

Стабильность сферического движения ферромагнитной наночастицы в вязкой среде

Подосинная А.В., студ.; Быстрик Ю.С., асп.;

Лютый Т.В., докторант

Сумский государственный университет, г. Сумы

Рассмотрена задача о регулярном движении сферической ферромагнитной наночастицы радиуса R в жидкой среде под действием вращающегося магнитного поля

$$\mathbf{h} = h(\mathbf{e}_x \cos \Omega t + \mathbf{e}_y \sin \Omega t), \quad (1)$$

где h и Ω – амплитуда и частота поля, соответственно, $\mathbf{e}_{x,y}$ – орты Декартовой системы координат. Использована концепция частицы с замороженным моментом, при которой движение постоянного по модулю магнитного момента происходит исключительно за счет механического вращения частицы. Для такой частицы система уравнений движения вокруг неподвижного центра масс имеет вид

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{m}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{m} \\ I \dot{\boldsymbol{\omega}} = \mathbf{m} \times \mathbf{h} - 8\pi\eta n^3 R^3 \boldsymbol{\omega} \end{cases}, \quad (2)$$

где $\mathbf{m} = \mathbf{m}(t)$ – вектор магнитного момента, $\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}(t)$ вектор угловой скорости, $I = \frac{8}{15}\pi\rho R^5$ – момент инерции частицы (ρ – плотность), η – вязкость жидкости, n – коэффициент, определяющий гидродинамический радиус.

Система (2) для поля формы (1) допускает два аналитических решения, описывающих прецессию с частотой внешнего поля, при которой магнитный момент либо лежит в плоскости поляризации поля, либо составляет некоторый постоянный угол с ней. Последующий анализ данных устойчивости решений по Ляпунову показал, что стабилен только первый режим прецессии. При анализе был использован критерий Раussa-Гурвица. Соответствующие миноры матриц находились как аналитически, так и численно с помощью математического пакета Maple.

Численное решение системы (2) показало, что с нарушением стабильности система переходит в неаналитический режим движения, при котором все три угловые координаты частицы меняются периодически с периодом не кратным периоду внешнего поля.