

УДК 519.711.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ВБЛИЗИ ИХ ОСНОВАНИЙ В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

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 подробно рассмотрено моделирование магнитных полей вблизи оснований постоянных магнитов цилиндрической формы. На основании результатов моделирования приведены рекомендации по предотвращению формирования ультразвуковых волн кручения в точках, не предусмотренных расчетами.

Ключевые слова: постоянный магнит, напряженность магнитного поля, магнитное поле постоянного магнита, напряженность вблизи основания постоянного магнита.

MATHEMATICAL MODELLING OF MAGNETIC FIELDS OF PERMANENT MAGNETS OF THE CYLINDRICAL FORM NEAR THEIR BASES IN MAGNETOSTRICTIVE CONVERTERS OF MOVEMENTS

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. permanent magnet, tension of magnetic field, magnetic field of a permanent magnet, tension near the basis of a permanent magnet.

Keywords: inductive element, tension of magnetic field, magnetic field, dependence of tension on Z coordinate.

Введение. Для определения положения различных высотных сооружений, плотин, определения величины прогибов и деформаций опор и балок, контроля углов наклона автомобильных и железных дорог при их строительстве, ремонте и эксплуатации, определения угла наклона дорожных грейдеров, асфальтоукладчиков, подъемников, кранов и экскаваторов применяются приборы, называемые угломерами. В последние годы для этих целей все чаще находят применение магнитострикционные угломеры (МУ).

На данный момент наиболее проработанными являются конструкции МУ на продольных и крутильных УЗВ. Это подтверждается опубликованными работами [1-2].

МУ на крутильных упругих УЗВ можно условно разделить на однокоординатные (ОМУ) и двухкоординатные (ДМУ), позволяющие измерение двух углов наклона во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Магнитные поля, формируемые ДМУ зависят от многих параметров конструкции ДМУ, основными из которых являются параметры постоянных магнитов (ПМ). Необходимо отметить, что напряженность магнитного поля, созданного вблизи оснований ПМ, будет отличным от нуля. При создании опытных образцов ДМУ необходимо учитывать численное значение напряженности магнитного поля вблизи оснований ПМ, так как это может привести к формированию ультразвуковых волн в точках волновода, не предусмотренных расчетами.

Целью работы является математическое моделирование напряженностей магнитного поля, созданных кольцевым (КПМ) и сплошным (СПМ) ПМ.

Материал и результаты исследований.

Одним из способов аналитического преобразования уравнений магнитного поля является их предварительное сведение к уравнению относительно скалярного магнитного потенциала. Данный метод расчета является наиболее эффективным, так как скалярными здесь являются не только рассчитываемая величина, но и решаемое уравнение в целом.

Для моделирования магнитных полей, созданных КПМ и СПМ, воспользуемся формулой проекции вектора напряженности магнитного поля на ось Z, созданного ПМ радиусом R_M и высотой h_M :

$$H_Z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2) \rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

где $E(k_2) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k_2^2 (\sin \varphi)^2} d\varphi$ - полный эллиптический интеграл второго

рода, $k_2^2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}}$.

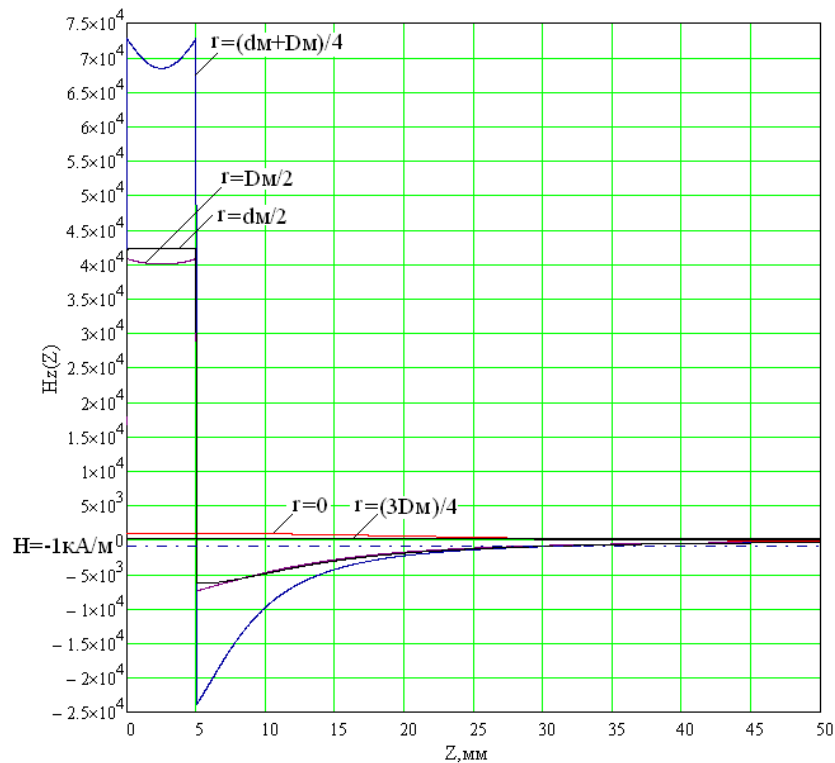


Рисунок 1 – Зависимость напряженностей магнитного поля СПМ от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ

Зависимости напряженностей магнитного поля ПМ указанных форм от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ, рассчитанные по формуле (1) приведены на рисунках 1 и 2.

Анализ результатов моделирования зависимости напряженностей магнитного поля СПМ и КПМ от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ (рисунки 1 и 2), рассчитанных по формуле (1), позволяет сделать вывод о необходимости предотвращения возможности формирования УЗВ кручения в точках, не предусмотренных расчетами углов наклона ДМН относительно горизонтали, расположенных вблизи его оснований, таких как А, В, С и D для КПМ и Е и F для СПМ (рисунок 3).

Этого можно добиться подбором соответствующих размеров и марки ПМ, либо экранированием ПМ, как это показано на рисунке 4.

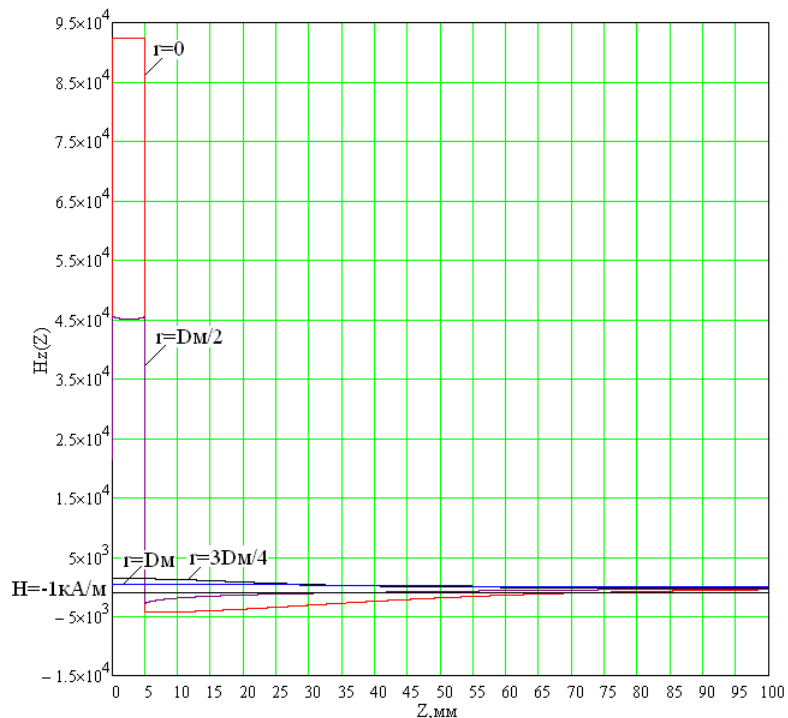


Рисунок 2 – Зависимость напряженностей магнитного поля КПМ от высоты на фиксированном расстоянии r от центра ПМ

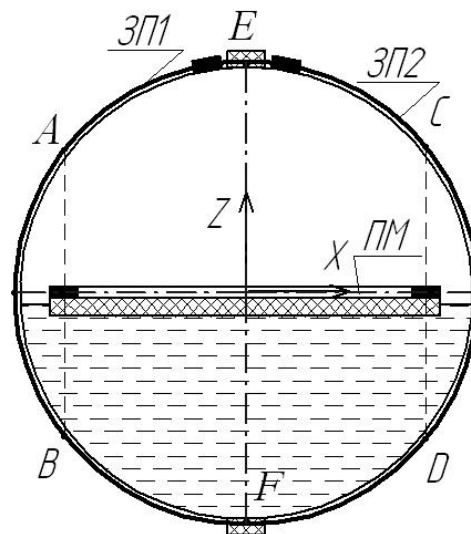


Рисунок 3 – Точки возможного формирования УЗВ СПМ и КПМ

Результирующее значение напряженности магнитного поля, согласно закону полного тока, определится по формуле[7]

$$H_{\Gamma}^2 = H_{O.П.}^2 + H_K^2 \tag{8}$$

, где H_{Γ} - напряженность результирующего поля, $H_{O.П.}$ - составляющая напряженности магнитного поля, созданная ПМ и рассчитываемая по

формуле (7), H_K - составляющая напряженности магнитного поля, созданная токовым импульсом i при протекании им в среде волновода;

$$H_K = \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot R}, \text{ где } R - \text{ радиус волновода.}$$

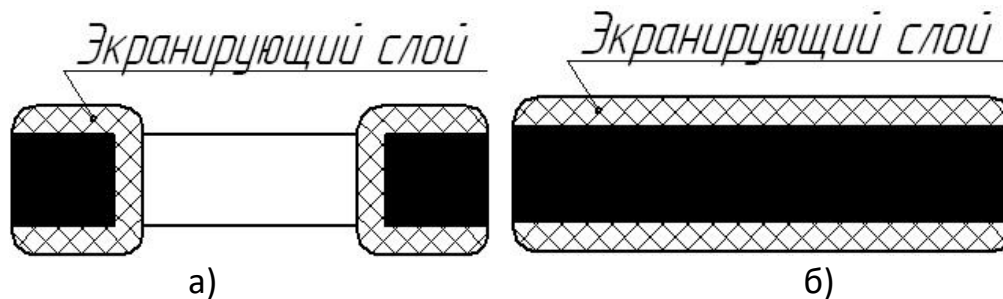


Рисунок 4 – Кольцевой(а) и сплошной(б) ПМ с экранирующим слоем

Следует отметить, что вследствие малости значений амплитуды токового импульса i составляющих несколько десятков миллиампер, значение напряженности магнитного поля H_K получается на несколько порядков меньше $H_{O.II}$. Исходя из этого, можно сделать вывод, что результирующее значение напряженности магнитного поля для рассматриваемых на рисунках 1-2 случаев моделирования будет незначительно отличаться от значения напряженности H_K .

Вывод. Таким образом, моделирование показало необходимость учета значения напряженностей магнитного поля вблизи оснований ПМ, например, их экранированием. Полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов ДМУ уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Карпухин// Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – т.19. – №1. – С.25-29.

Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклонеров, содержащих постоянный магнит в форме прямоугольного параллелепипеда Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Карпухин Э.В. Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19. – № 1. – С. 25–29.