

- доступность продукции – возможность приобретения лучших товаров и услуг для потребителей в любой стране мира;
- ускоренное развитие – поступательный рост национальных валовых внутренних продуктов (ВВП) за счет активизации производства путем применения новых технологий.

К недостаткам глобализации можно отнести фактически принудительную унификацию культуры. Экономически развитые страны навязывают малым народам свои понятия о культурных и нравственных ценностях, вследствие чего постепенно исчезает культура и самобытность малых народов. Все это обедняет мировую культуру, что стало главной претензией антиглобалистов. Кроме того, не глобализация создала неравенство, нищету, проблемы безопасности, однако она не смогла не только решить, но даже существенно уменьшить эти отрицательные явления.

Литература

1. Психолого-педагогический словарь / Сост. Рапацевич Е.С. – Минск: Современное слово, 2006. – 928 с.
2. Анисимов, О.С. Новое управленческое мышление: сущность и пути формирования / О.С. Анисимов. – М.: Экономика, 2003. – 196 с.
3. Володько, О.М. Новое управленческое мышление как фактор инновационного развития / О.М. Володько // Проблемы управления. – 2022. – № 3 (85). – С. 17-24.
4. Психология менеджмента / Под ред. Г.С. Никифорова; 5-е изд. – Харьков: Гуманитарный центр, 2009. – 512 с.
5. Володько, В.Ф. Международный менеджмент / В.Ф. Володько; 2-е изд. – Минск: Амалфея, 2009. – 448 с.

УДК 537.6

СРОК СЛУЖБЫ СТОЯНОЧНОГО МАГНИТОЖИДКОСНОГО УПЛОТНЕНИЯ

¹Шарина С.Г., ²Краков М.С. д.ф.-м.н., профессор

¹Белорусский государственный университет

²Белорусский национальный технический университет

Магнитожидкостное уплотнение (МЖУ) представляет собой устройство, предназначенное для герметизации зазоров между движущимися частями механизмов. Магнитная жидкость, используемая для разделения двух сред, удерживается в нужном положении высокоградиентным магнитным полем.

Конструкция МЖУ представлена на рис. 1. Геометрия полюсного наконечника МЖУ имеет треугольную форму и представлена на рис. 2. Расчетная область выделена цветом.

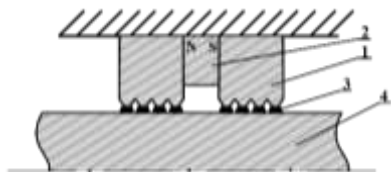


Рис. 1 – Схема МЖУ: 1 – полюсный наконечник; 2 – постоянный магнит; 3 – магнитная жидкость, 4 – вал.

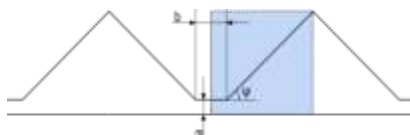


Рис. 2 – Геометрия расчетной области: зазор между полюсным наконечником и уплотняемым валом – a , ширина поверхности полюсного наконечника – b , угол наклона поверхности полюсного наконечника – φ .

Основным рабочим веществом в МЖУ является магнитная жидкость. Главными составляющими компонентами которой являются: жидкость-носитель, магнитные наночастицы из магнетита (Fe_3O_4) или феррита (Fe_2O_3), и стабилизатор (полимеры или ПАВ). Слой ПАВ создает защитное покрытие, которое необходимо для того, чтобы частицы не слипались из-за магнитного взаимодействия. Магнитные частицы могут иметь различный размер, изменение которого влечет за собой изменение свойств магнитной жидкости. Классификация магнитных жидкостей по размерам частиц приведена в [1].

В работе рассматривается МЖУ в стояночном режиме [2], то есть вал уплотнения неподвижен. Основной проблемой уплотнений такого типа является то, что магнитная жидкость долгое время находится в неподвижном состоянии в неоднородном магнитном поле. С течением времени магнитные наночастицы концентрируются в области максимального магнитного поля, и в зазоре МЖУ может образоваться плотная упаковка частиц. Так же в сильных полях возможно вытекание жидкости-основы, так как концентрация частиц на краю капли магнитной жидкости может приближаться к нулю. Эти явления могут привести к проблемам в работе уплотнения.

Основной задачей данной работы является определение времени, за которое магнитная жидкость образует плотную упаковку в зазоре МЖУ с треугольной формой полюсного наконечника для параметров, соответствующих реальному уплотнению. Для решения задачи проведено численное моделирование методом контрольных объемов. Использован авторский код на языке C++.

Уравнение диффузии, с видом коэффициента диффузии (в приближении твердых сфер) для идеальной магнитной жидкости, в которой можно пренебречь диполь-дипольным взаимодействием и силой тяжести [3] имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_0 \nabla \cdot \left[K(c) \left(G(c) \nabla c - c \frac{\mu_0 m_p}{k_B T} \nabla H \right) \right], \quad (1)$$

где c – концентрация частиц, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹ – постоянная Больцмана, T – температура, $D_0 = \frac{k_B T}{6\pi\eta_0 R}$ – эйнштейновский коэффициент

диффузии малых сфер для разбавленных растворов, η_0 – динамическая вязкость жидкости при отсутствии частиц, R – радиус частицы, концентрационные функции $K(c) = \frac{1-1.88c}{1+5c}$, $G(c) = 1 + \frac{2c(4-c)}{(1-c)^4}$,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума, m_p – магнитный момент частицы, H – напряженность магнитного поля.

Граничным условием для данного уравнения на всех границах является равенство нулю потока массы

$$\mathbf{j} = K(c) \left(G(c) \nabla c - c \frac{\mu_0 m_p}{k_B T} \nabla H \right) = 0.$$

Напряженность магнитного поля \mathbf{H} в расчетной области определяется уравнениями магнитостатики (полагаем, что влиянием магнитной жидкости на распределение магнитного поля можно пренебречь):

$$\mathbf{H} = \nabla \varphi, \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Граничные условия для потенциала φ : на правой и левой границах $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$, на поверхности полюса $\varphi = 0$, на поверхности вала $\varphi = H_0 a$, где H_0 – напряженность магнитного поля под полюсным наконечником, a – зазор.

Безразмерные уравнения. Приведем уравнения (1) – (2) к безразмерному виду. Связь размерных величин с соответствующими безразмерными (отмечены знаком “^”) выбрана в виде:

$$x = a\hat{x}, \quad y = a\hat{y}, \quad t = \frac{a^2}{D_0} \hat{t}, \quad H = H_0 \hat{H}, \quad \varphi = H_0 a \hat{\varphi}, \quad \nabla = \frac{1}{a} \hat{\nabla}.$$

Уравнение (2) в безразмерном виде не изменяется. Уравнение диффузии (1) преобразуется к следующему виду (знак “^” над безразмерными величинами для краткости опускаем):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot (K(c)(G(c)\nabla c - cU\nabla H)), \quad U = \frac{\mu_0 m_p H_0}{k_B T}. \quad (3)$$

Дифференциальные уравнения (2) - (3) дискретизировались в выбранной области методом контрольных объемов на треугольной сетке [4]. Выбор треугольной сетки обусловлен сложной геометрией задачи. Расчетная область разбивается на непересекающиеся контрольные объемы с общими границами. Для потенциала ϕ используется линейная интерполяционная функция на треугольном элементе. Величина напряженности и градиента напряженности вычисляются с помощью метода обратных расстояний [5]. При дискретизации нестационарного уравнения диффузии также использовалась линейная интерполяционная функция на треугольном элементе для концентрации, а для вычисления интегралов по контуру контрольного объема использовался метод Симпсона. Нестационарное уравнение диффузии решалось в рамках явной схемы.

Проведено моделирование диффузии магнитных наночастиц в неподвижном МЖУ. Для определения времени достижения плотной упаковки проведены расчеты магнитного поля под четырьмя треугольными полюсными наконечниками методом МКО, реализованном в коммерческом пакете ELCUT, предоставленном в эксплуатацию компанией «Стратнанотек». Пример распределения напряженности магнитного поля вдоль вала для зазора $a = 0,1$ мм показан на рис. 3. Напряженность под полюсным наконечником с увеличением размера зазора уменьшается, как показано на рис. 4.

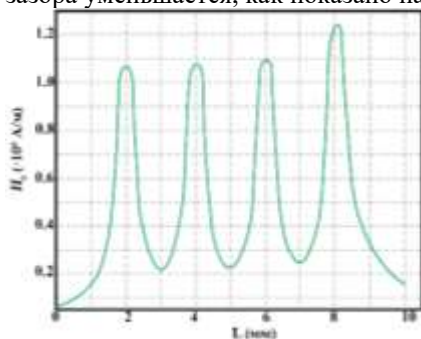


Рис. 3 – Распределение поля вдоль вала для зазора $a = 0,1$ мм.

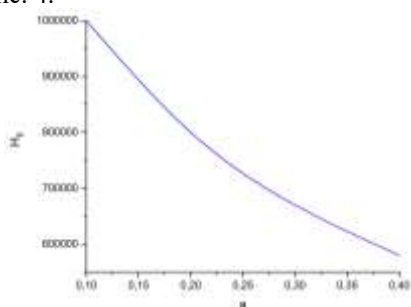


Рис. 4 – Зависимость напряженности магнитного поля под полюсным наконечником от размера зазора при $c_0 = 0,3$.

На рис. 5 представлено распределение установившейся концентрации для напряженности, соответствующей зазору 0,1 мм в реальном МЖУ. В процессе перераспределения частиц с течением времени в области максимального значения градиента напряженности магнитного поля возникает область повышенной концентрации. Область с течением времени расширяется, значение концентрации растет. При этом под полюсным наконечником в больших полях достигается плотная упаковка частиц.

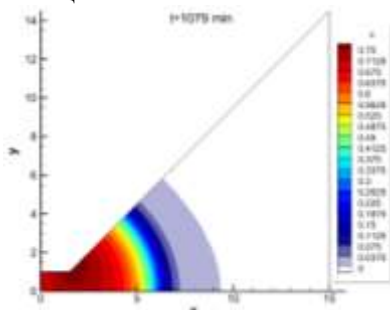


Рис. 5 – Распределение концентрации частиц под полюсом МЖУ. $c_0=0,3$, $a=0,1$ мм, $b = 0,3$ мм, $H_0=10^6$ А/м.

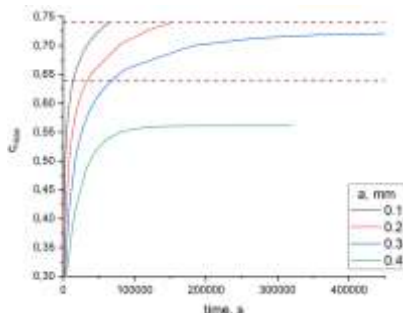


Рис. 6 – Зависимость максимальной концентрации от времени для разных зазоров.

В таблице 1 представлено время установления при коэффициенте диффузии $D_0 = 10^{-11}$ м²/с и разных зазорах. В зазорах 0,1 мм и 0,2 мм достигается плотная упаковка с концентрацией 0,74, в 0,3 мм – только концентрация 0,64, в 0,4 мм плотная упаковка не достигается вообще, что видно из рис.6. Концентрация 0,64 с увеличением зазора достигается медленнее.

Таблица 1. – Результаты численных расчетов для разных зазоров

Зазор, мм	0,1	0,2	0,3	0,4
Напряженность, А/м	10^6	$8 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$
\hat{t} ($c = 0,64$)	14	9	8	-
t ($c = 0,64$), часов	4	5	7	-
\hat{t} ($c = 0,74$)	65	38	-	-
t ($c = 0,74$), часов	18	21	-	-
Максимальная концентрация	0,74	0,74	0,72	0,56

Проведены расчеты диффузии магнитных наночастиц в МЖУ с параметрами, соответствующими реальным, в стояночном режиме работы. Определено распределение поля под треугольными полюсными наконечниками, и для полученных данных рассчитано время достижения установившейся концентрации. В МЖУ с зазорами 0,1 мм и 0,2 мм достигается плотная упаковка с концентрацией 0,74 (гексагональная упаковка). В зазоре 0,3 мм – возможно достижение концентрации 0,64 (случайная плотная упаковка). В зазоре 0,4 мм достигается значение концентрации 0,56, что близко к кубической упаковке. Из этого следует, что реальные МЖУ с небольшим размером зазора требуют периодического вращения вала с целью выравнивания концентрации по объему для предотвращения выхода его из строя. Время, через которое необходимо вращать вал не должно превышать рассчитанные значения времени достижения плотной упаковки.

Литература

1. Aswathy, J. Ferrofluids: Synthetic Strategies, Stabilization, Physicochemical Features, Characterization, and Applications / J. Aswathy, M. Suresh // *ChemPlusChem*. — 2014. — Vol. 79, no. 10. — Pp. 1382–1420.
2. Берковский, Б.М. Магнитные жидкости/ Б.М. Берковский, В.Ф. Медведев, М.С. Краков // *Химия*. — 1989. — С. 240.
3. Pshenichnikov, A. F. Magnetophoresis, sedimentation, and diffusion of particles in concentrated magnetic fluids / A. F. Pshenichnikov, E. A. Elfimova, A. O. Ivanov // *J. Chem. Phys.* — 2011. — Vol. 134(18), [184508].
4. Krakov, M. S. Control volume finite-element method for Navier-Stokes equations in vortex-streamfunction formulation / M. S. Krakov // *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*. — 1992. — Vol. 21, no. 2. — Pp. 125–145.
5. Shepard, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. / D. Shepard // *ACM '68: Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference* — January 1968. — Pp. 517–524