

системы смазки, эффективной очистки от уже попавших частиц повышению устойчивости масел и деталей машины к различным физическим и химическим загрязнениям. Этому способствует правильный выбор марки моторного масла, свойства которого соответствуют конструкции двигателя и условиям его эксплуатации. Надежное уплотнение всех соединений, для предотвращения проникновения пыли в двигатель, повышение уровня технической эксплуатации и обслуживания двигателя. Применение надежных и долговечных фильтрующих элементов, обеспечивающих необходимую тонкость фильтрования. Также необходимо или повышать твердость сопряженных деталей, для противостояния абразивному износу, или применять материал одной из деталей с небольшой твердостью, для поглощения более твердых абразивных частиц. Это приведет к резкому снижению износа другой детали. Комплекс подобных мер позволит продлить срок службы сельскохозяйственной техники, сэкономить средства на ремонте, а также сохранить нормативные эксплуатационные свойства машин.

1. Венцель, С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания. С.В. Венцель. – Киев: Техника, 1977. – 207 с.

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

3. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский. – Москва: «Журнал «Горная промышленность» Издатель ИПК «ГЕМОС Лтд.», 2003. – 360 с.

УДК 631.3-6

## **ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ОЧИСТКЕ МОТОРНОГО МАСЛА**

*Студент – Рыхлик А.Н., 34 тс, 2 курс, ФТС*

*Научный*

*руководитель – Корнеева В.К., ст. преподаватель*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Проблема своевременной и качественной очистки смазочных материалов является всегда актуальной, потому что от ее решения

зависит надежность и долговечность работы сельскохозяйственной техники. Наличие частиц загрязнений в смазочных материалах приводит к отказам, доля которых составляет от 60 % до 90 % [1-3].

Наиболее опасными частицами в системе смазки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются частицы песка ( $\text{SiO}_2$ ) размерами 15–40 мкм.

Методы порошковой металлургии позволяют изготавливать фильтрующие материалы (ФМ) с градиентной структурой пор, в том числе многослойные. Такие ФМ обладают повышенной проницаемостью, способностью работать в режиме глубинного фильтрования, обеспечивая при этом высокую грязеемкость и длительный срок службы, и могут быть использованы для очистки моторного масла ДВС.

Осаждение частиц в пористой среде описывается экспериментально установленной зависимостью Ивасаки [4]:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -\lambda C, \quad (1)$$

где  $C$  – объемная концентрация частиц загрязнений;  $x$  – направление движения очищаемой жидкости, м;  $\lambda$  – коэффициент фильтрования,  $\text{м}^{-1}$ . Для волоконных ФМ коэффициент  $\lambda$  равен [5]

$$\lambda = \frac{4(1-\Pi)\eta_0\alpha}{\pi D_b},$$

где  $\Pi$  – пористость,  $\eta_0$  – вероятность столкновения частиц загрязнений с пористым каркасом;  $\alpha$  – вероятность осаждения,  $D_b$  – диаметр волокна.

При проведении теоретических расчетов многие авторы [6] принимают  $\alpha = 1$ , а при определении значений  $\eta_0$  учитывают роль механизмов осаждения [5, 7]:

$$\eta_0 = \eta_{\text{пр ст}} + \eta_{\text{ин}} + \eta_{\text{сед}} + \eta_{\text{диф}},$$

где  $\eta_{\text{пр ст}}$ ,  $\eta_{\text{ин}}$ ,  $\eta_{\text{сед}}$ ,  $\eta_{\text{диф}}$  – соответственно, вероятности столкновения под действиями механизмов прямого столкновения, инерции, седиментации и диффузии.

Нами был предложен новый подход к организации процесса фильтрования, основанный на выполнении требования осаждения равного количества частиц загрязнений в поровых каналах каждого

слоя ФМ. Такая структура многослойных ФМ обеспечивает повышение грязеемкости и ресурса их работы за счет равномерного осаждения частиц загрязнений по толщине ФМ.

Схема осаждения частиц загрязнений в двухслойном волокнутом ФМ представлена на рис. 1.

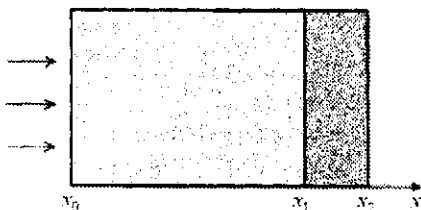


Рисунок 1 – Схема фильтрации в двухслойном волокнутом ФМ

Для двухслойного ФМ уравнение Ивасаки (1) имеет вид [5] – для отрезка  $[x_0; x_1]$

$$C(x) = C_0 e^{-\lambda_1(x-x_0)}, \quad (2)$$

– для отрезка  $[x_1; x_2]$

$$C(x) = C_0 e^{-\lambda_1(x_1-x_0)} e^{-\lambda_2(x-x_1)}, \quad (3)$$

где  $C_0$  – концентрация частиц загрязнений на входе в ФМ;  $C_1$  и  $C_2$  – концентрация частиц загрязнений на выходе из первого и второго слоя соответственно;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – коэффициенты фильтрации первого и второго слоя соответственно.

Для установления закономерностей осаждения частиц загрязнений  $\text{SiO}_2$  ( $\rho_T = 2650 \text{ кг/м}^3$ ) размером 30 мкм в двухслойном ФМ воспользуемся выражениями (2), (3). При проведении расчетов в качестве очищаемой жидкости выбрано моторное масло М-10Г<sub>2</sub> ( $\rho_{ж} = 850,82 \text{ кг/м}^3$ ,  $\mu = 0,0119 \text{ Па}\cdot\text{с}$  при температуре  $T = 373 \text{ К}$ ); скорость фильтрации  $v_{\phi} = 0,01 \text{ м/с}$ . Для ФМ, обеспечивающих требуемую тонкость очистки выбирали следующие комбинации слоев с размерами волокон: двухслойных – 400, 300 мкм; 400, 200 мкм; 300, 200 мкм. Требуемая степень очистки принималась равной 0,95 ( $C_0 = 1$ ,  $C_1 = 0,525$ ,  $C_2 = 0,05$ ).

Закономерности изменения относительной концентрации частиц загрязнений  $C/C_0$  при прохождении через выбранные комбинации слоев двухслойных ФМ, обеспечивающих равное осаждение частиц загрязнений в каждом слое представлены на рис. 2.

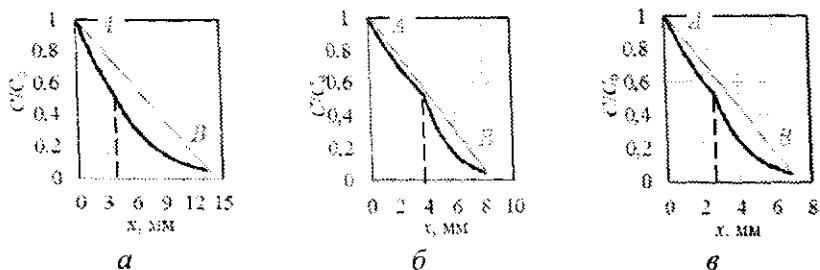


Рисунок 2 — Изменения относительной концентрации частиц загрязнений  $C/C_0$  для различных комбинаций двухслойных ФМ с размерами волокон: а — 400, 300 мкм; б — 400, 200 мкм, в — 300, 200 мкм

Предполагаем, что наиболее равномерное осаждение частиц загрязнений будет происходить в двухслойных ФМ толщиной  $x_2$ , когда зависимости  $C/C_0(x)$  (рис. 2) будут приближаться к прямой  $AB$ .

В качестве меры приближения кривой  $y = C(x)$  к прямой  $y = Ax + B = (C_2/x_2 C_0 - 1/x_2)x + 1$  примем разность площадей криволинейных трапеций, расположенных по разные стороны от этой прямой.

Эта разность равна определенному интегралу функции  $F$ :

$$F = \int_0^{x_1} (C_0 e^{-\lambda_1 x} - Ax - B) dx + \int_{x_1}^{x_2} (C_1 e^{-\lambda_2 x} - Ax - B) dx =$$

$$= \frac{C_0}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 x_1} + 1) + \frac{C_1}{\lambda_2} (e^{-\lambda_2 x_1} - e^{-\lambda_2 x_2}) - x_2 \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{C_2}{C_0} - 1 \right) \right). \quad (4)$$

Полученные значения  $|F|$ , рассчитанные из выражения (4) для различных значений  $x_1, x_2, \lambda_1, \lambda_2$ , представлены в таблице.

Таблица — Значения функции  $|F|$ , характеризующие равномерность осаждения частиц загрязнений

Размеры волокон, мкм	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$h_1$ , мм	$h_2$ , мм	$\lambda_1$ , мм <sup>-1</sup>	$\lambda_2$ , мм <sup>-1</sup>	$ F $ , мм
400, 300	1	0,525	0,05	3,84	13,47	0,42	0,61	5,08
400, 200	1	0,525	0,05	3,84	8,03	0,42	1,40	2,31
300, 200	1	0,525	0,05	2,64	6,84	0,61	1,40	2,27

Из таблицы следует, что наиболее равномерное осаждение частиц загрязнений будет осуществляться в двухслойном ФМ размерами волокон 300 и 200 мкм (минимальное значение функции  $|F| = 2,27$  мм).

1. Коваленко, В.П. Основы техники очистки жидкости от механических загрязнений / В.П. Коваленко, А.А. Ильинский. – Москва: Химия, 1982. – 277 с.
2. Григорьев, М.А. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – Москва: Машиностроение, 1991. – 208 с.
3. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский. – Москва: «Журнал «Горная промышленность» Издатель НПП «ГЕМОС Лтд.», 2003. – 360 с.
4. Iwasaki, T. Some notes on sand filtration / T. Iwasaki // Jour. AWWA. – 1937. – № 29. – P. 1591–1602.
5. Капцевич, В.М. Проницаемые материалы из металлических волокон: свойства, технологии изготовления, перспективы применения / В.М. Капцевич, А.Г. Косторнов, В.К. Корнеева, Р.А. Кусин. – Минск: БГАТУ, 2013. – 380 с.
6. Yao, K. Water and Waste Water Filtration: Concepts and Application / K. Yao [et al.], // Environmental Science and Technology. – 1971. – Vol. 5. – № 12. – P. 1105–1112.
7. Пилиневич, Л.П. Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой для фильтрации жидкостей и газов / Л.П. Пилиневич [и др.]; под. ред. П.А. Витязя. – Минск: Топтик, 2005. – 252 с.

УДК 621.01

## КЛАССИФИКАЦИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Студентка – Богданович Т.А., 3 мот, 4 курс, ФТС  
Научный*

*руководитель – Толочко Н.К., д.ф.-м.н., профессор  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Аддитивные технологии (АТ), несмотря на их интенсивное развитие, до сих пор не получили широкого распространения в промышленном производстве, в частности, для изготовления деталей машин [1-3]. Одной из причин, сдерживающих их применение, является отсутствие у специалистов предприятия достаточных знаний о них, что затрудняет оценку их достоинств и недостатков, выбор из них наиболее приемлемых. Сложность