

УДК 631.3-6

УДАЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ПРИ ОЧИСТКЕ МОТОРНОГО МАСЛА МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

В.М. Капцевич,

зав. каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.К. Корнеева,

доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук

И.В. Закревский,

ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ

И.Д. Данцевич,

студент БГАТУ

Проведены расчеты процесса улавливания частиц загрязнений различной природы (стали, Al_2O_3 , SiO_2 , сажи, асфальтенов), присутствующих в моторных маслах, при центробежной очистке. Показано, что эффективность работы центрифуги, характеризуемая максимальным размером удаляемых частиц загрязнений, зависит от частоты вращения, толщины масляного слоя и расхода очищаемого масла.

Ключевые слова: моторное масло, частицы загрязнений центробежная очистка, трубчатая центрифуга, максимальный размер улавливаемых частиц

The process of trapping particles of various kinds of pollution (steel, Al_2O_3 , SiO_2 , soot, asphaltenes) present in engine oils during centrifugal cleaning has been calculated. It is shown that the efficiency of the centrifuge, characterized by the maximum size of the removed particles of pollution, depends on the frequency of rotation, the thickness of the oil layer and the consumption of the oil being cleaned.

Keywords: engine oil, dirt particles, centrifugal cleaning, tubular centrifuge, maximum size of particles captured.

Введение

Рациональное использование смазочных материалов при эксплуатации автотракторной и сельскохозяйственной техники приводит к снижению себестоимости сельскохозяйственной продукции, а также уменьшению отрицательного воздействия на окружающую среду.

В процессе работы под воздействием высоких температур и давлений, при контактировании с металлическими поверхностями, водой, топливом и воздухом в смазочных материалах происходит процесс непрерывного накопления загрязнений, приводящий к постепенному ухудшению и потере ими необходимых эксплуатационных свойств [1-3]. Так, по данным в источнике [4] количество отработанных масел, в среднем, составляет около 0,5–0,6 кг на 1 кВт мощности, эксплуатируемой сельскохозяйственной техники в год.

Процесс накопления загрязнений в смазочных материалах начинается уже при их производстве, поставке, хранении, транспортировке, заправке и далее постоянно протекает при эксплуатации. Природа этих загрязнений связана с последствиями износа трущихся деталей, попаданием пыли при всасывании воздуха, разложением и окислением масла в зоне высоких температур и при контактировании с кислородом воздуха, попаданиями продуктов неполного сгорания

топлива и др. [5]. Накопление загрязнений отрицательно сказывается на работоспособности узлов и агрегатов, приводит к преждевременному износу ответственных и дорогостоящих деталей и, как следствие, к увеличению расхода топлива и смазочных материалов. Очевидно, что своевременная очистка смазочных материалов повышает надежность и долговечность сельскохозяйственной техники, снижает материальные затраты на приобретение дополнительных нефтепродуктов. Кроме того, современные методы очистки позволяют восстанавливать необходимые эксплуатационные свойства отработанных масел и тем самым вторично вовлекать их в эксплуатацию.

Наиболее опасными загрязнениями в моторных маслах являются механические загрязнения, состоящие из пылевых частиц и частиц износа деталей, продуктов срабатывания присадок в маслах и неполного сгорания топлива в виде сажи, сернистых, свинцовистых соединений, а также технологических загрязнений (литейная земля, шлак, металлическая стружка), оставшихся в двигателе после его изготовления и ремонта [2].

При исследовании дисперсного состава загрязнений в пробах моторного масла работающего двигателя [6] установлено, что размеры частиц механических примесей не превышают 2 мкм. Эти частицы загрязнений при попадании воды в масло, а также при

термохимическом воздействии способны коагулировать, образуя частицы, размерами до 30–40 мкм. Кроме того, в работавшем масле можно найти отдельные частицы загрязнений, размером до 100 мкм и более, например, частицы песка.

Анализ способов очистки моторных масел показывает, что для наиболее полного удаления из них механических примесей целесообразно использовать центробежную очистку [7-9]. Центробежные очистители (центрифуги) просты в эксплуатации и обслуживании, обладают высокой улавливающей способностью, работают в широком диапазоне температур масла, имеют практически неограниченный срок службы, а их грязеемкость значительно выше грязеемкости фильтрующих материалов.

Однако, если для фильтрующих материалов тонкость очистки (размер задерживаемых частиц загрязнений) определяется только структурными характеристиками пористой среды и не зависит от природы частиц загрязнений, то при центробежной очистке избирательная способность центрифуг зависит не только от свойств масла, но и от размеров частиц загрязнений и их природы.

Целью настоящей работы является оценка способности трубчатой центрифуги задерживать частицы загрязнений различных размеров и природы при очистке моторного масла.

Основная часть

Трубчатая центрифуга представляет собой вертикальную трубу с большим отношением длины L к диаметру, которая с высокой скоростью вращается вокруг своей вертикальной оси (рис. 1) [10]. Очищаемое масло подводится снизу и под действием центробежной силы образует слой, непосредственно прилегающий к внутренней стенке центрифуги радиусом r_2 . Толщина масляного слоя в рабочей зоне центри-

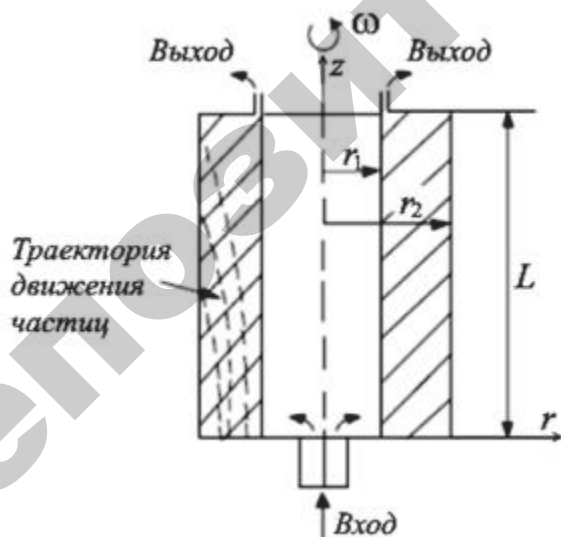


Рис. 1. Схема трубчатой центрифуги

фуги определяется величиной радиального смещения r_1 выпускных отверстий от оси ее вращения.

Предполагаем, что все частицы загрязнений, находящиеся в масле, равномерно распределены в кольцевом пространстве между радиусом r_1 и внутренней стенки центрифуги r_2 , а угловая скорость масла равна угловой скорости вращения центрифуги. Частицы вместе с жидкостью поднимаются вверх и под действием центробежных сил перемещаются к внутренней стенке центрифуги по траекториям, схематично показанным на рис. 1.

Скорость движения частицы в точке относительно оси вращения можно разложить на две составляющие: радиальную v_r – перпендикулярную оси вращения, и осевую v_z – параллельную оси вращения.

Пренебрегая силой инерции частиц, величина радиальной составляющей скорости может быть определена из равенства силы сопротивления (закон Стокса) и центробежной силы:

$$v_r = \frac{dr}{dt} = \frac{\Delta\rho d_3^2 r \omega^2}{18\mu}, \quad (1)$$

где r – радиальное положение частицы, м;

t – время, в течение которого на частицу действует центробежное ускорение, с;

$\Delta\rho$ – разность между плотностями частиц загрязнений ρ_3 и масла ρ_m ($\Delta\rho = \rho_3 - \rho_m$), кг/м³;

d_3 – размер частиц загрязнений, м;

ω – угловая скорость вращения, с⁻¹;

μ – динамическая вязкость масла, Па·с.

Осевая составляющая скорости может быть представлена в виде:

$$v_z = \frac{dz}{dt} = \frac{Q}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}, \quad (2)$$

где Q – расход масла, м³/с.

Интегрируя уравнения (1) и (2) при выполнении граничных условий при $r = r_1 - z = 0$ и при $r = r_2 - z = L$, можно определить наименьший радиус r , при котором частица размером d_3 достигнет внутренней стенки центрифуги на длине L . Тогда радиус r можно определить из выражения:

$$\ln\left(\frac{r_2}{r}\right) = \frac{K d_3^2 L \pi (r_2^2 - r_1^2)}{Q}, \quad (3)$$

где K – константа центрифугирования [10], равная

$$K = \frac{\Delta\rho \omega^2}{18\mu}.$$

Из уравнения (3) может быть определен максимальный размер частиц загрязнений $d_{3\max}$, которые будут задерживаться в трубчатой центрифуге длиной L , с начальными координатами своего положения $z = 0, r = r_1$:

$$d_{3\max} = \left(\frac{Q \ln(r_2/r_1)}{K \pi L (r_2^2 - r_1^2)} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

С учетом уравнения (2), выражение (4) можно представить в виде:

$$d_{3 \max} = \left(\frac{v_z \ln(r_2/r_1)}{KL} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Рассчитаем процесс улавливания частиц загрязнений различной природы, присутствующих в моторных маслах, при центробежной очистке.

При проведении расчетов в качестве очищаемой жидкости выбрано моторное масло М-10Г₂ ($\rho_m = 860,9 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 0,0095 \text{ Па}\cdot\text{с}$ при температуре $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$), а в качестве частиц загрязнений – асфальтены, сажа, SiO₂, Al₂O₃, сталь, плотность ρ_3 которых представлена в таблице 1.

Таблица 1. Плотность частиц загрязнений, присутствующих в моторном масле

Частицы загрязнений	Асфальтены	Сажа	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Сталь
$\rho_3, \text{ кг/м}^3$	1140	1850	2650	4000	7800

На рис. 2 показана зависимость максимального размера $d_{3 \max}$ задерживаемых частиц загрязнений различной природы от частоты вращения n центрифуги длиной $L = 0,3 \text{ м}$ с внутренним радиусом $r_2 = 0,055 \text{ м}$, толщиной масляного слоя $r_2 - r_1 = 0,03 \text{ м}$ и осевой составляющей скорости $v_z = 0,1 \text{ м/с}$.

Как и следовало ожидать, максимальный размер задерживаемых частиц загрязнений при центробежной очистке зависит от частоты вращения центрифуги и плотности материала загрязнений. Так, при увеличении частоты вращения с 2000 до 7000 об/мин максимальный размер $d_{3 \max}$ задерживаемых частиц загрязнений уменьшается в 3,5 раза. В табл. 2 представлены данные при максимальной частоте враще-

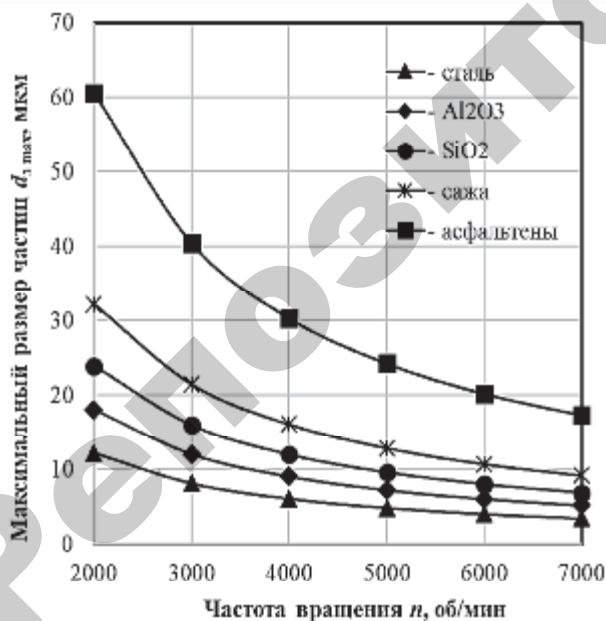


Рис. 2. Зависимость максимального размера $d_{3 \max}$ задерживаемых частиц загрязнений различной природы от частоты вращения n

ния для задерживаемых частиц загрязнений различной природы.

Таблица 2.

Частицы загрязнений	Асфальтены	Сажа	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Сталь
$d_{3 \max}, \text{ мкм}$	17,3	9,2	6,8	5,2	3,5

Дальнейшее снижение величины максимального размера $d_{3 \max}$ задерживаемых частиц загрязнений может быть достигнуто варьированием следующих параметров: увеличением радиуса поверхности масла r_1 (рис. 3) и уменьшением осевой составляющей скорости v_z (рис. 4).

Анализ полученных зависимостей показывает, что с уменьшением толщины масляного слоя от 5 до 30 мм максимальный размер $d_{3 \max}$ задерживаемых частиц загрязнений уменьшается в 2,9 раза (рис. 3), а

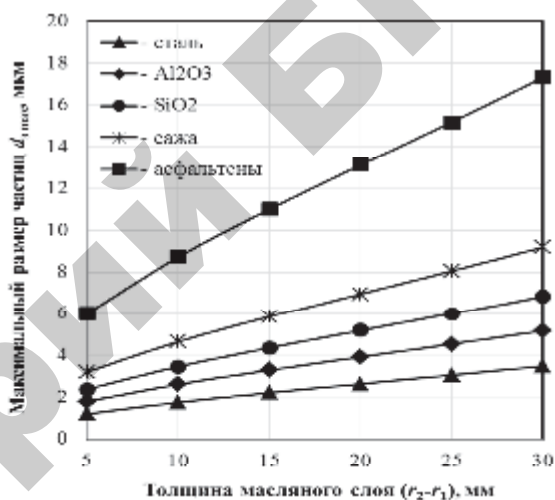


Рис. 3. Зависимость максимального размера $d_{3 \max}$ задерживаемых частиц загрязнений от радиуса поверхности масла r_1

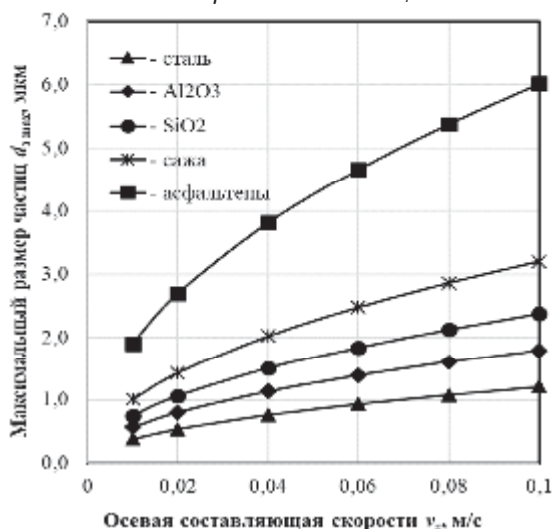


Рис. 4. Зависимость максимального размера $d_{3 \max}$ задерживаемых частиц загрязнений от осевой составляющей скорости v_z

с уменьшением осевой составляющей скорости v_z с 0,1 до 0,01 м/с – в 3,2 раза (рис. 4).

Заключение

На основании проведенных расчетов процесса улавливания частиц загрязнений различной природы (стали, Al_2O_3 , SiO_2 , сажи, асфальтенов), присутствующих в моторных маслах, при центробежной очистке, показано, что эффективность работы центрифуги, характеризуемая максимальным размером удаляемых частиц загрязнений, для заданных геометрических параметров (длины $L = 0,3$ м и радиуса внутренней поверхности $r_2 = 55$ мм) зависит от частоты вращения, толщины масляного слоя и скорости (расхода) очищаемого масла.

Установлено, что при увеличении частоты вращения центрифуги с 2000 до 7000 об/мин максимальный размер $d_{3\text{max}}$ задерживаемых частиц загрязнений уменьшается в 3,5 раза.

Показано, что с уменьшением толщины масляного слоя с 30 до 5 мм максимальный размер $d_{3\text{max}}$ задерживаемых частиц загрязнений уменьшается в 2,9 раза, а с уменьшением осевой составляющей скорости v_z с 0,1 до 0,01 м/с – в 3,2 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваленко, В.П. Основы техники очистки жидкости от механических загрязнений / В.П. Коваленко, А.А. Ильинский. – М.: Химия, 1982. – 277 с.
2. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский // Горная промышленность. – 2003. – 360 с.

3. Большаков, Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Недра, 1982. – 350 с.

4. Лихачев, А.Ю. Совершенствование процесса очистки отработанных моторных масел от механических примесей центробежным аппаратом в условиях сельскохозяйственного производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Ю. Лихачев; АЧГАА. – Зерноград, 2011. – 19 с.

5. Капцевич, В.М. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2007. – 232 с.

6. Григорьев, М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1983. – 148 с.

7. Замальдинов, М.М. Многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел / М.М. Замальдинов. – Ульяновск: УГСХА, 2012. – 207 с.

8. Лышко, Г.П. Рациональное использование топлива и смазочных материалов для сельскохозяйственной техники / Г.П. Лышко. – Кишинев: Карте Молдовяско, 1986. – 280 с.

9. Сафаров, К.У. Исследования повышения качества моторных масел / К.У. Сафаров, В.М. Холманов, М.М. Замальдинов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2000. – №3. – С. 65–67.

10. Svarovsky, L. Solid-Liquid Separation / L. Svarovsky. – 4th Edition. – Butterworth-Heinemann, 2000. – 568 p.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.04.2019

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 1-е полугодие 2019 года: для индивидуальных подписчиков - 17,77 руб., ведомственная подписка - 21,54 руб.