

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Слесарев Юрий Николаевич

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры ИТС

Воронцов Александр Анатольевич

канд. техн. наук, доцент кафедры ВМиС

Родионов Сергей Владимирович

аспирант кафедры ИТС

Зелик Александр Максимович

студент гр. 14ИВ1ба

ФГБОУ ВПО Пензенский Государственный

Технологический Университет

г. Пенза, Пензенская область

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ КОНСТРУКЦИЙ ДВУХКООРДИНАТНЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ НАКЛОНОМЕРОВ С РАСПОЛОЖЕНИЕМ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОД УГЛОМ 90 ГРАДУСОВ

Аннотация: выполнено моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, рассмотрены основные формы и математические модели постоянных магнитов, используемых в новой конструкции наклономера.

Ключевые слова: магнитострикционный, двухкоординатный наклономер, угломер, магнитострикция, магнитное поле, моделирование магнитных полей.

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 наклономерами. В последние годы для этих целей все чаще находят применение

ние магнитострикционные наклонометры (МН).

На данный момент наиболее проработанными являются математические модели и конструкции МН на продольных и крутильных УЗВ. МН на крутильных упругих УЗВ можно условно разделить на однокоординатные и двухкоординатные (ДМН), позволяющие измерение двух углов наклона во взаимно перпендикулярных плоскостях. Наименее проработанными по усмотрению авторов считаются модели и конструкции ДМН.

Одной из важных задач при проектировании ДМН является моделирование магнитных полей, решение которой обеспечивает повышение точности описания процессов преобразования измеряемых величин и позволяет оптимизировать конструктивные параметры ДМН. Попытка разработать математические модели магнитных полей ДМН была предпринята в диссертации и работах авторов [1–4], однако в ней было затронуто несколько конструкций ДМН. Поэтому целью данной статьи является моделирование магнитной системы новой конструкции ДМН.

В качестве объекта исследования выберем один из вариантов ДМН на УЗВ кручения, основной вид и вид сверху которой приведены на рисунках 1а и 1б соответственно.

Она состоит из следующих блоков: УС – усилитель считывания; М – постоянный магнит; АД – акустический демпфер; БКВ – блок кодирования и вычислений; МЧЭ – магниточувствительный элемент (магнитострикционный звукопровод); УЗ – усилитель записи; ГО – генератор опроса.

Следует отметить, что результирующее магнитное поле, формируемое ДМН, состоит из двух составляющих – созданной токовым импульсом при протекании им в среде звукопровода (ЗП) и созданной постоянным магнитом (ПМ). Последняя представляет наибольший интерес, так как она зависит от множества факторов, основными из которых являются форма и размеры ПМ, а также значение остаточной намагниченности B_r и коэрцитивной силы H_c . Оценить влияние каждого из них возможно методом математического моделирования. Это позволит улучшить характеристики ДМН и снизить его себестоимость.

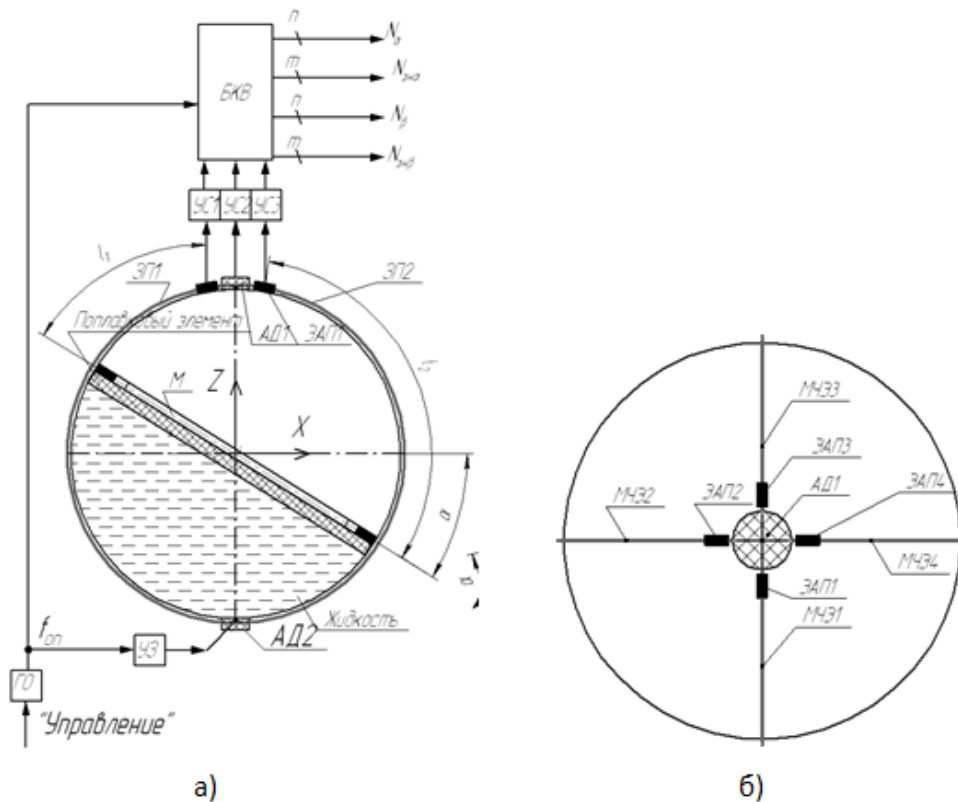


Рис. 1 Конструкция ДМН с использованием звукопроводов, расположенных под углом 90° а) основной вид и б) вид сверху.

В качестве формы будем использовать сплошной (СПМ) и кольцевой (КПМ) ПМ, так как они являются наиболее распространенными и выпускаются серийно.

Результирующее значение напряженности магнитного поля, согласно закону полного тока, определится по формуле[1],

$$H_R^2 = H_Z^2 + H_i^2 \quad (1)$$

где H_r – напряженность результирующего поля, H_z – составляющая напряженности магнитного поля, созданная ПМ (проекцией на ось OZ) и рассчитываемая по формуле (7), H_i – составляющая напряженности магнитного поля, созданная токовым импульсом i при протекании им в среде ЗП; $H_i = \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot R}$, где R – радиус ЗП.

Проекция вектора напряженности магнитного поля на ось Z , созданного ПМ радиусом R_m и высотой h_m будет рассчитываться[1]:

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

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

На основании формул (1) и (2) можно сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная ПМ в разной степени зависит от его размеров и величины остаточной намагниченности. Важность каждой из составляющих выражений (1) и (2) необходимо учитывать при разработке конструкций ДМН.

В ходе моделирования магнитного поля новой конструкции ДМН, приведенной на рисунке 1, было выявлено, что наиболее эффективным способом изменения напряженности магнитного поля вне ПМ является изменение значения высоты ПМ и остаточной индукции, определяемой маркой ПМ. Результаты моделирования приведены на рисунках 2 и 3.

Для моделирования в качестве основного был выбран СПМ и КПМ с размерами $D_m \times h_m = 110 \times 5 \text{ мм}$ и $D_m \times d_m \times h_m = 110 \times 90 \times 5 \text{ мм}$ соответственно со значением остаточной индукции $B_r = 0,35 \text{ Тл}$. Моделируемое значение напряженности определялось вдоль оси абсцисс, совмещенной с центром ПМ.

Необходимо отметить, что максимальное значение напряженности магнитного поля было зафиксировано на расстояниях от центра ПМ вдоль оси абсцисс $r = \frac{d_m + D_m}{4}$ и для $r = 0$ КПМ и СПМ соответственно.

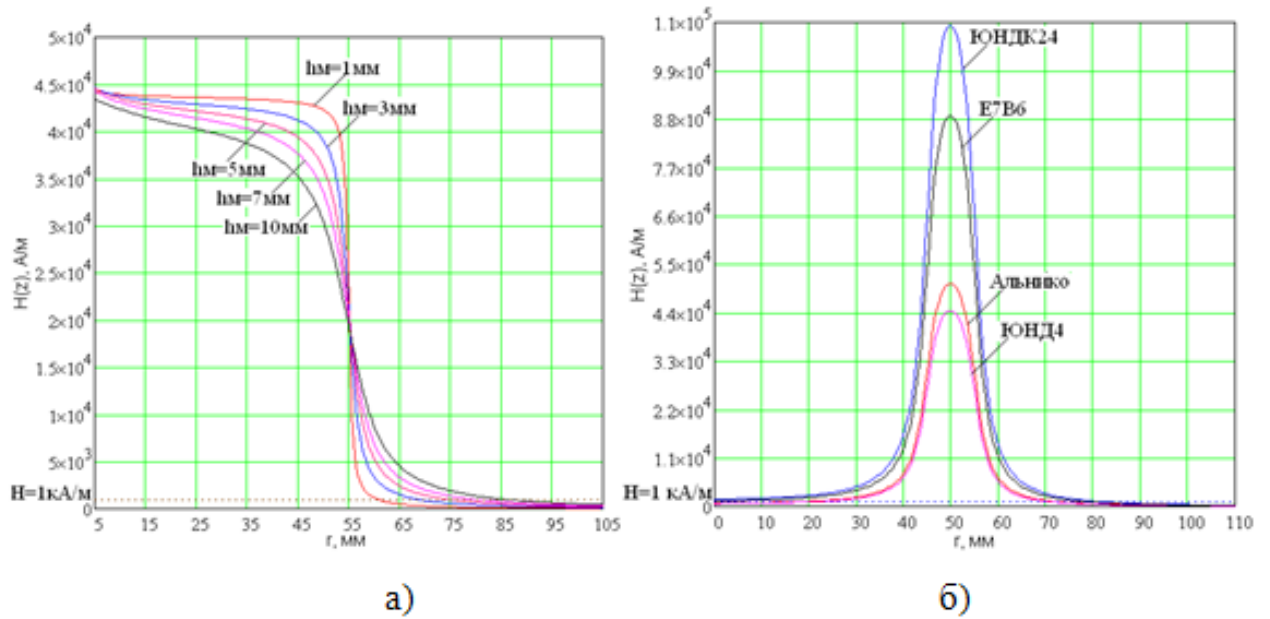


Рис. 2 Зависимость напряженности магнитного поля от высоты СПМ(а) и КПМ(б).

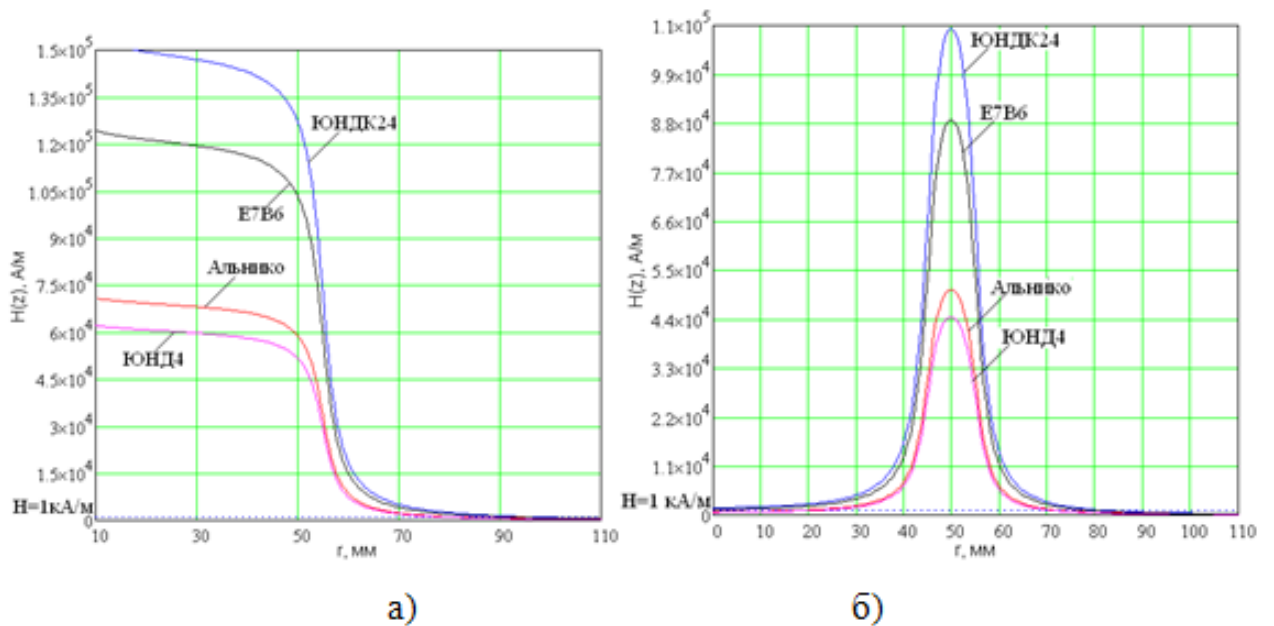


Рис. 3 Зависимость напряженности магнитного поля от марки СПМ(а) и КПМ(б).

Также следует отметить, что вследствие малости значений амплитуды токового импульса i составляющих несколько десятков миллиампер, значение напряженности магнитного поля H_i получается на несколько порядков меньше H_z . Исходя из этого, можно сделать вывод, что результирующее значение напряженности магнитного поля, рассчитываемое согласно выражению (1), для

рассматриваемых на рисунках 2 и 3 случаев моделирования будет незначительно отличаться от значения напряженности H_z .

Таким образом, в результате проведенного моделирования было установлено, что магнитное поле ДМН фиксированной точке вне ПМ значительно изменяется при соответствующем изменении высоты и марки ПМ и незначительно при изменении внутреннего диаметра. Полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов ДМН, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

Список литературы

1. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей в двухкоординатных магнитострикционных наклонмерах: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2013. – 160с.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611477. Программа моделирования магнитных полей ДМН на УЗВ кручения. Правообладатель: ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия». Авторы: Воронцов А.А., Слесарев Ю.Н., Карпухин Э.В. Заявл. 20.02.2013г.

3. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклонмеров, 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.

4. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклонмеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпухин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико–математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.