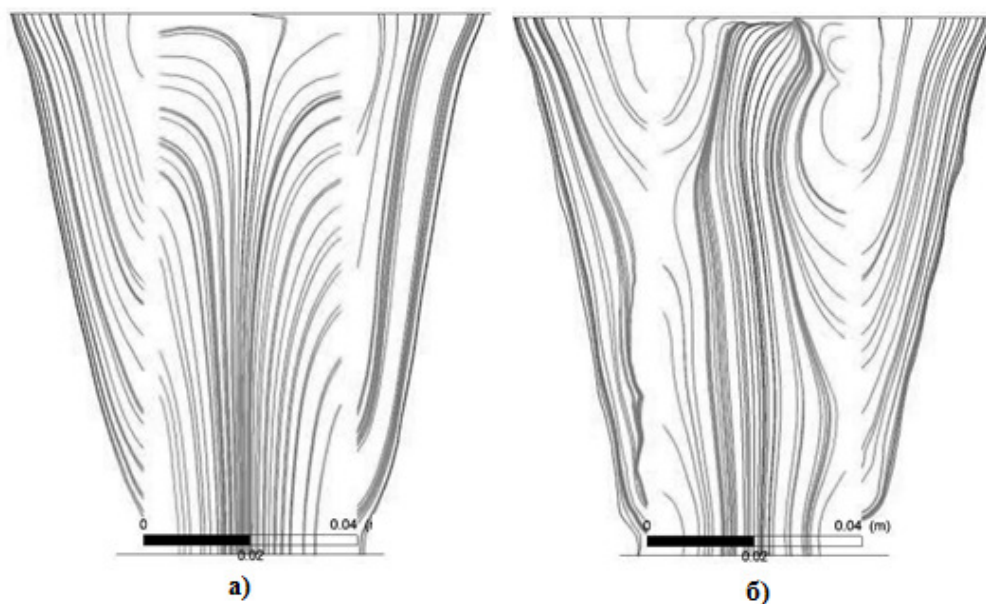


Рис. 2. Линии тока жидкости, вязкостью при фильтровании в 1 модели фильтра $\mu=0,153 \text{ Па}\cdot\text{с}$:

а) расход жидкости на входе – $8,35 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; б) расход жидкости на входе – $41,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$.

Влияние вязкости жидкости.

Исследование проводилось путем изменения значения динамической вязкости от значения, характерного для воды ($\mu = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$) до значения коэффициента динамической

вязкости масла ($\mu = 0,153 \text{ Па}\cdot\text{с}$). Задавались одинаковым расходом жидкости на входе ($Q = 3,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$). Скорость вращения фильтровальной перегородки – 10 с^{-1} .

Наиболее наглядно влияние вязкости на устойчивость потоков представлено на изображении линий тока для модели 2 фильтра (рис. 3). Результаты показали, что увеличение вязкости жидкости ведет к стабилизации потока.

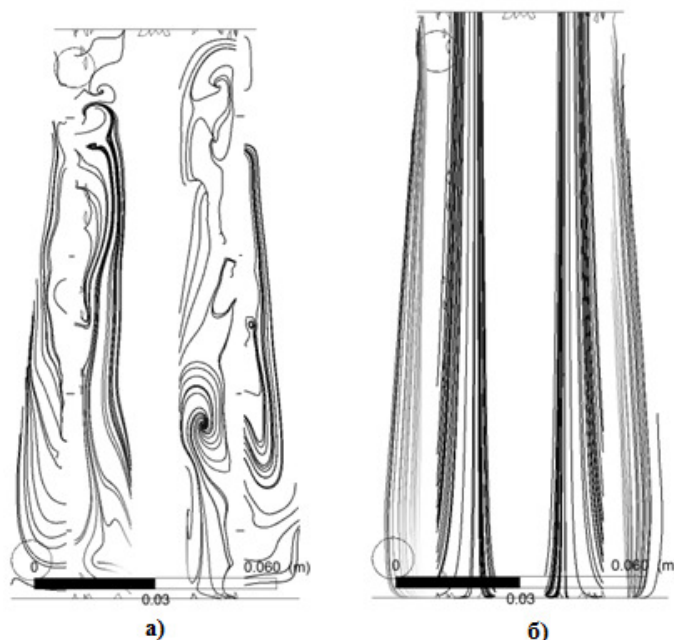


Рис. 3. Линии тока жидкости, вязкостью при фильтровании во 2 модели фильтра, расход жидкости на входе – $3,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$: а) вязкость жидкости - $\mu = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$; б) вязкость жидкости – $\mu = 0,153 \text{ Па}\cdot\text{с}$

Влияние скорости вращения фильтровальной перегородки.

Исследование проводилось путем варьирования значения скорости вращения фильтровальной перегородки от $1,67 \text{ с}^{-1}$ до $16,67 \text{ с}^{-1}$ с шагом $1,67 \text{ с}^{-1}$. Расход жидкости на входе $Q = 3,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$. Динамическая вязкость исследуемой жидкости $\mu = 0,153 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Результаты показали, что увеличение скорости вращения ведет к вихреобразованию.

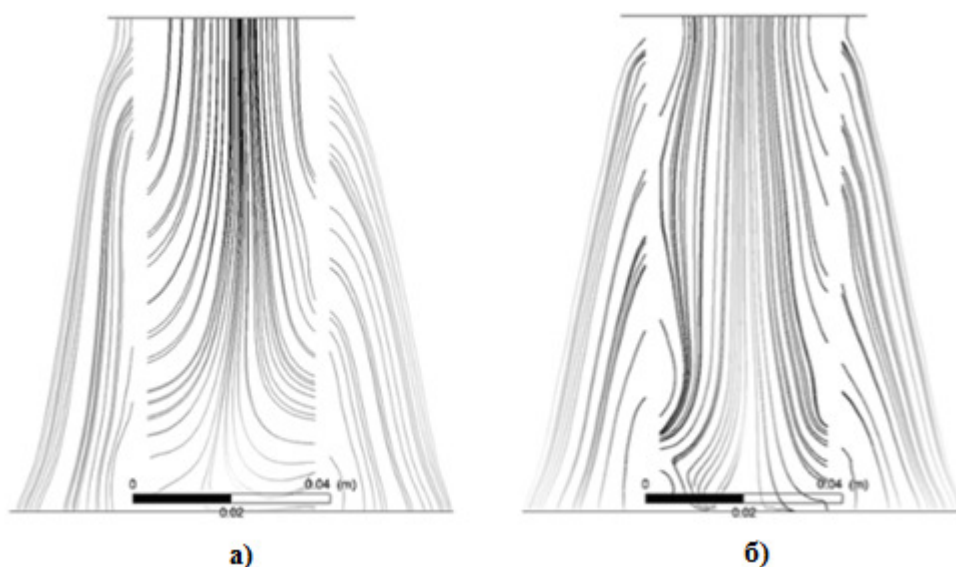


Рис. 4. Линии тока жидкости, вязкостью при фильтровании во 2 модели фильтра, расход жидкости на входе – $3,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, вязкость жидкости – $\mu = 0,153 \text{ Па} \cdot \text{с}$:а) скорость вращения фильтровальной перегородки $1,67 \text{ с}^{-1}$; б) скорость вращения фильтровальной перегородки - $16,67 \text{ с}^{-1}$

4. Выводы

1. В результате проведенного исследования выявлено существенное влияние реологических характеристик среды, а именно показано, что увеличение динамической вязкости жидкости ведет к стабилизации потоков при фильтровании через вращающуюся перегородку.

2. Изменение режимных параметров, таких как расход жидкости и скорость вращения фильтровальной перегородки обуславливает преобразование гидродинамики течения в фильтре. Увеличение расхода жидкости и скорости вращения перегородки приводит к развитию вихрей.

3. Выявленные критерии, влияющие на устойчивость течения в фильтре, требуют дальнейшего детального изучения с целью определения оптимальных режимных параметров работы в зависимости от реологических свойств очищаемой среды.

Список литературы

1. Девисилов В. А. Мягков И.А. Гидродинамическое вибрационное фильтрование и конструкции фильтров // Безопасность жизнедеятельности. 2004. № 7. С. 37-47.
2. Девисилов В. А. Мягков И.А. Гидродинамические вибрационные фильтры для регенерации отработанных масел и нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2005. № 7. С. 4-7.

3. Мочалин Е.В. Движение жидкости в окрестности вращающегося проницаемого цилиндра // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2007. №2/6 (26). С. 20-26.
4. Мочалин Е.В. Гидродинамическая устойчивость в рабочей полости роторного фильтра // Промислова гідравліка і пневматика. 2005. № 4 (10). С. 50-54.
5. Девисилов В.А., Шарай Е.Ю. Моделирование работы гидродинамического фильтра с использованием программного комплекса// Безопасность в техносфере. 2009. № 5. С. 21.