

бы пост-обработки. Эффективным решением данной проблемы является разработка оригинальных технических подходов, направленных на предотвращение его негативного влияния на эффективность эксплуатации изготавливаемых изделий [3].

#### Литература

1. Толочко, Н.К. Прямое изготовление металлических деталей с применением LOM-технологии / Н.К. Толочко, А.А. Андрушевич, П.С. Чугаев, Т.А. Богданович // Литье и металлургия. – 2018. – №1. – С. 137-143.
2. Толочко, Н.К. Аддитивные технологии: проблема ступенчатого рельефа поверхности /Н.К. Толочко, О.В. Сокол //Агропанорама, 2019. №2. С. 12-16.
3. Толочко, Н.К. Листовая штамповка металлов с помощью штампов, изготовленных с использованием аддитивной LOM-технологии /Н.К. Толочко, О.В. Сокол //Агропанорама, 2019, №4, с. 19-21.

### **ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ УДАЛЯЕМЫХ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ОТРАБОТАННОМ МОТОРНОМ МАСЛЕ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРИФУГИ**

**Капцевич В.М.**, д.т.н., профессор, **Корнеева В.К.**, к.т.н.,

**Закревский И.В.**, **Зыков Н.Д.**

БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

Известно, что двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – один из наиболее сложных и дорогостоящих агрегатов тракторов, комбайнов и другой сельскохозяйственной техники. В процессе эксплуатации он вырабатывает свой моторесурс, поэтому его подвергают капитальному ремонту на мотороремонтных предприятиях с целью продления срока службы, что создает экономию энергетических ресурсов и денежных средств. В процессе такого ремонта производят замену или восстановление изношенных деталей и обкатку двигателя.

Обкатка ДВС является завершающей операцией, во многом определяющая его дальнейший послеремонтный ресурс. В процессе обкатки ДВС интенсивность износа выше, чем при нормальных условиях его эксплуатации. Это связано с тем, что за время технологической обкатки в моторное масло ДВС поступает наибольшее количество продуктов износа, а также эксплуатационные и ремонтно-технологические загрязнения. На этом этапе в масло также попадают загрязнения из воздуха и генерируются продукты неполного сгорания топлива.

После обкатки отработанное моторное масло утилизируется либо используется на другие нужды. Следует отметить, что по многим параметрам отработанное масло еще имеет достаточный запас эксплуатационных свойств, но в то же время содержание механических примесей в нем в 1,5–2 раза превышает предельное значение [1].

Наиболее опасными частицами загрязнений, присутствующими в моторном масле после обкатки двигателей, являются частицы  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , стали с размером более 5 мкм [2]. Анализ способов очистки моторных масел показывает, что для наиболее полного удаления из них механических примесей целесообразно использовать центробежную очистку [3–5]. Центробежные очистители (центрифуги) просты в эксплуатации и обслуживании, обладают высокой улавливающей способностью, работают в широком диапазоне температур, имеют практически неограниченный срок службы, а их грязеемкость значительно выше грязеемкости фильтрующих материалов.

При центробежной очистке избирательная способность центрифуг зависит от следующих параметров: свойств очищаемого масла, размеров и природы частиц загрязнений, геометрических параметров и режимов работы центрифуги. В работе [6] нами были определены зависимости максимальных размеров удаляемых частиц загрязнений, присутствующих в моторных маслах, от частоты вращения центрифуги, толщины масляного слоя и скорости (расхода) очищаемого масла.

Целью настоящей работы является установление зависимости максимальных размеров удаляемых частиц загрязнений от геометрических параметров центрифуги, в частности, от ее длины и толщины масляного слоя.

Известно [6], что, максимальный размер частиц загрязнений  $d_{3\max}$  при центробежной очистке может быть определен из выражения:

$$d_{3\max} = \left( \frac{18\mu v_z \ln(r_2/r_1)}{\Delta\rho\omega^2 L} \right)^{1/2},$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость масла, Па·с;  $v_z$  – осевая составляющая скорости движения масла, м/с;  $r_2$  и  $r_1$  – внутренний радиус центрифуги и поверхности масляного слоя, соответственно, м;  $\Delta\rho$  – разность между плотностями частиц загрязнений  $\rho_3$  и масла  $\rho_m$  ( $\Delta\rho = \rho_3 - \rho_m$ ), кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – угловая скорость вращения, с<sup>-1</sup>;  $L$  – длина центрифуги, м.

Очевидно, что частицы загрязнений различного диаметра  $d_{3\max}$  и химической природы будут по-разному задерживаться по длине центрифуги, т.е. двигаясь от поверхности масляного слоя радиусом  $r_1$  к внутренней поверхности центрифуги радиусом  $r_2$ , достигать ее внутренней стенки на различных расстояниях  $L_z$  (рисунок 1).

Рассчитаем, на каком расстоянии по длине центрифуги  $L_z$  частицы загрязнений различного диаметра  $d_{3\max}$  будут задерживаться центрифугой при различной задаваемой толщине масляного слоя, равного  $\Delta r$  ( $\Delta r = r_2 - r_1$ )

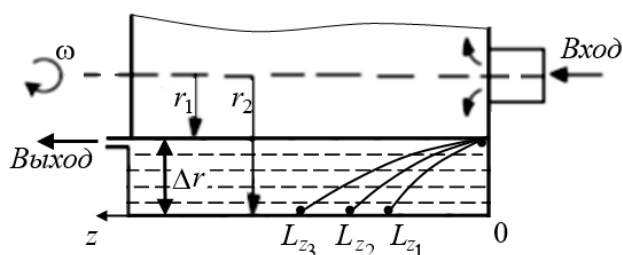


Рисунок 1 – Схема движения частиц загрязнений различной химической природы в масляном слое трубчатой центрифуги

При проведении расчетов угловая скорость вращения центрифуги  $\omega$  выбиралась равной 733 с<sup>-1</sup> (частота вращения – 7000 об/мин), а значение осевой составляющей скорости –  $v_z = 0,1$  м/с. В качестве очищаемой жидкости выбрано моторное масло М-10Г<sub>2</sub> ( $\rho_m = 861,7$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu = 0,0098$  Па·с при температуре  $t = 100$  °С), а в качестве частиц загрязнений – сажа, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, сталь, плотность  $\rho_3$  которых представлена в таблице.

Таблица – Плотность частиц загрязнений, присутствующих в моторном масле

Частицы загрязнений	Сажа	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сталь
$\rho_3$ , кг/м <sup>3</sup>	1850	2650	4000	7800

Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

Анализ проведенных расчетов показывает, что максимальный размер удаляемых частиц загрязнений зависит от длины центрифуги и толщины масляного слоя. Установлено, что наиболее опасные частицы загрязнений SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и стали размерами  $d_{3\max}$  1–6 мкм будут улавливаться центрифугой длиной  $L = 0,3$  м. При такой длине центрифуги размеры улавливаемых частиц сажи составляют 3–8 мкм, однако реальный размер сажистых частиц составляет 0,45–1,2 мкм [7], поэтому перед центрифугированием необходимо проведение их коагуляции химическими методами.

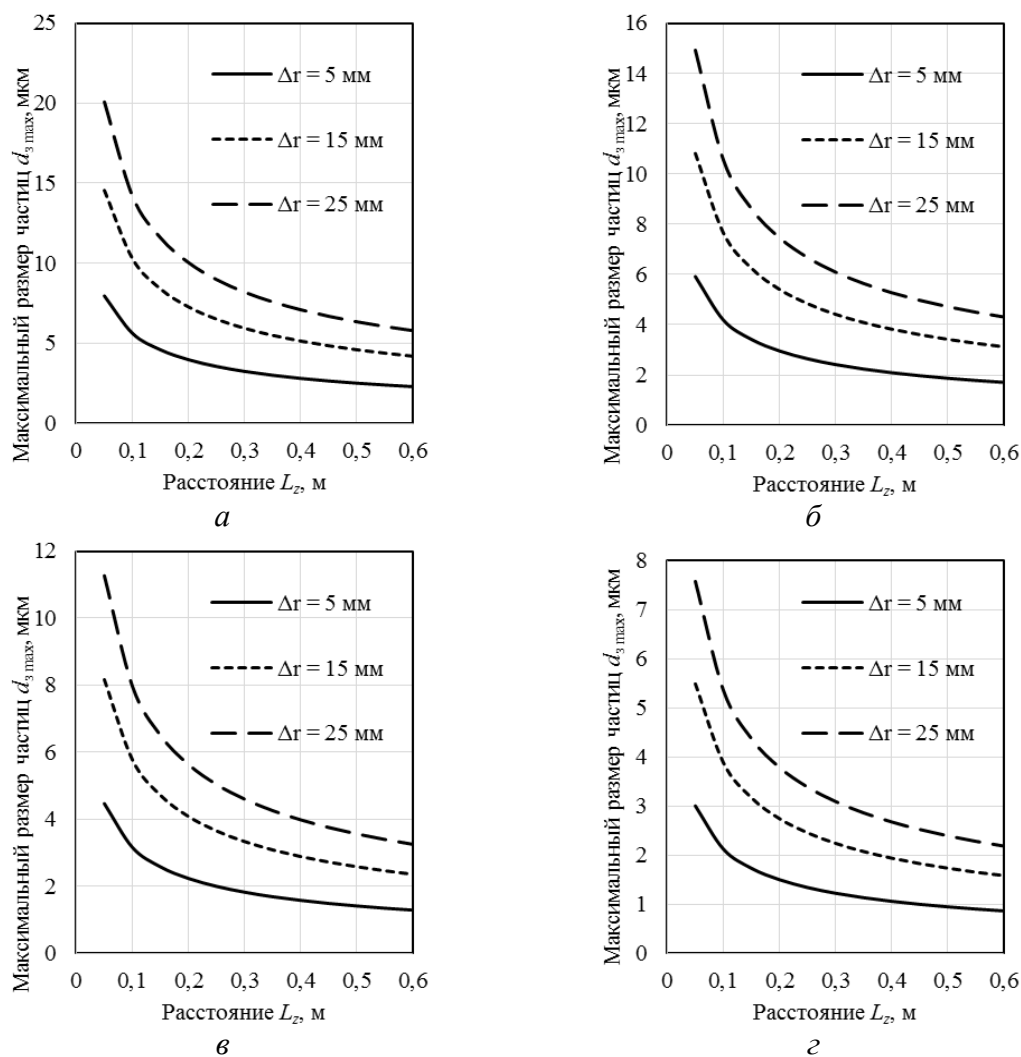


Рисунок 2 – Максимальный размер частиц загрязнений  $d_{3\text{max}}$ , задерживаемых по длине центрифуги на расстоянии  $L_2$ , при различных толщинах масляного слоя  $\Delta r$ : а – сажи; б –  $\text{SiO}_2$ ; в –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; г – стали

### Литература

1. Храмов, Н.В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н.В. Храмов [и др.]. – Москва, 1991. – 142 с.
2. Григорьев, М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев. – Москва: Машиностроение, 1983. – 148 с.
3. Замальдинов, М.М. Многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел / М.М. Замальдинов. – Ульяновск: УГСХА, 2012. – 207 с.
4. Лышко, Г.П. Рациональное использование топлива и смазочных материалов для сельскохозяйственной техники / Г.П. Лышко. – Кишинев: Карте Молдовяско, 1986. – 280 с.
5. 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.
6. Капцевич, В.М. Удаление частиц загрязнений различной природы при очистке моторного масла методом центрифугирования / В.М. Капцевич [и др.]. // Агропанорама. – 2019. – № 3 (133). – С. 45–48.
7. Хазиев, А.А. Экспресс-анализ моторных масел на основе инфракрасной спектроскопии с разложением в ряд Фурье / А.А. Хазиев [и др.]. // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 2 – С. 116–125.