

3. Купалян С.Д. Теоретические основы электротехники. Ч.3. Электромагнитное поле. Издание 3-е, исправленное и дополненное. – М.: Энергия, 1970. – 248 с.
4. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнестрикционных наклонеров, содержащих постоянный магнит в форме прямоугольного параллелепипеда/ Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпунин// Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – т.19. – №1. – С.25-29.
5. Mathematical Modeling of Magnetic Fields of the Permanent Magnets and Solenoids, and Comparing the Results Obtained. Slesarev U.N., Mikhajlov P.G. and Vorontsov A.A. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER) Volume 11, Number 20 (2016) pp. 10338–10342
6. Повышение эффективности расчета параметров акустических трактов магнестрикционных преобразователей перемещения. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.В., Родионов С.В Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016.№2 (Выпуск 56). С. 169–175.

УДК 519.711.3

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНОГО РАССТОЯНИЯ ОТ ВОЛНОВОДА ДО СПЛОШНОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТА

Ю.Н. Слесарев¹

¹доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: slesarevun@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрено моделирование в магнестрикционных углах возможных расстояний от сплошного постоянного магнита до волновода, необходимого для уверенного формирования ультразвуковой волны кручения. Моделирование осуществляется с помощью разработанного программного комплекса «Двухкоординатный МН», ориентированного на анализ магнитных полей двухкоординатных магнестрикционных угломеров. Расчет оптимальных расстояний осуществляется по предложенной методике определения допустимых значений результирующей напряженности магнитного поля.

Ключевые слова: сплошной магнит, расстояние от постоянного магнита до волновода, моделирование магнитных полей, расчет напряженности, оптимальное расстояние.

TO THE QUESTION OF THE RESEARCH AND MATHEMATICAL MODELLING OF POSSIBLE DISTANCE FROM THE WAVE GUIDE TO THE CONTINUOUS PERMANENT MAGNET

Yuri Slesarev¹

¹Dr., Ph.D., professor of Automation and Management department, federal state-funded educational institution of the higher education 'Penza state technological university', Penza, Russia, e-mail: slesarevun@gmail.com

Abstract. In work modeling in magnetostrictive goniometers of possible distances from a continuous permanent magnet to the wave guide necessary for sure formation of an ultrasonic wave of torsion is considered. Modeling is carried out by means of the developed program complex "Two-coordinate MN" focused on the analysis of magnetic fields of two-coordinate magnetostrictive goniometers. Calculation of optimum distances is performed by the offered technique of determination of permissible values of resultant tension of magnetic field.

Keywords: continuous magnet, distance from a permanent magnet to a wave guide, modeling of magnetic fields, tension calculation, optimum distance.

Введение. В настоящее время известны различные системы математического обеспечения (МО) отечественных и зарубежных фирм, позволяющие решать многие задачи математического моделирования. Обычно такое МО ориентировано на решение задач из конкретной предметной области (ELCUT, Littlemag и др.), но существуют и универсальные средства, которые предоставляют широкие возможности для математического моделирования различных процессов и имеют в своем составе большое количество встроенных функций (ANSYS, MATLAB и др.).

Однако, существующие системы обладают рядом недостатков, которые затрудняют их применение для моделирования магнитных полей магнитострикционных преобразователей перемещения, в частности магнитострикционных угломеров (МУ). В связи с этим для анализа магнитных полей ДМН авторами был разработан программный комплекс (ПК) в среде Borland Delphi, ориентированный на интеграцию с MATHCAD v.14.0, позволяющий существенно облегчить исследование магнитных полей МУ.

Целью работы является исследование и математическое моделирование возможного расстояния от волновода до сплошного постоянного магнита.

Материал и результаты исследований.

Анализ магнитных полей МУ позволяет произвести расчет параметров и размеров элементов конструкции, а также их возможную удаленность. Одной из важных задач, решаемых с помощью разработанного ПК является

расчет возможного минимального r_{MIN} , максимального r_{MAX} , а также оптимального $r_{ОПТ}$ расстояний от боковой поверхности постоянного магнита (ПМ) до точек волновода (ВЛ) с значением напряженностей, необходимых для уверенного возбуждения в среде ВЛ УЗВ кручения.

Согласно известным математическим моделям работы магнитоотрицательных приборов [1-6], для задания максимального и минимального значений напряженности магнитного поля, обеспечивающего уверенное возбуждение УЗВ кручения, возможно использование значений результирующего магнитного поля $H_1 \leq H_r \leq H_S$, где H_1 и H_S - значения напряженности магнитного поля, лежащие на линейном участке начальной петли гистерезиса. Отсутствие справочных данных об указанных значениях H_1 и H_S ограничивают использование данной математической модели.

В математической модели разработанного МО в качестве минимального и максимального значений результирующей напряженности H_r магнитного поля предлагается использование значений $H_r = H_s = H_{MAX}$, и $H_r = H_C = H_{MIN}$, где H_C и H_s - коэрцитивная сила и напряженность насыщения ПМ. Отличием предложенной математической модели от известных [1] является возможность определения возможных значений результирующей напряженности магнитного поля используя справочные данные. Так, значение коэрцитивной силы ПМ H_C в разработанной МО определяется справочно из [1]. Значение напряженности насыщения H_s рассчитывается по формуле $H_s = B_s / \mu \mu_0$, где B_s , μ и μ_0 - индукция насыщения, магнитная проницаемость вещества и магнитная постоянная соответственно, определяемые из справочных данных, например из [3].

В разработанной математической модели МО вводится понятие оптимального значения результирующей напряженности $H_{ОПТ}$, определяемой как среднее арифметическое между значениями H_C и H_s .

Таким образом, указанные расстояния r_{MIN} , $r_{ОПТ}$ и r_{MAX} будут измеряться вдоль горизонтальной прямой проходящей через центр ПМ от его боковой поверхности, до точек на поверхности ВЛ со значениями напряженностей результирующего магнитного поля H_r равными

$H_r = H_s = H_{MAX}$, $H_r = \frac{H_C + H_s}{2} = H_{ОПТ}$ и $H_r = H_C = H_{MIN}$ соответственно.

Проведем эксперимент по определению расстояний r_{MIN} , $r_{ОПТ}$ и r_{MAX} с использованием разработанного МО для сплошных постоянных магнитов (СПМ) различных размеров и марок.

В качестве базового выбираем магнит марки 8БИ230 со значением остаточной индукции $B_r=0,21$ Тл и коэрцитивной силы $H_C=220$ кА/м [6], внешним диаметром $D_M=110$ мм, высотой $h_M=5$ мм. В качестве основного будем использовать ВЛ диаметром $d_{ВЛ}=1$ мм из сплава 42НХТЮ с $H_{МИН}=H_C=60$ А/м [3], $H_{МАХ}=H_s \approx 404$ А/м и $H_{ОПТ}=232$ А/м с протекающим по нему токовым импульсом прямоугольной формы амплитудой $I_m=50$ мА.

Результаты эксперимента, для данных, рассчитанных разработанным комплексом программ “Двухкоординатный МН” и интегрированных в систему MathCad по определению $r_{МИН}$, $r_{ОПТ}$ и $r_{МАХ}$ для СПМ с различным значением высоты h_M приведены на рисунке 1.

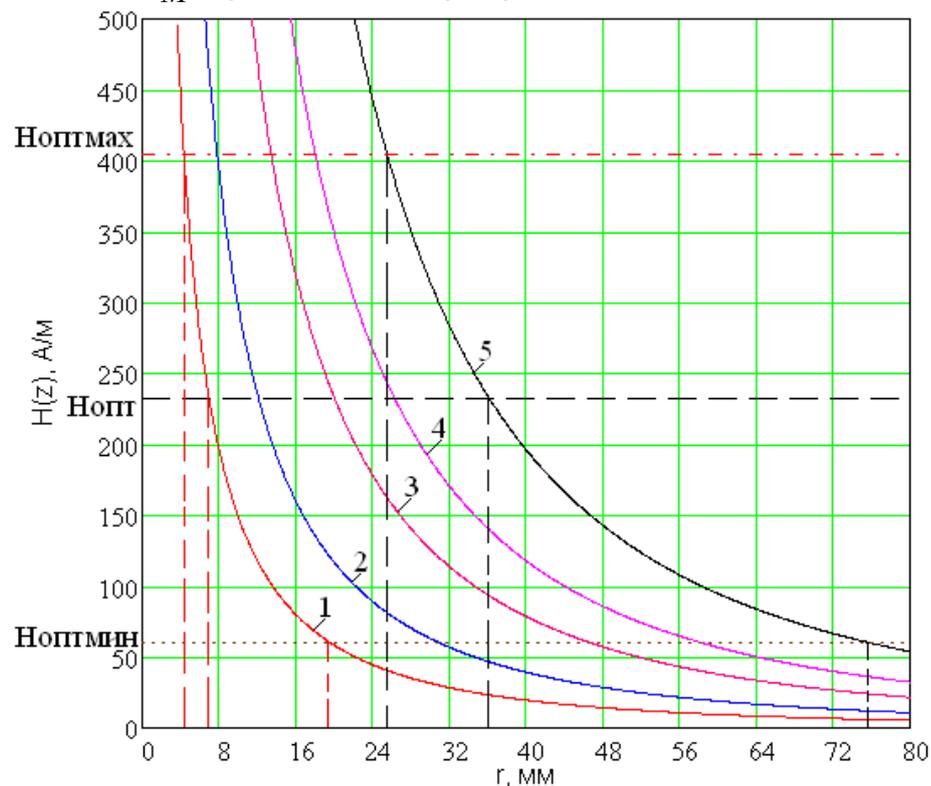


Рисунок 1 – Результаты исследования значений $r_{МИН}$, $r_{ОПТ}$ и $r_{МАХ}$ при изменении высоты h_M сплошного ПМ высотой h_M равной: 1 - $h_M=0,5$ мм, 2 - $h_M=1$ мм, 3 - $h_M=2$ мм, 4 - $h_M=3$ мм, 5 - $h_M=5$ мм

Анализ данных, полученных в результате эксперимента, позволяет сделать вывод, что изменение высоты ПМ позволяет в несколько раз изменить допустимое расстояние от боковой поверхности ПМ до ВЛ при условии уверенного формирования в среде ВЛ УЗВ кручения. Так, при изменении значения высоты ПМ с $h_M=0,5$ мм до $h_M=5$ мм, оптимальное значение расстояния $r_{ОПТ}$ увеличивается с $r_{ОПТ}=7$ мм до $r_{ОПТ}=35$ мм, что соответствует его увеличению в 5 раз.

Кроме изменения оптимального значения расстояния $r_{ОПТ}$ от боковой поверхности ПМ до центра ВЛ также с увеличением высоты ПМ h_M происходит увеличение расстояний $r_{МИН}$ и $r_{МАХ}$. Так, при увеличении высоты СПМ с $h_M=0,5$ мм до $h_M=5$ мм, расстояние $r_{МИН}$ изменилось с $r_{МИН}=5$ мм до $r_{МИН}=25$ мм, а расстояние $r_{МАХ}$ - с $r_{МАХ}=18$ мм до $r_{МАХ}=75$ мм.

Вывод. Необходимо отметить, что расчет с помощью разработанного программного комплекса “Двухкоординатный МН” расстояний $r_{МИН}$ и $r_{МАХ}$, позволяет определить возможную толщину стенки корпуса будущей конструкции МУ исходя из рассчитанных программным комплексом значений тепловых зазоров между внутренней стенкой корпуса и ПМ. Так, согласно результатам эксперимента, приведенным на рисунке 1, при выборе ПМ высотой $h_M=0,5$ мм толщина стенки СК u может быть выбрана в диапазоне $4\text{мм} \leq u \leq 12\text{мм}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник. – 9-е изд., перераб. и доп. – М: Гардарики, 2001. – 317 с.
2. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2/ К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
3. Купалян С.Д. Теоретические основы электротехники. Ч.3. Электромагнитное поле. Издание 3-е, исправленное и дополненное. – М.: Энергия, 1970. – 248 с.
4. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклонеров, содержащих постоянный магнит в форме прямоугольного параллелепипеда/ Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпунин// Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – т.19. – №1. – С.25-29.
5. Mathematical Modeling of Magnetic Fields of the Permanent Magnets and Solenoids, and Comparing the Results Obtained. Slesarev U.N., Mikhajlov P.G. and Vorontsov A.A. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER) Volume 11, Number 20 (2016) pp. 10338–10342
6. Повышение эффективности расчета параметров акустических трактов магнитострикционных преобразователей перемещения. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.В., Родионов С.В Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016.№2 (Выпуск 56). С. 169–175.