и трансмиссионное масло ТИ5-2 (ГОСТ 17479.2-85). В качестве модифицирующей добавки к смазочным маслам использовались углеродные наноразмерные порошки различных типов, синтезированные путем обработки метано-воздушной смеси плазмой высоковольтного разряда атмосферного давления в ИТМО НАН Беларуси.

Исходный углеродный материал подвергался ультразвуковой обработке для изменения качественных параметров углеродных наночастиц [2]. Суспензии углеродного материала в смазочных материалах (концентрация углеродного материала 0,1% по массе) готовились перемешиванием исследуемого углеродного материала в смазочном материале с помощью ультразвука в течение 5 минут в водоохлаждаемой кювете. Полученные суспензии представляли собой однородные непрозрачные вязкие жидкости. Методика экспериментального исследования триботехнических характеристик смазочных материалов (как исходных масел, так и наносуспензий на их основе) разрабатывалась в ВГУ им. П.М. Машерова основываясь на ГОСТ 9490-75 "Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения смазывающих свойств на четырехшариковой машине". Для оценки эффективности использования углеродного порошка в качестве дисперсного материала в смазочном материале использовался параметр величины износа стальных шаров при их взаимном трении. На основании экспериментов делался вывод об эффективности применения данного углеродного материала по уменьшению величины износа.

Полученные результаты свидетельствуют о зависимости триботехнических характеристик модифицированных смазочных масел от свойств исходных смазочных материалов и условий их модифицирования углеродными наночастицами, а так же от качественных параметров и содержания модифицирующих углеродных наночастиц [3].

Так для моторного масла М8в установлено, что введение 0,1 вес.% модифицирующего наноуглеродного порошка, имеющего аморфную структуру, методом двухстадийного ультразвукового диспергирования (диспергирование в этиловом спирте при концентрации порошка 1 вес.% в течении 40 минут и последующее перемешивание в исходном масле при концентрации порошка 0,1 вес.% в течении 5 с помощью ультразвука) приводит к улучшению триботехнических характеристик полученной суспензии – диаметр пятен износа по сравнению с чистым маслом уменьшается на 36%.

Литература

1. Люты М. и др. Триботехнические характеристики смазочных материалов, модифицированных нанодисперсными наполнителями // Наноструктурные материалы – 2002: Беларусь – Россия. Тезисы докл. 2-го научно-техн. сем., 24-25 окт. 2002. М.: ИМЕТ РАН, 2002. С. 44.
2. Толочко Н.К., Становой П.Г., Жданок С.А., Крауклис В.А. Ультразвуковое диспергирование углеродных наноматериалов. Перспективные материалы, 2008, №2. С. 5-9. (Россия)
3. Толочко Н.К., Мозжаров С.Е., Шиенок Ю.А., Крауклис А.В., Становой П.Г. Закономерности получения и триботехнические свойства смазочных материалов, модифицированных углеродными наноматериалами //Наноструктурные материалы – 2008: Беларусь – Россия – Украина (НАНО-2008). Матер. Первой междунар. научной конф. Минск, 22-25 апреля 2008. Мн.: Белорусская наука, 2008. С. 426.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАДАЧАХ МАССОПЕРЕНОСА

А.А. Яхновец Т.Н. Лисовенко

В задачах массопереноса изначально сложное уравнение

$$\rho \frac{d\rho_k}{dt} = div\{-D\rho[\nabla\rho_k + k_T\nabla(\ln T) + k_p\nabla(\ln\ p)]\} + J_v\,, \qquad (1)$$

можно заменить уравнением для более простой одномерной модели

$$\partial_t\rho(x,t) + c(\rho)\partial_x\rho(x,t) = 0. \qquad (2)$$

В формуле (1) ρ – плотность субстанции, например, массы, D – коэффициент диффузии, k_p, k_T – соответственно коэффициенты бародиффузии и термодиффузии, J_v – объемная мощность источника субстанции. В формуле (2) c(ρ) – скорость переноса массы как функция плотности. Переход к простой модели осуществляется с помощью усреднения по сечению потока и отбрасыванием слагаемых в (1), дающих малые вклады, мало влияющие на характерные процессы рассматриваемой модели (2). Как правило, для нее известны начальные условия из данных эксперимента, задаваемые в виде плавно меняющейся ограниченной функции

$$\rho(x,0) = \zeta(x)\,. \qquad (3)$$

Традиционно задача (2), (3) решается методом характеристик. Этот метод является сочетанием аналитических решений и геометрических построений, которые осуществляются для каждых конкретных начальных условий. На характеристиках задача может быть сформулирована в виде нелинейной системы дифференциальных уравнений с начальными условиями (3)

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = c(\rho) \\ \dfrac{d\rho}{dt} = 0 \end{cases} \tag{4}$$

Зададим в аналитическом виде функции c(ρ) и ζ(x)

$$c(\rho) = \alpha_1 + 2\alpha_2\rho + 3\alpha_3\rho^2 \tag{5}$$

$$\zeta(x) = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \tag{6}$$

С учетом того, что на характеристике плотность не меняется, систему (4) преобразуем к виду

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3\rho^2 \\ \dfrac{d\rho}{dt} = 0 \end{cases} \tag{7}$$

В формуле (7) $a_0 = \alpha_1 + 2\alpha_2 b_0, a_1 = 2\alpha_2 b_1, a_2 = 2\alpha_2 b_2, a_3 = 3\alpha_3$. Для того, чтобы использовать в отношении (7) метод индуцированной алгебры, нужно первое уравнение системы привести к билинейной форме. Для этого выполним следующие операции:

1. Выделим полный квадрат для переменной x

$$a_2[(x + \frac{a_1}{2a_2})^2 - (\frac{a_1}{2a_2})^2 + \frac{a_0}{a_2}] \tag{8}$$

2. Введем обозначения $y = x + \dfrac{a_1}{2a_2}, \Omega = a_0 - \dfrac{a_1^2}{2a_2}, \dfrac{dx}{dt} = \dfrac{dy}{dt}$. Система (7) перепишется в виде

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{dt} = a_2 y^2 + a_3\rho^2 + \Omega w^2 \\ \dfrac{d\rho}{dt} = 0 \\ \dfrac{dw}{dt} = 0 \end{cases} \tag{9}$$

В системе (9) формально введена переменная w, обладающая следующими свойствами: w(t)=1, $\dfrac{dw}{dt} = 0$.

Введем трехкомпонентный вектор состояния: u_1=y, u_2=ρ, u_3=w. Система (9) перепишется в векторно-матричной форме вида

$$\frac{du_k}{dt} = \sum_{ij} A_k^{ij} u_i u_j \tag{10}$$

В формуле (10) индексы k, i, j = 1, 2, 3. Матричные компоненты имеют вид

$$A_1^{ij} = \begin{pmatrix} a_2 & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & \Omega \end{pmatrix}; A_2^{ij} = A_3^{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \tag{11}$$

Компоненты вектора начального состояния зададим как

$$\vec{u}(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ \zeta(x) \\ 1 \end{pmatrix} \tag{12}$$

Задача сформулирована в терминах индуцированной алгебры.