

3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитострикционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпунин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.
6. Воронцов А.А. Моделирование магнитной системы конструкций двухкоординатных магнитострикционных наклономеров с расположением магниточувствительных элементов под углом 90 градусов / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, С.В. Родионов, А.М. Зелик // В сб.: Новое слово в науке: перспективы развития Сборник материалов международной научно–практической конференции. Чебоксары, 2014. С. 238 – 240.
7. Прецизионные сплавы. Справочник /Под ред. Молотилова Б.В. -М.: Metallurgia, 1983.-439 с.
8. Голямина И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
9. Немцов М.В. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности/ М.В. Немцов, Ю.М. Шамаев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с.
10. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.
11. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей в двухкоординатных магнито-стрикционных наклономерах: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2013. – 160 с.

УДК 519.711.3

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ КОНСТРУКЦИЙ ДВУХКООРДИНАТНЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

**А.А. Воронцов<sup>1</sup>, Д.С. Назаренко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>доцент кафедры "Вычислительные машины и системы", к.т.н., Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: [aleksander.vorontsov@gmail.com](mailto:aleksander.vorontsov@gmail.com)

<sup>2</sup>студент гр.19ИВ1м, Пензенский Государственный Технологический Университет, г. Пенза, Россия, e-mail: [anynazar@yandex.ru](mailto:anynazar@yandex.ru)

**Аннотация.** выполнено моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных преобразователей угловых перемещений, рассмотрены основные

формы и математические модели постоянных магнитов, используемых в новой конструкции преобразователей угловых перемещений.

*Ключевые слова:* магнитострикционный, двухкоординатный преобразователь угловых перемещений, угломер, магнитострикция, магнитное поле, моделирование магнитных полей.

## MODELING OF A MAGNETIC SYSTEM OF STRUCTURES OF TWO-DIMENSIONAL MAGNETOSTRICTION CONVERTERS OF ANGULAR MOVEMENTS

A.A. Vorontsov<sup>1</sup>, D.S. Nazarenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>lecturer of department "Computers and Systems", Ph.D., Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: [aleksander.vorontsov@gmail.com](mailto:aleksander.vorontsov@gmail.com)

<sup>2</sup>student, gr.19IV1m, Penza State Technological University, s. Penza, Russia, e-mail: [anynazar@yandex.ru](mailto:anynazar@yandex.ru)

**Abstract.** The magnetic fields are simulated for two-coordinate magnetostrictive angular displacement transducers, the basic forms and mathematical models of permanent magnets used in the new design of angular displacement transducers are considered.

*Keywords:* magnetostrictive, two-coordinate angular displacement transducer, goniometer, magnetostriction, magnetic field, modeling of magnetic fields.

**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 преобразователями угловых перемещений. В последние годы для этих целей все чаще находят применение магнитострикционные преобразователи угловых перемещений (МПУП).

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

Одной из важных задач при проектировании ДМПУП является моделирование магнитных полей, решение которой обеспечивает повышение точности описания процессов преобразования измеряемых величин и позволяет оптимизировать конструктивные параметры ДМПУП. Попытка разра-

ботать математические модели магнитных полей ДМПУП была предпринята в работах [1-6], однако в ней было затронуто несколько конструкций ДМПУП.

#### **Цель работы.**

Целью данной статьи является моделирование магнитной системы новой конструкции ДМПУП.

#### **Материал и результаты исследований.**

В качестве объекта исследования выберем один из вариантов ДМПУП 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 волновод); 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 волновода (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.

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.

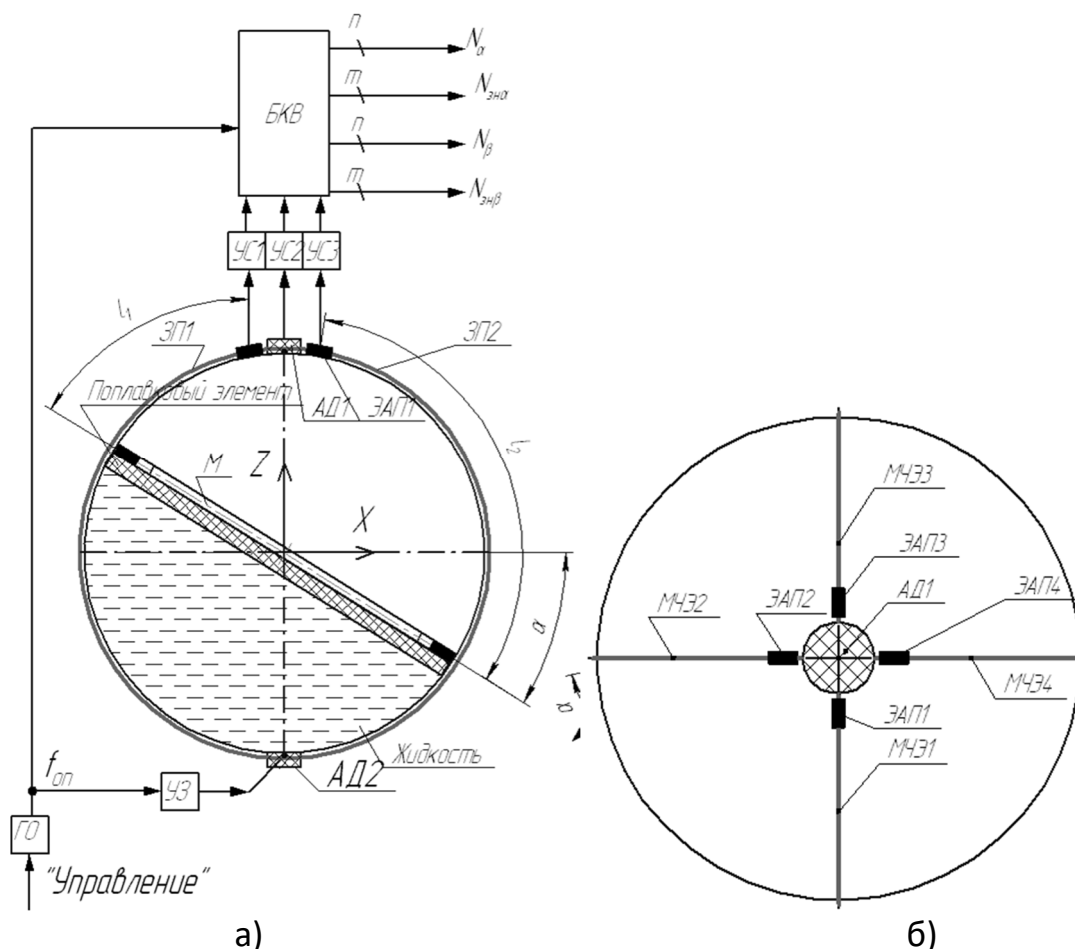


Рисунок 1 – Конструкция ДМПУП с использованием звукопроводов, расположенных под углом 90° а) основной вид и б) вид сверху

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

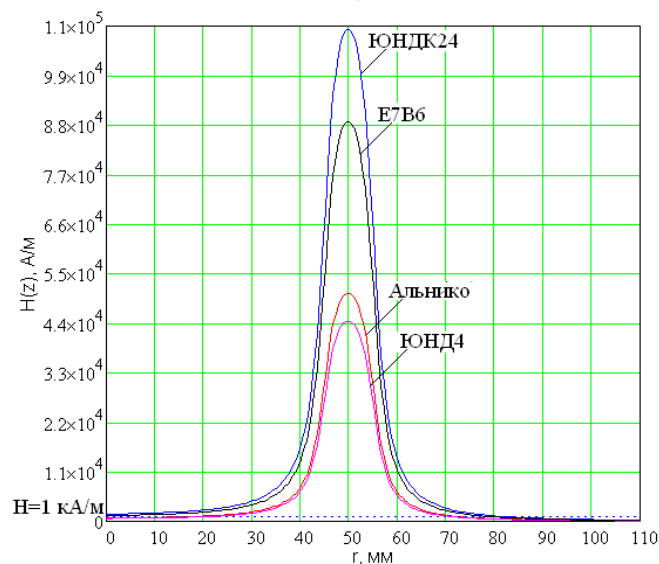
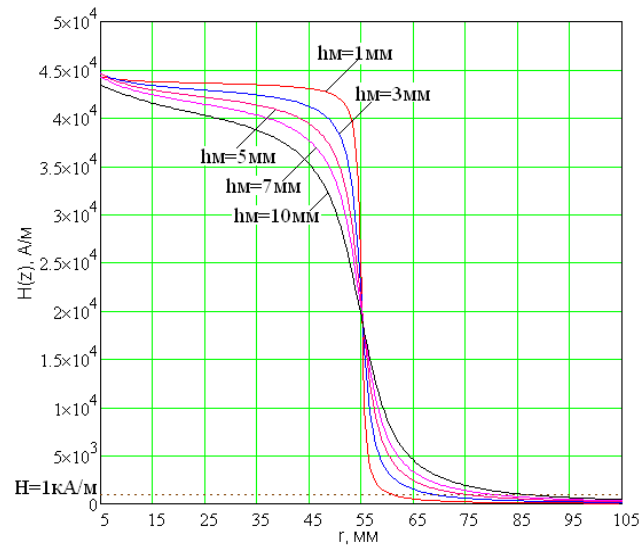
$$H_z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2) \rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (2)$$

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

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

На основании формул (1) и (2) можно сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная ПМ в разной степени зависит от его раз-

меров и величины остаточной намагниченности. Важность каждой из составляющих выражений (1) и (2) необходимо учитывать при разработке конструкций ДМПУП.



а)

б)

Рисунок 2 – Зависимость напряженности магнитного поля от высоты СПМ(а) и КПМ(б)

В ходе моделирования магнитного поля новой конструкции ДМПУП, 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  $D_M \times d_M \times h_M = 110 \times 90 \times 5 \text{ мм}$  соответ-

ственно 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  $r = 0$  для КПМ и СПМ соответственно.

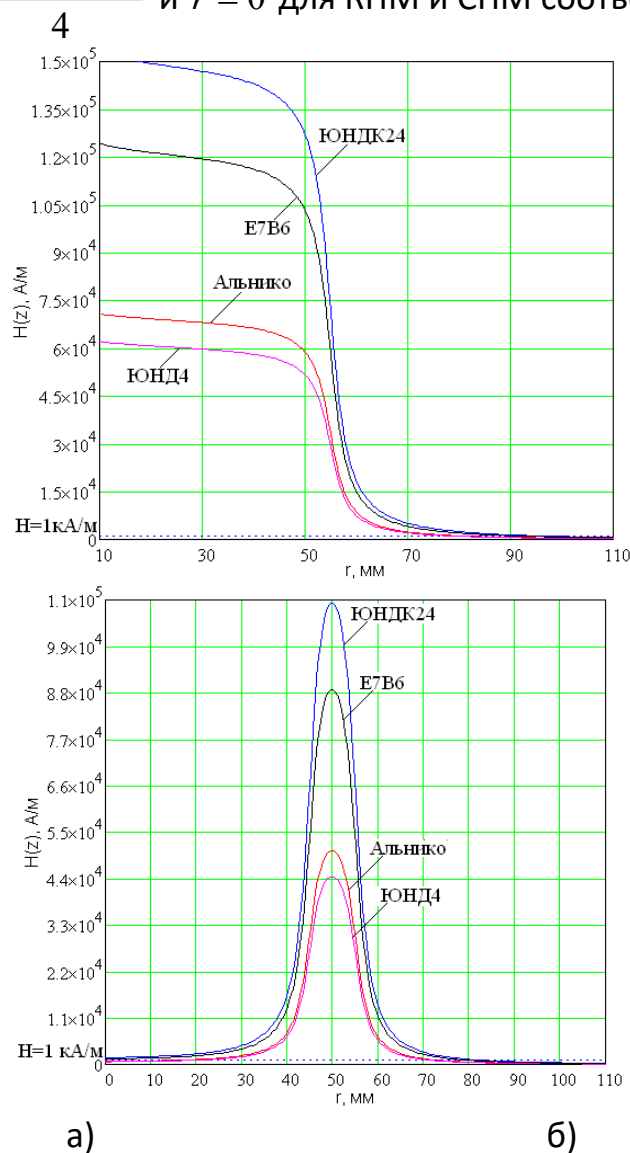


Рисунок 3 – Зависимость напряженности магнитного поля от марки СПМ(а) и КПМ(б)

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  $H_Z$ .

**Вывод.** Таким образом, в результате проведенного моделирования было установлено, что магнитное поле ДМПУП 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 ДМПУП, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 3 (31). С. 173-178.
2. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 137-145.
3. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнитоотрицательных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: Дис....канд. техн. наук. – Астрахань, 2007. – 229 с.
4. Воронцов, А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитоотрицательного наклономера / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
5. Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитоотрицательных наклономеров, 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.
6. Слесарев Ю.Н. Реверсивные методы записи для оптических дисковых накопителей: Дис....д-ра техн. наук. – Пенза, 2004. – 342 с.