

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА ПОСЛЕ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЯ

В.М. Капцевич,

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

А.А. Тиунчик,

заведующий каф. высшей математики БГАТУ, канд. ф.-м. наук, доцент

В.К. Корнеева,

ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ

А.Н. Рыхлик,

студент БГАТУ

Разработана математическая модель построения оптимальной поровой структуры многослойных фильтрующих материалов. На примере фильтрации моторного масла обоснован выбор размеров волокон и толщин слоев многослойных фильтрующих материалов, обладающих максимальной относительной производительностью при требуемой степени и тонкости очистки.

Ключевые слова: моторное масло, обкатка двигателя, частицы загрязнений, глубинное фильтрование, оптимальная поровая структура, многослойные фильтрующие материалы, относительная производительность.

A mathematical model for constructing the optimal pore structure of multilayer filter materials is developed. On the example of engine oil filtration, the choice of the fiber dimensions and the thickness of the layers of multilayer filter materials having the maximum relative productivity at the required degree and fineness of purification are justified.

Keywords: engine oil, engine running-in, particles of impurities, deep filtration, optimal pore structure, multilayer filter materials, relative productivity.

Введение

Проблема своевременной и качественной очистки смазочных материалов всегда актуальна, так как 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 % [1-4].

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является одним из наиболее сложных и дорогостоящих агрегатов тракторов, комбайнов и других сельскохозяйственных машин. В процессе эксплуатации ДВС вырабатывает свой моторесурс и для продления его срока службы он подвергается капитальному ремонту на мотороремонтных предприятиях, в процессе которого происходит замена или восстановление изношенных деталей, и на завершающей стадии производится обкатка ДВС.

В процессе обкатки ДВС осуществляется приработка сопрягаемых деталей, в результате которой в моторное масло поступает большое количество продуктов износа, а также попадают ремонтно-технологические загрязнения, такие, как металлическая стружка, продукты коррозии и термической обработки, остатки формовочной смеси, атмосферная

пыль и др. Поэтому в отработанном масле присутствуют частицы загрязнений различной природы с размером от 1 мкм и более. Наиболее опасными частицами загрязнений, попадающими в смазочные материалы, являются частицы кварцевого песка – оксида кремния (SiO_2) с размерами до 100 мкм и более. Эти частицы имеют твердость 10000...13500 МПа, значительно превышающую твердость других частиц загрязнений и твердость деталей ДВС [5]. С увеличением содержания оксидов кремния, попадающих в смазочные материалы из почвы, возрастает износ деталей двигателей. Установлено [5], что при содержании в почве SiO_2 в количестве 95, 70 и 60 % средний износ гильз цилиндров двигателей через 256 часов работы составил соответственно 152, 93 и 72 мкм.

Исследования многих авторов [3, 5, 6] были направлены на изучение влияния размеров частиц загрязнений на интенсивность изнашивания. Ими установлено, что при одном и том же массовом количестве частиц загрязнений разных размеров, максимальный износ вызывают частицы размером от 15 до 40 мкм. Мелкие частицы размером 2-3 мкм находятся в смазочном материале во взвешенном состоянии, частично заполняют микровпадины на поверхностях трения, и, дей-

ствуя подобно коллоидному графиту, препятствуют непосредственному контакту сопрягаемых деталей и уменьшают износ их поверхностей. Однако при увеличении размеров частиц от 3-5 до 15-40 мкм, изнашивание, например, поршневых колец, увеличивается в 2-4 раза. В то же время при увеличении размеров частиц свыше 40 мкм, их изнашивание уменьшается. Полученные результаты объясняются фильтрующей способностью самого зазора, в который не попадают частицы, имеющие размер, превосходящий его величину.

После обкатки отработанное моторное масло утилизируется, либо используется на другие нужды. Следует отметить, что по многим параметрам такое масло еще имеет достаточный запас эксплуатационных свойств, но в то же время содержание частиц загрязнений в нем в 1,5-2 раза превышает предельно допустимое значение [7]. Удаление таких частиц из отработанного моторного масла можно осуществить фильтрованием с использованием фильтрующих материалов (ФМ), изготовленных методом порошковой металлургии.

Методы порошковой металлургии позволяют изготавливать 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 после обкатки ДВС.

Для разработки эффективных многослойных ФМ, реализующих процесс глубинного фильтрования, необходимо разработать математический подход, позволяющий устанавливать оптимальную поровую структуру таких материалов.

Целью данной работы является разработка математической модели построения оптимальной поровой структуры многослойных волоконных ФМ, реализующих процесс глубинного фильтрования, на примере очистки моторного масла после обкатки ДВС.

Основная часть

При разработке математической модели построения оптимальной поровой структуры многослойных ФМ авторами предлагается 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 обеспечит повышение грязеемкости и ресурса их работы за счет равномерного осаждения частиц загрязнений по толщине ФМ.

Математическая модель построения оптимальной поровой структуры многослойных ФМ, учитывающая свойства фильтруемой среды, свойства каждого слоя ФМ и режимы фильтрования, позволит прогнозировать толщины слоев и обосновывать выбор структурных параметров (размеров волокон) при заданной тонкости фильтрования и степени очистки.

В основу разработки модели построения оптимальной поровой структуры многослойных ФМ положена экспериментально установленная зависимость Ивасаки [8], описывающая закономерности осаждения частиц загрязнений в ФМ:

$$\frac{dC}{dx} = -\lambda C, \quad (1)$$

где C – объемная концентрация частиц загрязнений, %;

x – направление движения очищаемой жидкости, м;

λ – коэффициент фильтрования, m^{-1} .

Известно, что коэффициент λ , входящий в уравнение (1) для волоконного ФМ, равен [9]

$$\lambda_b = \frac{4(1-\Pi)\eta_0\alpha}{\pi D_b}, \quad (2)$$

где Π – пористость;

η_0 – вероятность столкновения частиц загрязнений в поровых каналах с волокнами;

α – вероятность осаждения частиц загрязнений на волокнах;

D_b – диаметр волокна, м.

Выражение (2) получено при следующих предположениях: во-первых, частицы загрязнений имеют сферическую форму, во-вторых, структурные элементы, образующие пористую среду, являются цилиндрами и, в-третьих, их размеры не изменяются с течением времени. Осаждение частиц загрязнений в ФМ в этом случае происходит под действием комплекса механизмов [10-13], зависящих от режимов фильтрования, физических и химических свойств очищаемой жидкости и частиц загрязнений, и структурных характеристик ФМ.

Особенностью глубинного фильтрования является то, что размер осаждаемых частиц загрязнений может быть намного меньше, чем размер пор ФМ. Если бы на частицы загрязнений механизмы осаждения не действовали, то траектории движения частиц совпадали бы с линиями тока жидкости. В этом случае многие из частиц, особенно небольшого размера, никогда бы не столкнулись со структурными элементами, образующими каркас ФМ, и не были бы удалены из очищаемой жидкости. Однако под действием механизмов осаждения частицы отклоняются от линий тока и приходят в контакт со структурными элементами, образующими поровое пространство ФМ. В результате такого взаимодействия происходит осаждение частиц загрязнений в поровых каналах.

К основным механизмам осаждения, отклоняющим частицы загрязнений от линий тока жидкости, относятся: прямое столкновение, седиментация, инерция и диффузия (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1. Механизмы осаждения частиц загрязнений; 1 – частица; 2 – коллектор (волокно)

Таблица 1. Механизмы осаждения частиц загрязнений, их сущность и вероятность столкновения при глубинном фильтровании

Механизм	Сущность механизма	Вероятность столкновения η
Прямое столкновение (<i>Interception</i>)	Возникает, когда линии тока, по которым движутся частицы загрязнений, проходят от препятствия на расстоянии, меньшем или равном половине их диаметра	$\eta_{\text{пр ст}} = \frac{16 \left(\frac{d}{D}\right)^{2-\text{Re}}}{\left(\text{Re}^{1/3} + 1\right)^3} \quad [10]$ $\text{Re} = \frac{D v_{\phi} \rho_{\text{ж}}}{\mu \Pi}$
Седиментация (<i>Gravity</i>)	Отклонение частиц загрязнений от линии тока под действием силы тяжести	$\eta_{\text{сед}} = \frac{(\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}) d^2 \Pi g}{18 \mu v_{\phi}} \quad [11]$
Инерция (<i>Inertia</i>)	Отклонение частиц загрязнений от линии тока под действием сил инерции	$\eta_{\text{ин}} = \frac{\rho_{\text{т}} d^2 v_{\phi}}{18 \mu D \Pi} \quad [12]$
Диффузия (<i>Diffusion</i>)	Отклонение частиц загрязнений от линии тока в результате их столкновения с молекулами жидкости	$\eta_{\text{диф}} = 0,9 \left(\frac{k_6 T \Pi}{\mu d D v_{\phi}} \right)^{2/3} \quad [13]$

где d – диаметр частиц загрязнений, м; Re – число Рейнольдса; k_6 – постоянная Больцмана, равная $1,3804 \cdot 10^{-23}$, Дж/К; T – абсолютная температура, К; μ – динамическая вязкость очищаемой жидкости, Па·с; v_{ϕ} – скорость фильтрации, м/с; $\rho_{\text{т}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ – соответственно плотность частиц загрязнений и очищаемой жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²

При проведении теоретических расчетов, авторы источника [11] в выражении (2) принимают: $\alpha = 1$, полагая, что все частицы, столкнувшиеся с коллектором, задерживаются на нем, а при определении значений вероятности столкновения η_0 , учитывают роль вышеописанных механизмов следующим образом:

$$\eta_0 = \eta_{\text{диф}} + \eta_{\text{пр ст}} + \eta_{\text{сед}} + \eta_{\text{ин}} \quad (3)$$

Опишем модель поровой структуры многослойного волокнового ФМ (рис. 2), который должен обеспечить равное осаждение частиц загрязнений в каждом его слое.

Для многослойного ФМ уравнение Ивасаки (1) имеет вид [9]

$$C = C(x) = \begin{cases} C_0 e^{-\lambda_1 x}, & 0 \leq x \leq x_1; \\ C_1 e^{-\lambda_2 (x-h_1)}, & x_1 \leq x \leq x_2; \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ C_{i-1} e^{-\lambda_i (x-h_{i-1})}, & x_{i-1} \leq x \leq x_i; \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ C_{n-1} e^{-\lambda_n (x-h_{n-1})}, & x_{n-1} \leq x \leq x_n. \end{cases} \quad (4)$$

где C_0 – концентрация частиц загрязнений на входе в ФМ; $C_1, \dots, C_{i-1}, \dots, C_{n-1}$ – концентрация частиц загрязнений на выходе из первого, ..., ($i-1$)-го, ..., ($n-1$)-го слоев, соответственно; $h_1, h_2, \dots, h_{i-1}, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ – толщины первого, второго, ..., ($i-1$)-го, i -го, ..., ($n-1$)-го, n -го слоев соответственно, мм; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_n$ – коэффициент

фильтрации первого, второго, ..., i -го, ..., n -го слоев, соответственно.

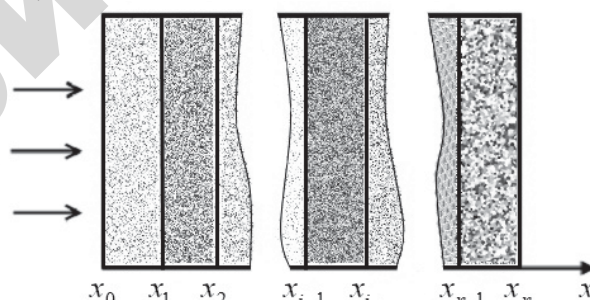


Рис. 2. Схема фильтрации в многослойном волокновом ФМ

Определим толщины слоев многослойного волокнового ФМ, обеспечивающие равное осаждение частиц загрязнений в каждом слое при требуемой степени фильтрации ψ . Последняя определяется из выражения:

$$\psi = 1 - \frac{C_n}{C_0} \quad (5)$$

где C_n – конечная концентрация частиц загрязнений на выходе из ФМ.

В качестве примера рассмотрим двухслойный волокновый ФМ.

Требование равного осаждения частиц загрязнений в каждом слое такого ФМ предполагает, что в первом слое, при прохождении через него жидкости, задерживается первая половина частиц загрязнений. Тогда на выходе из первого слоя объемная концен-

трация частиц загрязнений уменьшится со значения C_0 до значения C_1 :

$$C_1 = \frac{C_0 - C_n}{2} + C_n = C_0 e^{-\lambda_1 h_1}. \quad (6)$$

Из уравнения (8) толщина первого слоя h_1 равна

$$h_1 = -\frac{1}{\lambda_1} \ln \left(\frac{1}{2} + \frac{C_n}{2C_0} \right). \quad (7)$$

Для второго слоя, обеспечивающего задержку второй половины частиц загрязнений, концентрация частиц загрязнений уменьшится до значения C_2 , равного C_n . В этом случае толщина второго слоя h_2 равна

$$h_2 = -\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{2C_n}{C_0 + C_n}. \quad (8)$$

Проводя аналогичные рассуждения и расчеты для случая трехслойного волоконного ФМ, обеспечивающего равное осаждение частиц загрязнений в каждом слое (задержка трети частиц загрязнений каждым слоем), толщины слоев волоконного ФМ будут равны

$$h_1 = -\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{2C_0 + C_n}{3C_0}; \quad h_2 = -\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{C_0 + 2C_n}{2C_0 + C_n};$$

$$h_3 = -\frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{3C_n}{C_0 + 2C_n}. \quad (9)$$

Тогда для многослойного волоконного ФМ, состоящего из n слоев и обеспечивающего равное осаждение частиц загрязнений в каждом слое, толщина i -го слоя h_i может быть определена из выражения:

$$h_i = -\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{(n-i)C_0 + iC_n}{(n-i+1)C_0 + (i-1)C_n}. \quad (10)$$

Нахождение оптимальной структуры многослойных ФМ рассмотрим на примере процесса фильтрации моторного масла М-10Г₂ (ГОСТ 8581-78) после обкатки двигателя Д-240 на ОАО «Березовский мотороремонтный завод». Гранулометрический состав частиц загрязнений, присутствующих в моторном масле после обкатки, приведен на рис. 3 [14].

Анализ гистограммы (рис. 3) показывает, что наибольшее количество частиц загрязнений представляют частицы размерами 10, 20, 30 мкм, которые являются наиболее опасными в процессе приработки сопряжений деталей при обкатке.

Рассчитаем толщины слоев многослойных волоконных ФМ с волокнами различного размера. При проведении расчетов, в качестве очищаемой жидкости выбрано вышерассмотренное моторное масло М-10Г₂ ($\rho_{ж} = 850,82 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 0,0119 \text{ Па}\cdot\text{с}$ при температуре $T = 373 \text{ К}$), скорость фильтрации $v_{ф} = 0,01 \text{ м/с}$. Размеры частиц загрязнений SiO₂ ($\rho_{т} = 2650 \text{ кг/м}^3$) выбирались равными $d = 10, 20$ и 30 мкм , а диаметры волокон $D = 100, 200, 300$ и 400 мкм . Требуемая степень очистки ψ принималась равной $0,95$ ($C_n/C_0 = 0,05$).

Для расчета толщин слоев двухслойного ФМ использовали выражения (7), (8), трехслойного – выра-

жения (9). При этом при определении из выражения (2) значений коэффициента фильтрации λ учитывали действующие механизмы осаждения (табл. 1, выражение (3)), зависящие от свойств очищаемой среды ($\rho_{ж}, \mu$), структурных свойств ФМ (Π, D) и режимов фильтрации ($T, v_{ф}$). Для ФМ, обеспечивающих тонкость очистки $d = 30 \text{ мкм}$ и 20 мкм , выбирали следующие комбинации слоев с размерами волокон: двухслойных – $400, 300 \text{ мкм}$; $400, 200 \text{ мкм}$; $300, 200 \text{ мкм}$; трехслойного – $400, 300, 200 \text{ мкм}$, а для ФМ, обеспечивающих тонкость очистки $d = 10 \text{ мкм}$, были рассмотрены следующие комбинации: двухслойных – $300, 200 \text{ мкм}$; $300, 100 \text{ мкм}$; $200, 100 \text{ мкм}$; трехслойного – $300, 200, 100 \text{ мкм}$.

Одновременно с расчетом толщин слоев ФМ, обеспечивающих равное осаждение частиц загрязнений в каждом слое, устанавливались закономерности изменения относительной концентрации частиц C/C_0 (4) при прохождении через выбранные комбинации слоев многослойных ФМ.

Результаты расчетов толщин слоев h_i и закономерности изменения концентрации частиц загрязнений C/C_0 в каждом слое представлены на рис. 4-6.

Анализ полученных результатов (рис. 4-6) показывает, что выбор различных комбинаций слоев из волокон различного диаметра позволяет определить их толщины, обеспечивающие равное осаждение частиц загрязнений в каждом слое, при этом общая толщина многослойных ФМ различна.

Важной характеристикой ФМ является его производительность Q , которая может быть определена из закона Дарси и зависит от коэффициента проницаемости k и толщины ФМ h :

$$Q = \frac{k\Delta P}{\mu h} St, \quad (11)$$

где ΔP – перепад давления на ФМ, Па;

S – площадь ФМ, м²;

t – время процесса фильтрации, с.

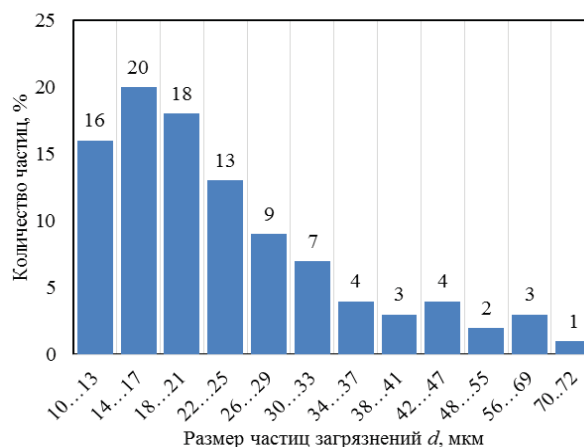


Рис. 3. Распределение частиц загрязнений по размерам при обкатке двигателей

Для волоконных ФМ коэффициент проницаемости k может быть определен из выражения [15].

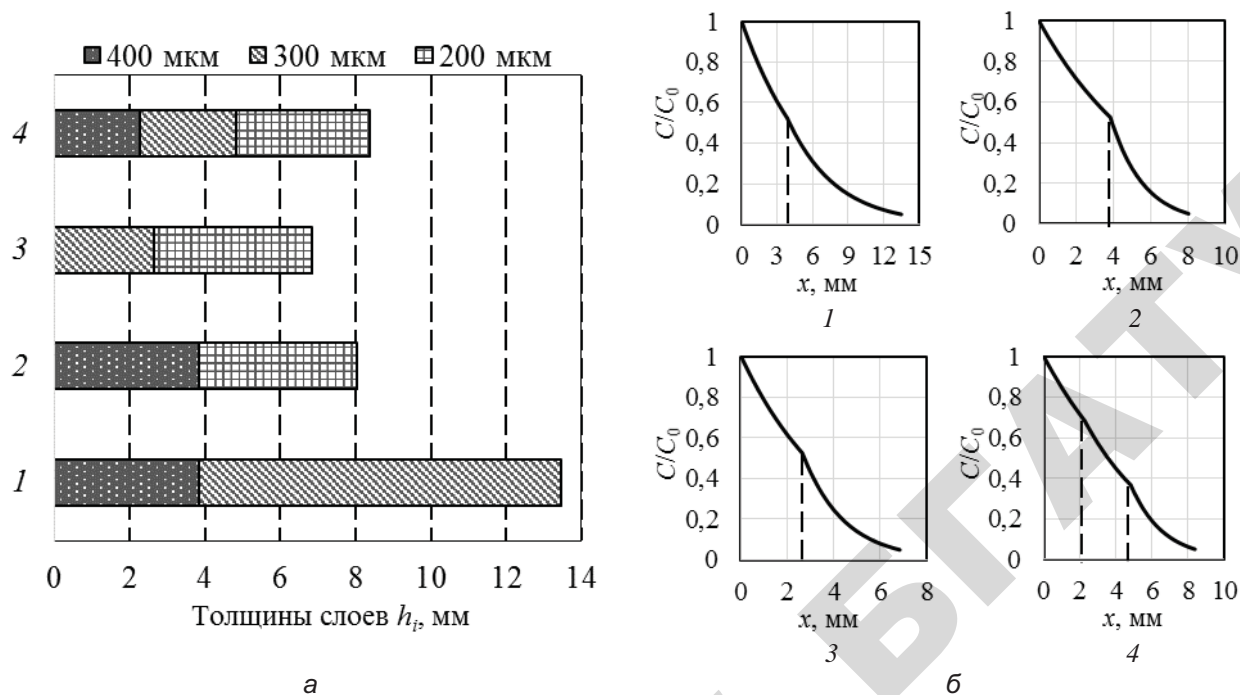


Рис. 4. Толщины слоев h_i (а) и изменения относительной концентрации частиц загрязнений C/C_0 (б) для различных комбинаций многослойных ФМ, обеспечивающих тонкость очистки 30 μm , с размерами волокон: 1 – двухслойный (400, 300 μm); 2 – двухслойный (400, 200 μm); 3 – двухслойный (300, 200 μm); 4 – трехслойный (400, 300, 200 μm)

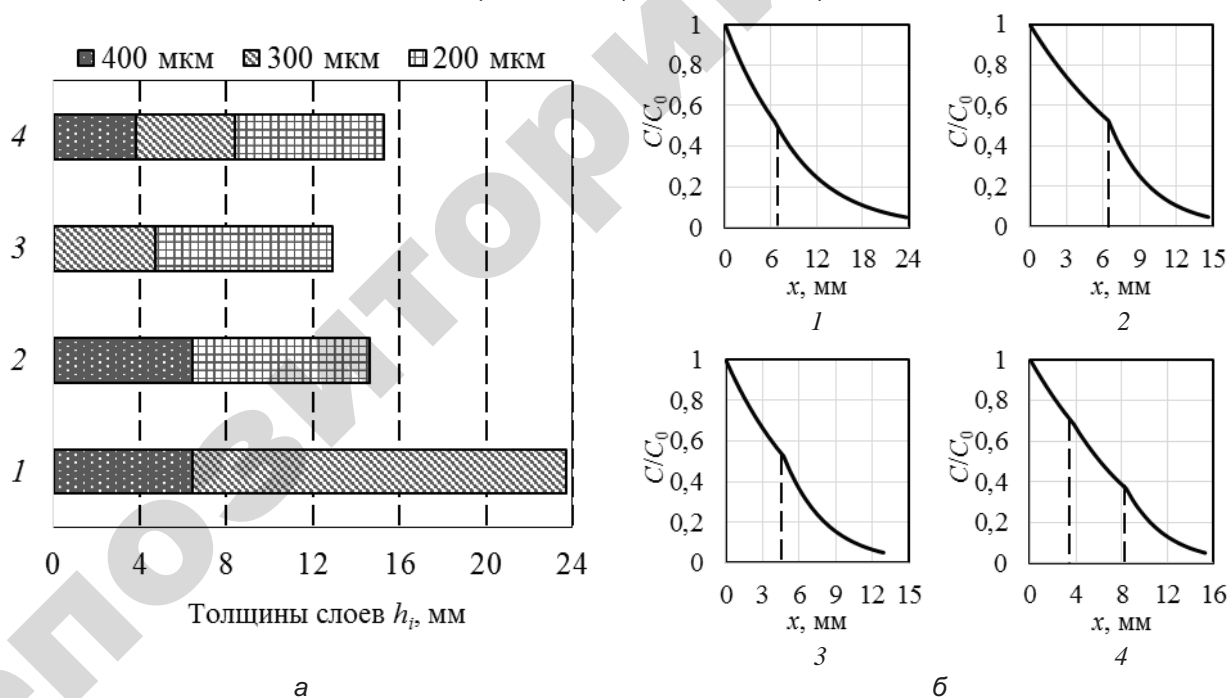


Рис. 5. Толщины слоев h_i (а) и изменения относительной концентрации частиц загрязнений C/C_0 (б) для различных комбинаций многослойных ФМ, обеспечивающих тонкость очистки 20 μm (1 – 4, рис. 4)

$$k = \frac{D^2}{f(1-\Pi)}, \quad (12)$$

где $f(1-\Pi)$ равно [16]

$$f(1-\Pi) = 64(1-\Pi)^{3/2}(1+56(1-\Pi)^3). \quad (13)$$

Используя выражения (12), (13), были рассчитаны коэффициенты проницаемости k ФМ из волокон различных диаметров D :

D , μm	100	200	300	400
k , μm^2	25,7	102,7	231,0	410,7

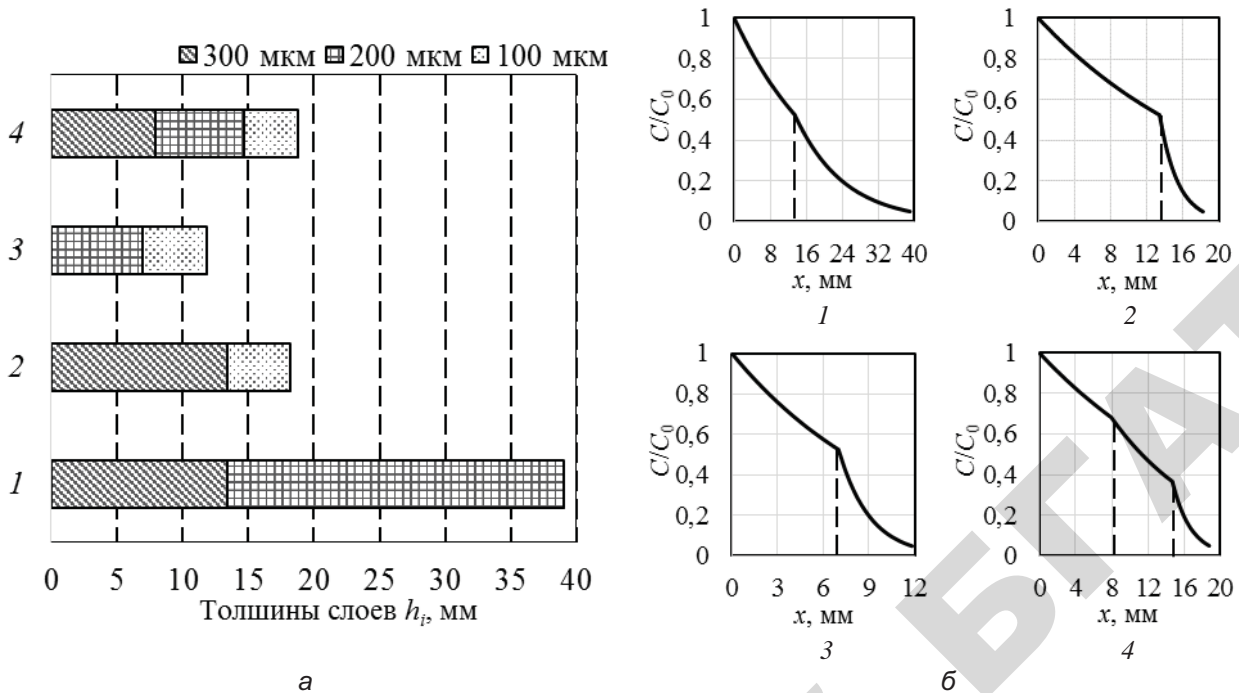


Рис. 6. Толщины слоев h_i (а) и изменения относительной концентрации частиц загрязнений C/C_0 (б) для различных комбинаций многослойных ФМ, обеспечивающих тонкость очистки 10 мкм, с размерами волокон: 1 – двухслойный (300, 200 мкм); 2 – двухслойный (300, 100 мкм); 3 – двухслойный (200, 100 мкм); 4 – трехслойный (300, 200, 100 мкм)

Определим коэффициенты проницаемости $k_{\text{эф}}$ рассматриваемых выше многослойных ФМ с различными комбинациями слоев при тонкости очистки d , равной 30, 20 и 10 мкм. Для этого воспользуемся выражением [9]:

$$k_{\text{эф}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{k_i}}, \quad (14)$$

где k_i – коэффициент проницаемости i -го слоя ФМ, мкм^2 .

Результаты расчетов коэффициентов проницаемости $k_{\text{эф}}$ многослойных ФМ представлены на рис. 7.

Анализ диаграмм (рис. 4а, 5а, 6а, 7) показывает, что максимальной проницаемостью обладают многослойные ФМ наибольшей толщины. На практике это является нецелесообразным ввиду высоких материальных затрат при их изготовлении.

Для оценки выбора оптимальной комбинации слоев ФМ была рассчитана относительная производительность ФМ $Q_{\text{отн}}$, равная отношению объема профильтрованной жидкости Q (11) к объему ФМ Q_M :

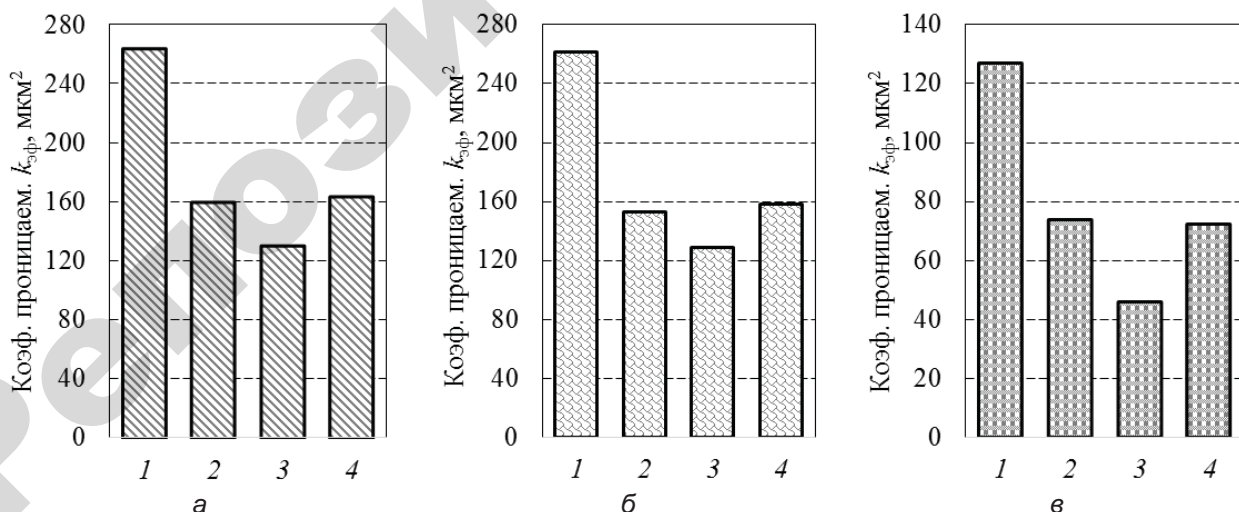


Рис. 7. Значения коэффициентов проницаемости $k_{\text{эф}}$ многослойных ФМ с различной тонкостью очистки: а) $d = 30 \mu\text{m}$; б) $d = 20 \mu\text{m}$; в) $d = 10 \mu\text{m}$ (1 – 4, рис. 4)

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_M}$$

Очевидно, что если площадь фильтрации ФМ равна S , а его толщина h , то $Q_M = Sh$. Тогда, воспользовавшись уравнением (11), можно записать, что

$$Q_{\text{отн}} = \frac{k\Delta P}{\mu h^2} t. \quad (15)$$

Определим значения $Q_{\text{отн}}$ для случая фильтрования моторного масла М-10Г₂ через рассматриваемые многослойные ФМ при перепаде давления $\Delta P = 0,1$ МПа и времени процесса $t = 1$ с.

Результаты расчетов относительной производительности $Q_{\text{отн}}$ многослойных ФМ представлены на рис. 8.

Анализ проведенных расчетов (рис. 8) показал, что, несмотря на полученную низкую проницаемость (рис. 7), наибольшей относительной производительностью при меньшей толщине (рис. 4-6) обладают двухслойные ФМ с размерами волокон 300 и 200 мкм при тонкости очистки, равной 30 и 20 мкм, и 200 и 100 мкм при тонкости очистки, равной 10 мкм. Полученные результаты позволяют утверждать, что такие ФМ обеспечивают равномерное осаждение частиц загрязнений по толщине, а их поровая структура является оптимальной.

Заключение

Разработана математическая модель осаждения частиц загрязнений в многослойном фильтрующем материале.

На основе разработанной модели рассчитаны толщины слоев ФМ, обеспечивающих равное осаждение частиц загрязнений в каждом слое, и установлены закономерности изменения относительной концентрации частиц при прохождении через выбранные комбинации слоев многослойных ФМ.

В качестве критерия оценки оптимальности поровой структуры ФМ предложено использовать относительную производительность, равную отношению объема профильтрованной жидкости к объему ФМ.

На примере фильтрования моторного масла установлено, что наибольшей относительной производительностью обладают двухслойные ФМ с размерами волокон 300 и 200 мкм при тонкости очистки, равной 30 и 20 мкм, и 200 и 100 мкм при тонкости очистки – 10 мкм. Полученные результаты позволяют утверждать, что такие ФМ обеспечивают равномерное осаждение частиц загрязнений по толщине, а их поровая структура является оптимальной.

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. Григорьев, М.А. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

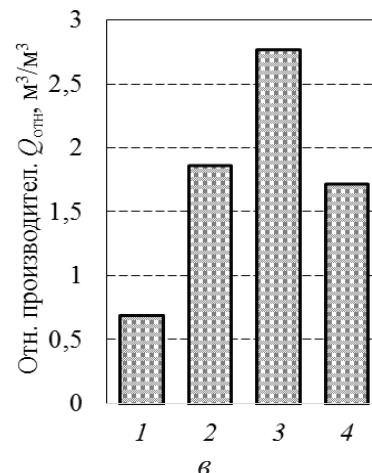
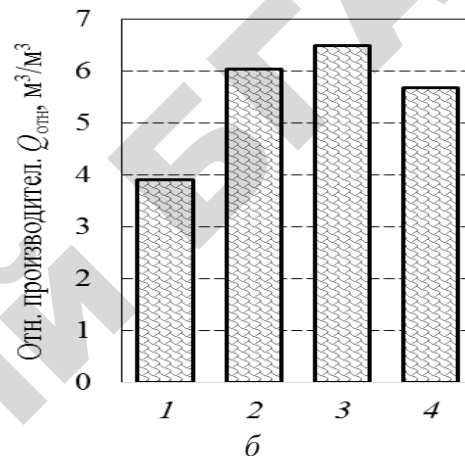
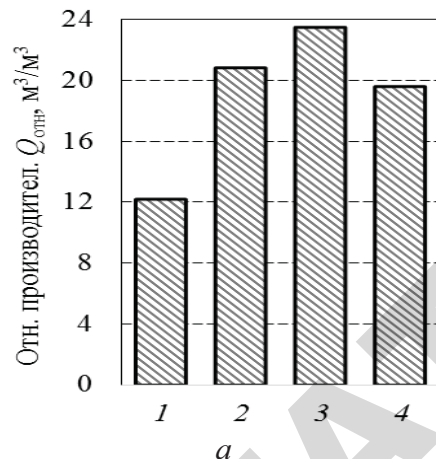


Рис. 8. Значения относительной производительности $Q_{\text{отн}}$ многослойных ФМ с различной тонкостью очистки: а) $d = 30$ мкм; б) $d = 20$ мкм; в) $d = 10$ мкм (1 – 4, рис. 4)

3. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский // Горная промышленность. – М.: ГЕМОС Лтд., 2003. – 360 с.

4. Барышев, В.И. Повышение технического уровня и надежности гидропривода тракторов и сельхозмашин в эксплуатации: автореф. ... дисс. докт. техн. наук / В.И. Барышев; МИИСП. – М., 1991. – 39 с.

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

6. Коваленко, В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – М.: Химия, 1978. – 304 с.

7. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н.В. Храмов [и др.]. – М., 1991. – 142 с.

8. Iwasaki, T. Some notes on sand filtration / T. Iwasaki // Jour. AWWA. – 1937. – № 29. – P. 1591-1602.

9. 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.

10. Huang, Ch. Mechanism of Particle Impaction and Filtration by the Dry Porous Metal Substrates of an Inertial Impactor / Ch.-Hs. Huang, Ch.-J. Tsai. // Aerosol Science and Technology. – 2003. – № 37. – P. 486-493.

11. 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.

12. Bliss, T. Suspended Solids Washing Overview / T. Bliss, M. Ostojca-Starzewski. // IPST Technical Paper Series Number 679. – 1997. – 13 p.

13. Левич, В.Г. Физико-химическая гидродинамика / В.Г. Левич. – М.: Государственное издательство физико-химической литературы, 1959. – 700 с.

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

15. Spielman, L. Model for predicting pressure drop and filtration efficiency in fibrous media / L. Spielman, S. L. Goren // Environmental Science and Technology. – 1968. – Vol. 2. – № 4. – P. 279-287.

16. Davies, C. N. Air filtration / C. N. Davies. London, New York: Academic Press, 1973. – 171 p.

ПОТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.04.2018

УДК 637.116.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВАКУУМА В ПРИСОСКЕ СОСКОВОЙ РЕЗИНЫ ДОИЛЬНОГО АППАРАТА

С.Н. Бондарев,

аспирант каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

А.В. Китун,

зав. каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.И. Передня,

гл. науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», докт. техн. наук, профессор

В статье рассмотрено определение величины вакуума в присоске сосковой резины в зависимости от такта работы доильного аппарата.

Ключевые слова: присосок, сосковая резина, вакуум, подвесная часть доильного аппарата.

The article considers the vacuum determination in the sucker of the teatcup liner, depending on the operation cycle of the milking machine.

Keywords: sucker, teatcup, vacuum, hanging part of the milking machine.

Введение

Одним из исполнительных рабочих органов доильного аппарата является доильный стакан. Для того чтобы доильные стаканы не спадали в процессе доения с сосков вымени животного, в присоске сосковой резины, расположенной в верхней ее части, создается вакуум [1, 2].

При чрезмерно большом вакууме, в присоске сосковой резины будет создаваться чрезмерное вакуумметрическое давление, воздействующее на сосок вымени животного (его верхнюю часть). В результате будет происходить внутренняя деформация верхней части сосковой цистерны и нервной системы соска, что может привести к заболеванию животного маститом, снижающим молочную продуктивность животного.

В результате малого вакуума в присоске сосковой резины, доильные стаканы будут спадать с сосков вымени животного, что ухудшает процесс доения [3].

Таким образом, обозначенные процессы приводят к травмированию внутренних тканей соска, снижают молокоотдачу, а также увеличивают риск заболеваемости маститом и увеличивают время доения животного. Снизить риск возникновения указанных негативных явлений можно, определив оптимальное значение вакуума в присоске сосковой резины в зависимости от режима работы доильного аппарата.

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование величины вакуума в присоске сосковой резины в зависимости от параметров доильного аппарата и его режимов работы.