

логии и изделия на их основе. / Материалы III Международного симпозиума, г. Минск. 21-22 октября 2008 г. – г. Минск: ГНУ ИПМ, 2008. – с. 170-175.

5. Получение пористых порошковых материалов с градиентной структурой в режиме технологического горения. /Беляев А.В., Черняк И.Н., Боровик Д.И. / Тез. доклада 8-ой республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки» апрель 2007 г. – Минск: БНТУ, 2007. - с. 107-108.

ОСАЖДЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ ПРИ ГЛУБИННОМ ФИЛЬТРОВАНИИ

**КАПЦЕВИЧ В.М., ЛЕОНОВ А.Н., КОРНЕЕВА В.К.,
КРИВАЛЬЦЕВИЧ Д.И., ЧУГАЕВ П.С.**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Беларусь*

Процесс фильтрования является наиболее простым и эффективным способом удаления загрязнений из смазочных материалов [1–3]. По современным представлениям способы фильтрования, т.е. разделения суспензии на твердую и жидкую фазы, подразделяют на осветление и фильтрование с образованием осадка.

Очистка смазочных материалов, конечной целью которого является получение очищенных моторных масел или рабочих жидкостей гидравлических систем, относится к процессу осветления.

Осветление является гидродинамическим процессом, скорость которого прямо пропорциональна разности давлений, создаваемых по обеим сторонам фильтровального элемента, и обратно пропорциональна сопротивлению, испытываемому жидкостью при ее движении через поры элемента и слой образовавшегося осадка. В зависимости от решаемой задачи осветление разделяют на поверхностное и глубинное. При очистке смазочных материалов основным является глубинное осветление.

При глубинном осветлении основными процессами осаждения (кольматации) являются как непосредственный механический захват частиц твердой фазы, так и их адсорбция под действием физических и химических сил на внутренней поверхности пор фильтровального элемента. При этом виде осветления удается отделить значительную долю частиц твердой фазы, размеры которых меньше размеров пор, хотя на основании чисто геометрических соотношений этих размеров кажется, что указанные

частицы могли бы свободно пройти через фильтрующий материал (ФМ).

Теоретическое описание процесса осаждения частиц загрязнений в пористой среде ФМ основывается на использовании уравнения сохранения массы и кинетических уравнениях [4].

Для вывода уравнения сохранения массы рассмотрим единицу объема ФМ, схематично представленную на рисунке 1. Здесь Π_0 — начальная пористость; $(1-\Pi_0)$ — объем материала каркаса; σ — объем осажденных частиц; Π — пористость среды, изменяющаяся в процессе осаждения частиц загрязнений, равная $\Pi_0 - \sigma$; ΠC — объем незадержанных частиц, прошедших через ФМ; $\Pi(1-C)$ — объем пор ФМ за вычетом объема незадержанных частиц.

Рассмотрим элемент объема ФМ, представляя его в виде прямоугольного параллелепипеда в ортогональной системе координат x, y, z (рисунок 2). Пусть очищаемая жидкость со взвешенными в ней частицами загрязнений движется в направлении оси x и имеет в плоскости $x = x_0$ концентрацию C . Частицы загрязнений, проходя через элемент объема ФМ, осаждаются в нем и их концентрация в плоскости $x = x_0 + \Delta x$ уменьшится и окажется равной $C - \Delta C$.

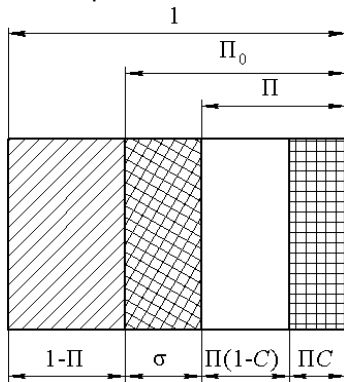


Рис. 1. Схематичное представление единицы объема пористой среды

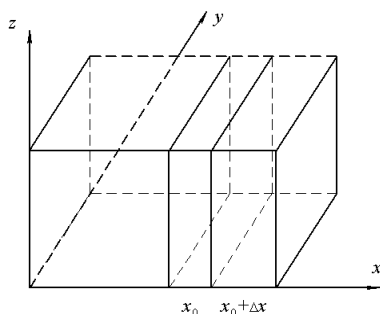


Рис. 2. Элемент объема ФМ в ортогональной системе координат

Выражение для объема частиц загрязнений, задержанных за время Δt элементом объема ФМ, ограниченным параллельными плоскостями, площадью S каждая и имеющими соответственно координаты $x = x_0$ и $x = x_0 + \Delta x$, можно записать в виде:

$$v_{\phi} C S \Delta t - (C - \Delta C) v_{\phi} S \Delta t = v_{\phi} \Delta C S \Delta t . \quad (1)$$

Вследствие осаждения частиц загрязнений пористость выделенного элемента объема ФМ уменьшится на величину $\Delta \Pi$, а объем пор на величину — $\Delta \Pi S \Delta x$. Приравнивая объем частиц загрязнений, задержанных выделенным элементом за время Δt , к изменению объема пор, получим:

$$v_{\phi} \Delta C S \Delta t = \Delta \Pi S \Delta x . \quad (2)$$

Тогда, при Δx и Δt , стремящихся к нулю, выражение (2) примет вид:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} = v_{\phi} \frac{\partial C}{\partial x} . \quad (3)$$

Уравнение (1.13), описывающее изменение объема пор ФМ вследствие осаждения в нем частиц загрязнений, является искомым уравнением сохранения массы.

Выведем кинетическое уравнение осаждения, определяющее кинетику изменения пористости в процессе прохождения частиц загрязнений через элемент объема ФМ. Изменение объема пор ΔV в выделенном элементе объема пористой среды (рисунок 2), расположенном между $x = x_0$ и $x = x_0 + \Delta x$, за малый отрезок времени Δt определяется выражением:

$$\Delta V = \frac{\partial \Pi}{\partial t} S \Delta t \Delta x . \quad (4)$$

За этот промежуток времени Δt объем частиц загрязнений, прошедших через сечение $x = x_0$, равен:

$$V = v_{\phi} C S \Delta t . \quad (5)$$

Тогда вероятность осаждения частиц загрязнений q при прохождении через выделенный элемент пористой среды равна отношению изменения объема пор ΔV к объему частиц загрязнений V , прошедших через сечение $x = x_0$. Отсюда:

$$q = \frac{\Delta x}{v_{\phi} C} \frac{\partial \Pi}{\partial t} . \quad (6)$$

Разделив полученное выражение на Δx , получим вероятность осаждения на единице длины выделенного элемента пористого тела:

$$\bar{\omega}_{oc} = \frac{1}{v_{\phi} C} \frac{\partial \Pi}{\partial t} . \quad (7)$$

Выражение (7) можно переписать в виде:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} = \bar{\omega}_{oc} v_{\phi} C. \quad (8)$$

Выражение (8) является искомым кинетическим уравнением осаждения, в котором $\bar{\omega}_{oc}$ учитывает вероятностный характер осаждения частиц загрязнений в объеме ФМ и в общем случае является функцией их свойств, ФМ, а также действующих механизмов осаждения.

В качестве примера рассмотрим случай, когда размер частиц загрязнений соизмерим с размерами пор ФМ. Тогда вероятность $\bar{\omega}_{oc}$ пропорциональна относительному сечению захвата, определяемому отношением S_{τ}/S , где S_{τ} — площадь, занимаемая ФМ в сечении, перпендикулярном направлению фильтрования, и S — площадь ФМ в этом же сечении [5].

Учитывая [6], что

$$\frac{S_{\tau}}{S} = 1 - \Pi, \quad (9)$$

кинетическое уравнение можно записать в виде:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} = a(1 - \Pi)v_{\phi} C, \quad (10)$$

где a — постоянная.

Таким образом, для определения закономерности изменения объема пор ФМ в процессе осаждения необходимо решить систему двух уравнений, включающую в себя уравнение сохранения массы (3) и кинетическое уравнение (10).

Пусть в начальный момент времени $t = 0$ пористость равна Π_0 :

$$\Pi|_{t=0} = \Pi_0, \quad (11)$$

а концентрация частиц загрязнений в сечении $x = 0$ поддерживается постоянной и равна C_0 :

$$C|_{x=0} = C_0. \quad (12)$$

Для решения системы уравнений (1.13) и (1.20) с начальными и граничными условиями (11), (12) сделаем замену переменных:

$$1 - \Pi = \rho \text{ и } b = -av_{\phi}. \quad (13)$$

Тогда, с учетом (13), система уравнений (3) и (10) примет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = a\rho C; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = bC\rho. \quad (14)$$

Вводя обозначения $ax = \xi$ и $bt = \tau$, из уравнений (14) получаем:

$$\frac{\partial C}{\partial \xi} = \rho C; \quad \frac{\partial \rho}{\partial \tau} = C\rho. \quad (15)$$

Из уравнений (15) следует, что существует бесчисленное множество функций $F(\xi, \tau)$ таких, как:

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = C; \quad \frac{\partial F}{\partial \xi} = \rho. \quad (16)$$

Тогда:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial \xi \partial \tau} = \frac{\partial F}{\partial \xi} \frac{\partial F}{\partial \tau}. \quad (17)$$

С учетом уравнений (16), выражение (17) можно переписать в виде:

$$\frac{\partial C}{\partial \xi} = C \frac{\partial F}{\partial \xi}. \quad (18)$$

Интегрируя уравнение (18), получим:

$$C = \psi(\tau)e^{\phi(\xi, \tau)}. \quad (19)$$

Учитывая (16), из выражения (19) можно определить $F(\xi, \tau)$:

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = \psi(\tau)e^{F(\xi, \tau)}. \quad (20)$$

Откуда после интегрирования по τ :

$$F(\xi, \tau) = -\ln \left[W(\xi) - \int_0^\tau \psi(\tau) d\tau \right], \quad (21)$$

где $W(\xi)$ — некоторая функция ξ .

Подставляя (21) в (19), получим:

$$C(\xi, \tau) = \frac{\psi(\tau)}{W(\xi) - \int_0^\tau \psi(\tau) d\tau}. \quad (22)$$

Для определения значения ρ продифференцируем уравнение (21) по ξ . Тогда, учитывая (16), получим:

$$\rho(\xi, \tau) = \frac{-W'(\xi)}{W(\xi) - \int_0^\tau \psi(\tau) d\tau}. \quad (23)$$

В уравнениях (22) и (23) для определения функций ψ и W воспользуемся начальными и граничными условиями (11) и (12), которые в переменных τ и ξ имеют вид:

$$\rho|_{\tau=0} = \rho_0 = 1 - \Pi_0; C|_{\xi=0} = C_0. \quad (24)$$

Отсюда:

$$\psi = \psi_0 e^{-C_0 \tau}; W(\xi) = W_0 e^{-\rho_0 \xi}, \quad (25)$$

где ψ_0 и W_0 — постоянные, связанные между собой соотношением:

$$\psi_0 = W_0 C_0. \quad (26)$$

Подставляя (25) в (22)–(23) и учитывая (26), получим решение системы уравнений (15) в виде:

$$C(\xi, \tau) = C_0 \frac{e^{-C_0 \tau}}{e^{-C_0 \tau} + e^{-\rho_0 \xi} - 1}; \rho(\xi, \tau) = \rho_0 \frac{e^{-\rho_0 \xi}}{e^{-C_0 \tau} + e^{-\rho_0 \xi} - 1}. \quad (27)$$

Переходя от переменных ξ, τ, k, x, t и учитывая (13), получим окончательные выражения для определения распределения концентрации частиц загрязнений и пористости по толщине ФМ:

$$C(x, t) = C_0 \frac{e^{aC_0 v_\phi t}}{e^{aC_0 v_\phi t} + e^{-a(1-\Pi_0)x} - 1}; \quad (28)$$

$$\Pi = \Pi_0 + \frac{1 - \Pi_0}{\Pi_0} \frac{e^{aC_0 v_\phi t} - 1}{e^{aC_0 v_\phi t} + e^{-a(1-\Pi_0)x} - 1}. \quad (29)$$

На рисунках 3–5 представлены результаты расчетов распределения пористости по сечению ФМ при различных параметрах a (рис.3), времени осаждения t (рис. 4) и скоростях фильтрации v_ϕ (рис. 5), полученные по формуле (29).

Проведенные расчеты показывают, что при глубинном освещении осаждение частиц загрязнений происходит неравномерно, в результате чего пористость ФМ при входе загрязнителя может существенно уменьшаться, приводя к снижению производительности всего ФМ в целом.

Поэтому, одним из путей решения проблемы повышения производительности и ресурса ФМ является поиск технических решений, заключающихся в создании ФМ с анизотропной структурой пор, у которых их размеры уменьшаются в направлении течения очищаемой жидкости.

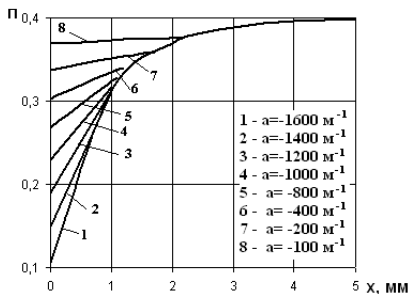


Рис. 3. Распределение пористости по сечению ФМ при $\Pi_0 = 0,4$; $C_0 = 10^{-4}$; $t = 25 \text{ с}$; $V_{\text{ф}} = 0,1 \text{ м/с}$ при различных значениях параметра a

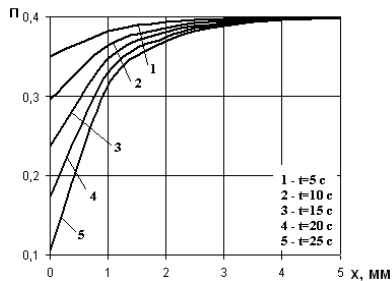


Рис. 4. Распределение пористости по сечению ФМ при $\Pi_0 = 0,4$; $C_0 = 10^{-4}$; $a = -1600 \text{ M}^{-1}$; $V_{\text{ф}} = 0,1 \text{ м/с}$ в различные моменты времени t

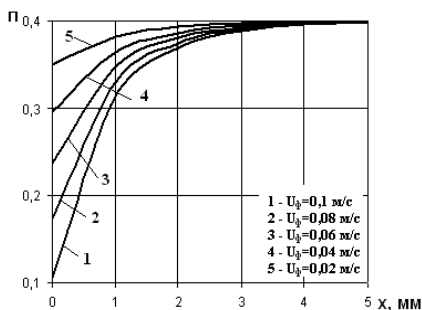


Рис. 5. Распределение пористости по сечению ФМ при $\Pi_0 = 0,4$; $C_0 = 10^{-4}$; $a = -1600 \text{ M}^{-1}$; $t = 25 \text{ с}$ и различных скоростях фильтрации

Наибольшее влияние на процесс осаждения частиц загрязнителя в ФМ оказывают механизмы касания и инерции. Под действием этих механизмов при глубинном фильтровании осаждение происходит неравномерно, что приводит к быстрому выходу ФМ из строя. Для повышения ресурса ФМ необходимо использование ФМ с анизотропной структурой пор, у которого поры со стороны входа потока имеют максимальный размер, а в направлении движения потока их размеры ступенчато или плавно уменьшаются.

Литература:

1. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2007. – 232 с.
2. Бродский, Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин / Г.С. Бродский. – Москва: «Журнал «Горная промышленность» Издатель НПК «ГЕМОС Лтд.», 2003. – 360 с.

3. Удлер, Э.И. Повышение эффективности очистки нефтепродуктов в сельском хозяйстве средствами фильтрации / Э.И. Удлер. – Томск: Томский инженерно-строительный институт, 1988. – 124 с.
4. Herzig, J.P. Flow of suspensions through porous media / Herzig J.P., Leclerc D.M., Le Goff P. // Application to deep filtration. – Ind. Eng. Chem. –1970. – V.62. – №5. – P. 8–35.
5. Успенский, В.А. К расчету пылеулавливания в тканевых фильтрах / В.А. Успенский, Г.А. Ситницкий, Р.Г. Адамов // Инж.-физ. журнал. – 1975. – Т. 28. – С. 746–748.
6. Лаптев, А.М. Деформирование сферических частиц при уплотнении идеализированного пористого материала / А.М. Лаптев, А.Н. Ульянов // Порошковая металлургия. – 1984. – №3. – С. 17–20.

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОРОШКОВЫЕ ПОКРЫТИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ СПЕКАНИЕМ, ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

КОВТУН В. А., ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ Ю.М.

*Институт механики металлополимерных систем
им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь,
тел.: (+375 232) 774638, e-mail: vadimkov@yandex.ru*

Фрикционные элементы тяжело нагруженных передаточных и тормозных устройств промышленного технологического оборудования, в особенности оснащенных пневмо- или электроприводом, подвергаются воздействию динамических ударных нагрузок, высоких температур в сочетании с процессами трения и изнашивания. Неблагоприятные условия работы фрикционной пары возникают при трении без смазки, в присутствии пыли, абразива, влаги и других агрессивных сред. Анализ литературных данных [1, 2] показывает преимущества металлокерамических материалов, сочетающих в себе достоинства керамики: тепло-, износо- и коррозионную стойкость с положительными свойствами металлической матрицы: пластичностью, прочностью, высокой теплопроводностью, устойчивостью к температурным воздействиям, хорошими обрабатываемостью и обрабатываемостью. Необходимо отметить, что фрикционные металлокерамические материалы, формируемые методами порошковой металлургии, по сравнению с фрикционными композитами на органическом связующем, имеют повышенную износостойкость, высо-