

В перспективе возможно применение разработанной пеленгационной системы для обработки статистической информации и оптимизации всех городских коммунальных служб для предотвращения образования «пробок» на дорогах, выбора скоростных режимов, маршрута движения и других мероприятий, повышающих качество жизни в городских условиях. Кроме того, будет снижен уровень преступности.

Как дополнительную услугу можно вести мониторинг состояния здоровья пациента с целью раннего выявления опасных симптомов.

Библиографический список:

1. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Шкурко А.С., Магомедова П.А. / Энергоэффективная пассивная антенна для кодовоимпульсной модуляции за счет отражения сверхвысококачастотного сигнала. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. №37. С. 44-49.

References:

1. T.A. Ismailov, H.M. Hajiyev, T.A. Chelushkin, A.S. Skinless, P.A. Magomedov / Energy efficient passive antenna kodovoimpulsnoy modulation due to the reflection of a microwave signal. Herald of the Dagestan State Technical University. Technical science. 2015. №37. pp. 44-49.

УДК 681.2.083

Демин Е.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УРОВНЯ И ПЛОТНОСТИ В СРЕДЕ ELCUT

Demin E.S.

MAGNETIC SYSTEMS SIMULATION OF MAGNETOSTRICTIVE CONVERTERS OF LEVEL AND DENSITY IN ELCUT

Аннотация. Аналитически обобщены преимущества универсальных пакетов программ, позволяющих решать разные типы полевых задач. Обосновано, что моделирование магнитных систем магнитострикционных преобразователей уровня и плотности в среде программы ELCUT сводится к решению двумерных задач – плоскопараллельных и осесимметричных. Раскрыты вопросы моделирования магнитных систем магнитострикционных преобразователей уровня и плотности жидких сред, использующие постоянные магниты, в среде программы ELCUT. Выявлены и систематизированы ограничения моделирования магнитных систем магнитострикционных преобразователей уровня и

плотности в среде программы ELCUT. Составлены карты измерений аксиального взаимодействия магнитов поплавков уровня и плотности марки ЮНДК40Т8АА. Сгруппированы и наглядно представлены результаты измерений магнитных сил. Фрагментарно приведены результаты исследования основных магнитных характеристик одиночного кольцевого магнита. Уточнена математическая модель пондеромоторных сил F_M смежных магнитов магнитных систем МПУиП в среде программы ELCUT.

Ключевые слова: моделирование, магнитострикционные преобразователи уровня и плотности, магнитные системы, постоянные магниты.

Abstract. The advantages of universal program packages, allowing to solve different types of field tasks are analyzed. It is proved that the simulation of the magnetic system of the magnetostrictive transducers of level and density in the ELCUT environment is reduced to the two-dimensional tasks solution – plane-parallel and axisymmetric. Issues of the magnetic system modeling of the magnetostrictive transducers of level and density of liquid environments using permanent magnets, in the program ELCUT are developed. Systematic constraints modeling the magnetic system of the magnetostrictive transducers of level and density in the ELCUT environment are revealed. The maps of the axial measurements of the interaction of magnets floats level and density of the brand UHDK40T8AA. The measurements results of magnetic forces are grouped and graphically presented. The basic magnetic characteristics study results of a single annular magnet are partly given. A mathematical model of the ponderomotive forces of adjacent magnets of the magnetic systems MPUP the ELCUT environment is defined.

Key words: modeling, level and density magnetostrictive transducers, magnetic systems, permanent magnets.

Введение. Среди существующих прикладных пакетов программ, предназначенных для решения задач магнитостатики можно выделить несколько известных программ: Femm, Maxwell, ANSYS, MagNet, Jmag Designe, ELCUT, Comsol multiphysics, Littlemag и др. Многие из перечисленных пакетов программ являются универсальными и позволяют решать разные типы полевых задач, например, электромагнитные, тепловые, механические, гидравлические и пр. При исследованиях магнитных полей (задач магнитостатики), где проводится анализ таких магнитных величин поля, как индукция, напряженность, магнитный потенциал, плотность магнитной энергии, пондеромоторная сила и МДС, особый интерес представляют универсальные пакеты программ, получившие достаточно широкое распространение в России – ANSYS (www.ansys.com), ELCUT. Оба пакета предназначены для решения полевых задач, и в частности, задач магнитостатики, используют численные методы решения. Основным методом вычислений здесь является метод конечных элементов, который, несомненно, повышает точность расчетов.

3. Магнитная проницаемость среды в расчетной области равна $\mu=1$.

4. Магнитный потенциал на границах расчетной области равен нулю.

В качестве материалов для постоянных магнитов поплавков уровня и плотности, опорных магнитов при проведении исследований, выберем кольцевые магниты марок *N42H*, *30EH*, ЮНДК24, ЮНДК40Т8АА [4, 5] типоразмеров $50 \times 25 \times (3,5,10)$ мм. Выбор этих магнитных материалов (магнитов) основан на их высоких магнитных и механических характеристиках, что отражается на метрологических, эксплуатационных и экономических показателях МПУиП.

При выборе геометрических размеров кольцевых магнитов поплавков уровня и плотности МПУиП следует исходить соображений, что они имеют относительно большой внутренний радиус r_M , позволяющий им свободно перемещаться вдоль направляющего элемента акустического тракта. Внешний же радиус R_M выбирается типовым по номенклатуре магнитных изделий, и определяет межосевые расстояния A , B в одно- и двухкоординатных МПУиП с Π -образными звукопроводами [1]. Толщина h_M кольцевого магнита также выбирается типовой, способной обеспечить возбуждение УЗВ кручения в среде магнитоэластичного звукопровода.

На рисунке 2 приведены несколько фрагментов результатов исследований основных магнитных характеристик одиночного кольцевого магнита.

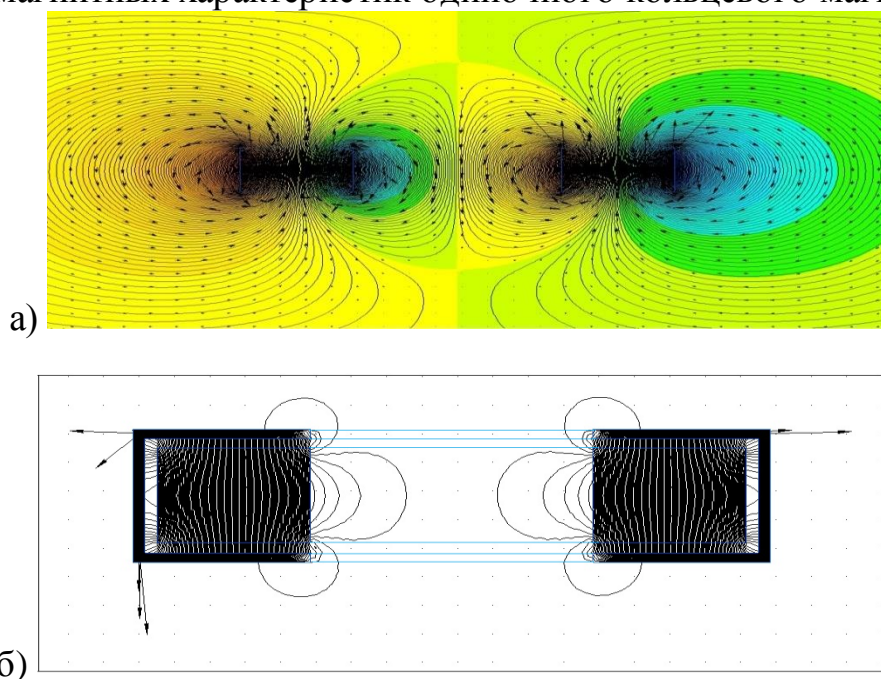


Рисунок 2 – Карты картины магнитного поля одиночного магнита марки 30EH с типоразмерами $50 \times 25 \times 10$ мм и $50 \times 25 \times 5$ мм:

а) векторный потенциал, б) полное экранирование кольцевого магнита

Здесь видно, что с изменением толщины h_M сужается область в рабочем пространстве магнита, где плотность магнитной энергии W_z или напряженность поля H_0 остается однородной. Это обстоятельство позволяет говорить о

наличии краевого эффекта кольцевого магнита $K_{кэ.м}$, который приводит к уменьшению эффективной зоны преобразования $h_{м.эф}$: $K_{кэ.м} = h_{м.эф} / h_{м}$, определяемой толщиной $h_{м}$ выбранного магнита. Численное значение $K_{кэ.м}$ радиального (кольцевого) магнита может быть получено из следующего выражения:

$$K_{кэ.м} = \exp \left[-\pi \left(\frac{x}{h_{м}} \right)^2 \cdot \left(\frac{r_{м}}{r_{м} + h_{м}} \right)^{-2} \right],$$

где x – продольная координата.

Сфокусировать магнитную энергию W_3 постоянных магнитов в рабочем пространстве и одновременно уменьшить влияние на другие магнитные элементы МПУиП, а также исключить влияние внешних полей, позволяет его экранирование.

Это хорошо видно из экспериментов, выполненные с использованием программы ELCUT, и приведенные на рис. 2. а, б.

В тоже время, использование магнитных экранов в системе поплавков МПУиП отрицательно сказывается на их массогабаритных показателях, и в целом, на рабочих размерах межосевых расстояниях A, B МПУиП [1].

Из всего сказанного следует, что для обеспечения наиболее широкого диапазона измерения, в данном случае, уровня h_y жидкой среды объекта, и заданных значениях $H_0, W_3, r_{м}$, толщина $h_{м}$ магнита выбирается минимальной по номенклатуре магнитных изделий производителя (при оптимизации себестоимости изготовления МПУиП).

Обсуждение результатов. Исследуем следующие процессы взаимовлияния элементов магнитных систем МПУиП посредством программы ELCUT, когда возможны аксиальные и радиальные взаимодействия магнитов поплавков уровня и плотности, опорных магнитов из-за наличия пондеромоторных сил или сил $F_{м}$ сцепления магнитов.

Существенное влияние силы $F_{м}$ вызывает загроубление чувствительности МПУиП в крайних точках диапазона измерения (преобразования) уровня и плотности жидкой среды объекта.

Нарушается картина векторов напряженности H_0 и индукции B_0 магнитного поля сопрягаемых магнитов, и как следствие – нарушения в процессе формирования УЗВ кручения в средах магнитострикционных звукопроводов МПУиП.

На рисунке 3 приведены два фрагмента результатов этих исследований, где показаны карты измерений магнитных параметров кольцевых магнитов поплавков уровня и плотности выбранных типоразмеров исследуемых магнитных материалов.

Здесь видно, что при малых значениях $L_{y,п} = 10 \text{ мм}$ между магнитами они выполняют функцию катушки Гельмгольца, формируя между магнитами аксиальное однородное магнитное поле. Это может привести к потере «автономности» магнитов и формированию одной УЗВ вместо двух, что недопустимо для МПУиП. Пондеромоторные силы F_M здесь тоже максимальны, но для каждого из магнитных материалов различны. Поэтому это расстояние $L_{y,п} = 10 \text{ мм}$ между соосными кольцевыми магнитами поплавков уровня и плотности можно считать критичным.

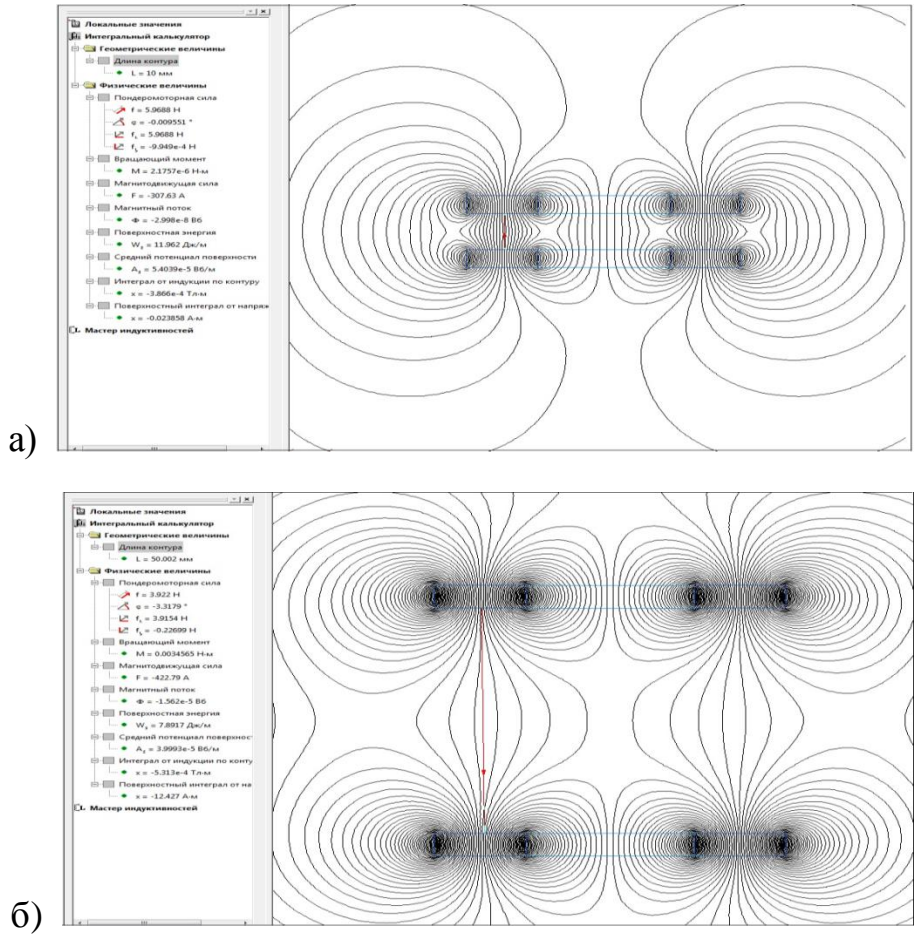


Рисунок 3 – Карты измерений аксиального взаимодействия магнитов поплавков уровня и плотности марки ЮНДК40Т8АА типоразмера $50 \times 25 \times 5 \text{ мм}$ на расстояниях:

а) $L_{y,п} = 10 \text{ мм}$, б) $L_{y,п} = 50 \text{ мм}$

По мере увеличения расстояния $L_{y,п}$ картины магнитных полей магнитов «автономизируются», уменьшаются пондеромоторные силы (силы сцепления) F_M по нелинейной зависимости как это следует из таблицы 1.

Аналогичные процессы наблюдаются между магнитами поплавков уровня, плотности и опорными магнитами МПУиП.

На основании полученных результатов моделирования пондеромоторных сил F_M смежных магнитов магнитных систем МПУиП в среде программы ELCUT уточним их математическую модель, применив следующую известную методику.

Таблица 1 – Результаты измерений магнитных сил

№ п/п	$L_{y.п}, \text{мм}$	Марка магнита					
		30EH		ЮНДК24		ЮНДК40Е8АА	
		$F_M, \text{Н}$	М.Д.С., А	$F_M, \text{Н}$	М.Д.С., А	$F_M, \text{Н}$	М.Д.С., А
1	10	1619	5066	0,45	84,9	5,97	307,6
2	30	1160	6637	0,32	111,0	4,26	402,6
3	40	1097	6852	0,31	114,8	4,04	416,1
4	50	1060	6959	0,29	116,0	3,92	422,8

Так для кольцевого магнита с остаточной намагниченностью B_r изменение индукции $B_{o.x}, B_{o.y}$ в направлении осей x и y можно описать выражениями:

а) индукция аксиальная (по оси x):

$$B_{o.x} = k_1 \frac{B_r}{4\pi} (R_M - r_M) \int_0^{2\pi} \left(\frac{h_M / 2 - x}{A1} + \frac{h_M / 2 + x}{A2} \right) \frac{R_M - r_M}{\sqrt{(R_M - r_M)^2}} dx, \quad (1)$$

б) индукция радиальная (по оси y):

$$B_{o.y} = k_2 \frac{B_r}{4\pi} (R_M - r_M) \int_0^{2\pi} \left(\frac{1}{A3} - \frac{1}{A4} \right) dy, \quad (2)$$

здесь

$$A1 = \sqrt{(R_M - r_M)^2 + (h_M / 2 - x)^2}, \quad A2 = \sqrt{(R_M - r_M)^2 + (h_M / 2 + x)^2},$$

$$A3 = \sqrt{(R_M - r_M)^2 + (h_M / 2 - y)^2}, \quad A4 = \sqrt{(R_M - r_M)^2 + (h_M / 2 + y)^2},$$

$k_1, k_2, [M^{-1}]$ – нормирующие коэффициенты.

На основании выражений (1), (2) аксиальная и радиальная напряженности $H_{o,x}$, $H_{o,y}$ магнитного поля магнитов составят:

$$H_{o,x} = B_{o,x} / (\mu_0 \mu) \quad (3)$$

$$H_{o,y} = B_{o,y} / (\mu_0 \mu). \quad (4)$$

Рассматривая полюс кольцевого магнита как источник магнитных зарядов – $G_{m,x} = B_{o,x}$ и $G_{m,y} = B_{o,y}$, с учетом (1)-(4), силу сцепления F_M магнита в аксиальном и радиальном направлениях, можно вычислить в соответствии с выражениями: $F_{m,x} = H_{o,x} \cdot G_{m,x}$ и $F_{m,y} = H_{o,y} \cdot G_{m,y}$.

Результаты вычислений этих параметров приведены на рисунке 4.

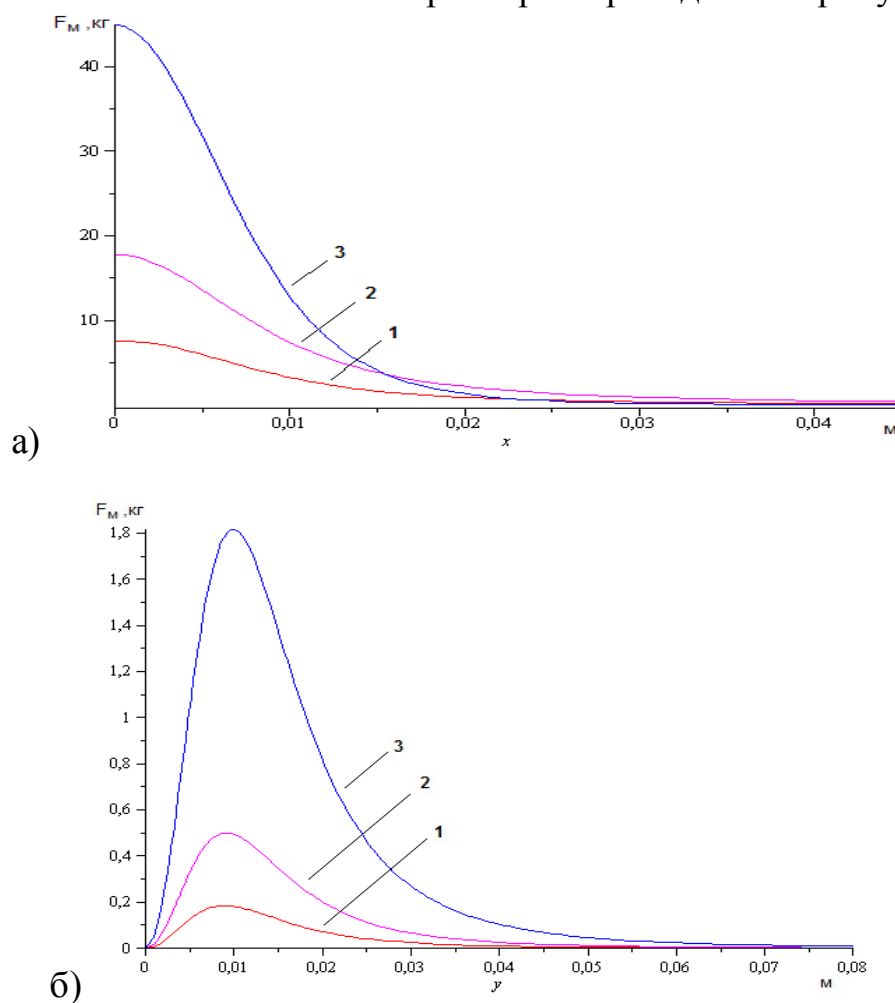


Рисунок 4. – Изменение аксиальной (а) и радиальной (б) силы F_M сцепления кольцевых магнитов марки N42H типоразмера 50×25 мм,

$B_r = 1,3 \text{ Тл}$, $H_c = 1353 \text{ кА/м}$ при разной их толщине (или объеме):

1 – $h_M = 3 \text{ мм}$, 2 – $h_M = 5 \text{ мм}$, 3 – $h_M = 10 \text{ мм}$

Вывод. В радиальном направлении силы F_M сцепления (пондеромоторные силы) кольцевых магнитов поплавков уровня МПУиП значительно слабее, чем по аксиальному направлению.

Это подтверждают исследования, выполненные в программе ELCUT.

Влияние пондеромоторных сил F_M в аксиальном и радиальном направлениях изменяют плавучесть поплавков уровня и плотности в критических точках диапазона измерений и должны быть учтены. Для их уменьшения выбирают «закритичные» расстояния $L_{y.п}$, A , B и др. МПУиП.

Библиографический список:

1. Патент RU №155410, МПК: G01F23/28, G01F23/30. Адаптивный магнитострикционный преобразователь уровня и плотности топлива транспортного средства (его варианты)/ Е.С. Демин// Оpubл. 10.10.2015. Бюл. №28.

2. Патент RU №2319935, МПК: G01F23/28, G01K23/30. Магнитострикционный уровнемер/ О.Н. Пчелинцева, С.Б. Демин, И.А. Дёмина// Оpubл. 20.03.2008. Бюл. №8.

3. Демин, С.Б. Магнитострикционные системы для автоматизации технологического оборудования: Монография. – Пенза, Изд-во ПГУ, 2002. – 182 с.

4. Постоянные магниты: Справочник/ А.Б. Альтман, А.Н. Герберг, П.А. Гладышев и др.: под ред. Ю.М. Пятина. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.

5. Коленко, Е.А. Технология лабораторного эксперимента: Спр-к. – СПб.: Политехника, 1994. – 751 с.

References:

1. Patent RU №155410, IPC: G01F23 / 28, G01F23 / 30. Adaptive tostriksionny magnesium-level converter and the density of the vehicle fuel (variants) / ES Demin // Publ. 10/10/2015. Bull. №28.

2. Patent RU №2319935, IPC: G01F23 / 28, G01K23 / 30. Magnetostrictive transmitter / ON Pchelintseva, SB Demin, IA Demin // Publ. 20.03.2008. Bull. №8.

3. S.B.Demin, Magnetostrictive system for automation of the technological equipment: Monograph. - Penza, Publishing House of the PSU, 2002. - 182 p.

4. Permanent magnets: Directory / AB Altman, AN Gerberg, PA Gladyshev et al .: ed. YM Pyatina. - M .: Energia, 1980. - 488 p.

5. E.A. Knees, Technology laboratory experiment: Ref-to. - SPb .: University of Technology, 1994. - 751 p.

УДК 519.6

Кадиев И.П., Кадиев П.А.

**КЛАССЫ МАССИВОВ С ИНДЕКСНО НЕПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ
КОМПОНЕНТАМИ И СПОСОБЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ**