

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА ОТ ЧАСТИЦ САЖИ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ

В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, И. В. Закревский

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Беларусь, тел.: +375 (29) 631-15-33,
e-mail: lerakor1974@mail.ru*

Сажа является естественным побочным продуктом горения топлива. Длительный процесс эксплуатации масла или неполное сгорание топлива приводят к аномальному накоплению сажи, что оказывает вредное воздействие как на свойства самого масла, так и на работоспособность двигателя целом. В процессе старения масла в результате процесса агломерации частиц сажи размером 30–50 нм [1] происходит образование агломератов размером до 0,3–1,0 мкм (рис. 1) [2].

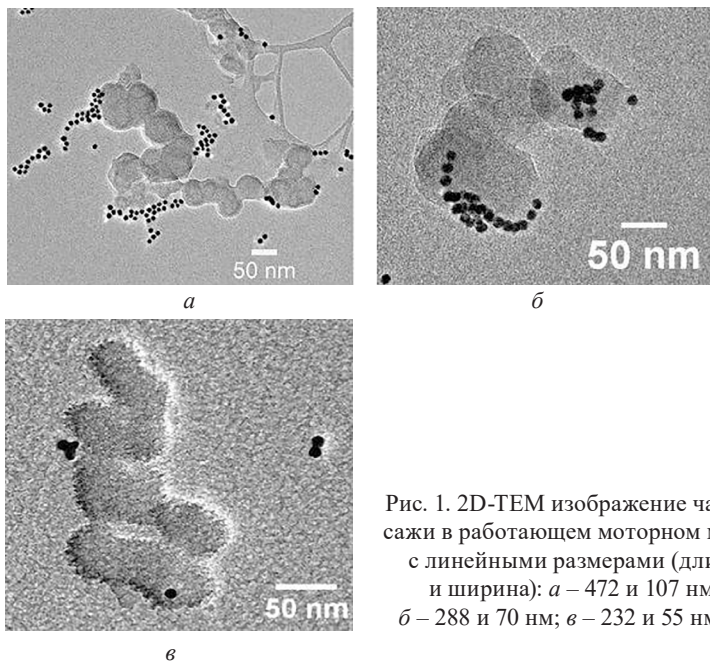


Рис. 1. 2D-ТЕМ изображение частиц сажи в работающем моторном масле с линейными размерами (длина и ширина): а – 472 и 107 нм; б – 288 и 70 нм; в – 232 и 55 нм [2]

В данной работе рассмотрена возможность решения по очистке моторного масла от частиц сажи методом радиального фильтрования через волоконный фильтроэлемент.

В работах [3, 4] нами было получено уравнение Ивасаки для радиального фильтрования и его решение для определения изменения объемной концентрации частиц загрязнений C , % при начальной объемной концентрации частиц C_0 , % с вероятностью осаждения на единичном коллекторе α при фильтровании через цилиндрический образец с пористостью Π с внутренним радиусом r_0 и текущей координатой в радиальном направлении r , м:

$$C = C_0 \exp \left[-\frac{4(1-\Pi)\alpha}{D} \left(A(r^{5/3} - r_0^{5/3}) + B(r - r_0) + F(r^2 - r_0^2) + G \ln \frac{r}{r_0} \right) \right] \quad (1)$$

В выражении (1) параметры $X - A, B, F$ и G являются величинами прямопропорциональными величинам вероятностей столкновения η частиц загрязнений под действием механизмов диффузии, прямого столкновения, седиментации и инерции соответственно (см. таблицу).

Рассмотрим процесс осаждения частиц сажи с размерами d , равными $0,5 \cdot 10^{-6}$ м ($\rho_{\text{т}} = 2000$ кг/м³), на цилиндрическом фильтрующем элементе пористостью $\Pi = 0,2$ с $r_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ м из волокон диаметром D , равных $50 \cdot 10^{-6}$ м на примере процесса фильтрования моторного масла М-10Г₂ (ГОСТ 8581-78) со скоростью $v_0 = 10^{-5}$ м/с при различных температурах: $T = 293$ К ($\rho_{\text{ж}} = 900$ кг/м³, $\mu = 0,836$ Па·с); $T = 313$ К ($\rho_{\text{ж}} = 887$ кг/м³, $\mu = 0,135$ Па·с); $T = 353$ К ($\rho_{\text{ж}} = 863$ кг/м³, $\mu = 0,022$ Па·с) (рис. 2). На рис. 3 представлены результаты расчетов для различных значений размеров фильтроэлементов r_0 : $2 \cdot 10^{-3}$, $5 \cdot 10^{-3}$ и $7 \cdot 10^{-3}$ м.

Полученные результаты расчетов (см. рис. 2) показывают, что с увеличением температуры масла T уменьшаются такие параметры, как вязкость μ и плотность $\rho_{\text{ж}}$, что однозначно приводит к возрастанию действия механизмов диффузии и седиментации. Таким образом, для достижения одной и той же степени

**Взаимосвязь параметров с величинами вероятностей
столкновения частиц загрязнений с единичным коллектором
при радиальном фильтровании**

Механизм осаждения	Параметр X	Вероятность столкновения η	Отношение X/η
Диффузия	$A = 0,54 \left(\frac{k_B T \Pi}{\mu d D v_\phi r_0} \right)^{2/3}$	$\eta_{\text{диф}} = 0,9 \left(\frac{k_B T \Pi r}{\mu d D v_\phi r_0} \right)^{2/3}$	$\frac{0,6}{r}$
Прямое столкновение	$B = \frac{3}{2} \left(\frac{d}{D} \right)^2$	$\eta_{\text{пр ст}} = \frac{3}{2} \left(\frac{d}{D} \right)^2$	1
Седиментация	$F = \frac{(\rho_\tau - \rho_\text{ж}) d^2 \Pi g}{36 \mu v_\phi r_0}$	$\eta_{\text{сед}} = \frac{(\rho_\tau - \rho_\text{ж}) d^2 \Pi g r}{18 \mu v_\phi r_0}$	$\frac{0,5}{r}$
Инерция	$G = \frac{\rho_\tau d^2 v_\phi r_0}{18 \mu D \Pi}$	$\eta_{\text{ин}} = \frac{\rho_\tau d^2 v_\phi r_0}{18 \mu D \Pi r}$	r

Примечание: k_B – постоянная Больцмана, равная $1,3804 \cdot 10^{-23}$, Дж/К; T – абсолютная температура, К; μ – динамическая вязкость очищаемой жидкости, Па·с; d – диаметр частиц загрязнений, м; D – диаметр волокна, м; ρ_τ и $\rho_\text{ж}$ – плотность частиц загрязнений и очищаемой жидкости соответственно, кг/м³; v_ϕ – скорость фильтрации на входе в цилиндрическую перегородку, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

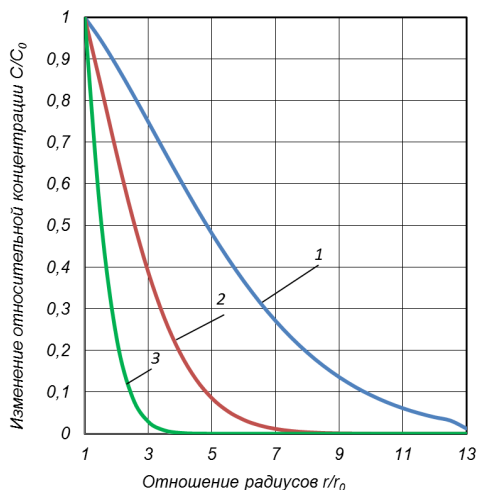


Рис. 2. Зависимость изменения относительной концентрации C/C_0 от отношения радиусов r/r_0 при различных температурах масла:
1 – $T = 293$ К; 2 – $T = 313$ К; 3 – $T = 353$ К

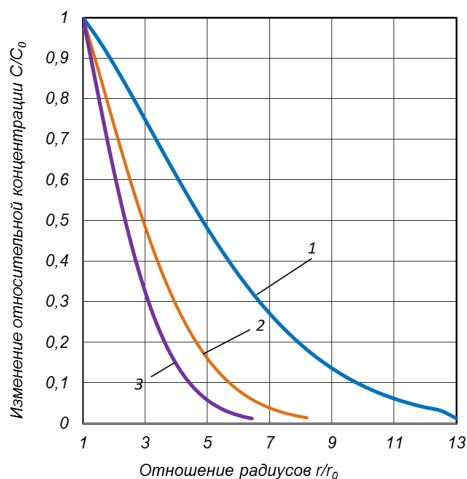


Рис. 3. Зависимость изменения относительной концентрации C/C_0 от отношения радиусов r/r_0 при размерах фильтрующего элемента:
 $1 - r_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ м; $2 - r_0 = 5 \cdot 10^{-3}$ м; $3 - r_0 = 7 \cdot 10^{-3}$ м

очистки повышение температуры масла позволяет существенно уменьшить размеры фильтроэлемента.

В свою очередь, увеличение внутреннего радиуса r_0 (см. рис. 3) также позволяет уменьшить габариты (толщину) фильтрующего элемента.

Литература и источники

1. *Fitch, J.* Oil analysis basics / J. Fitch, D. Troyer. – 2nd ed. – Tulsa : Noria Corporation, 2010. – 198 p.
2. *Soot-in-oil* 3D volume reconstruction through the use of electron tomography: an introductory study / A. La Rocca [et al.] // Tribology Letters. – 2015. – Vol. 61, № 1. doi:10.1007/s11249-015-0625-z
3. *Капцевич, В. М.* Отличительные особенности глубинного радиального фильтрования в цилиндрических фильтроэлементах / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, И. В. Закревский // Порошковая металлургия : респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск, 2022. – Вып. 45. – С. 122–126.
4. *Корнеева, В. К.* Глубинное радиальное фильтрование в волоковых фильтроэлементах / В. К. Корнеева, В. М. Капцевич, И. В. Закревский // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14–16 сент. 2022 г. / Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: А. Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Белорусская наука, 2022. – С. 237–241.