

УДК 519.711.3

Слесарев Юрий Николаевич

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры "Вычислительные машины и системы"
Пензенского государственного технологического университета

Воронцов Александр Анатольевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры "Вычислительные машины и системы"
Пензенского государственного технологического университета

Родионов Сергей Владимирович

студент
Пензенского государственного технологического университета

Slesarev Yuriy Nikolaevich

Doctor of Engineering, associate professor,
professor of "Computers and Systems" department of the
Penza state technological university

Vorontsov Aleksandr Anatolievich

Candidate of Technical Sciences,
associate professor "Computers and systems"
Penza state technological university

Rodionov Sergey Vladimirovich

student of the Penza state technological university

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В
АКУСТИЧЕСКИХ ТРАКТАХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ
УГЛОМЕРОВ**

**MATHEMATICAL MODELLING OF MAGNETIC FIELDS IN ACOUSTIC
PATHS OF MAGNETOSTRICTION GONIOMETERS**

Аннотация: В статье рассмотрено моделирование магнитных полей магнитострикционных угломеров. Проведено математическое моделирование результирующей напряженности магнитного поля магнитострикционных угломеров и ее составляющих – созданных токовым импульсом и постоянным магнитом.

Ключевые слова: магнитное поле, моделирование магнитных полей, двухкоординатный магнитострикционный наклономер, напряженность магнитного поля, расчет напряженности.

Summary: In article modeling of magnetic fields of magnetostriction goniometers is considered. Mathematical modeling of resultant tension of magnetic field of magnetostriction goniometers and her components – created by a current impulse and a permanent magnet is carried out.

Key words: magnetic field, modeling of magnetic fields, two-coordinate magnetostriction tiltmeter, tension of magnetic field, tension calculation.

При протекании в магнитострикционных угломерах (МУ) [1-16] в среде волновода (ВЛ) токового импульса создается круговое магнитное поле напряженностью $H_{\text{КР}}$ вдоль всей длины ВЛ. В месте взаимодействия кругового магнитного поля $H_{\text{КР}}$ и поля, созданного постоянным магнитом $H_{\text{П}}$, формируется результирующее магнитное поле H_r , которое находится в соответствии с рисунком 1 в виде векторной суммы напряженностей двух полей согласно выражению

$$H_r = H_{\text{П}} + H_{\text{КР}}, \quad (1)$$

абсолютное значение которого с учетом взаимноперпендикулярности векторов $H_{\text{П}}$ и $H_{\text{КР}}$ определится в соответствии с выражением

$$(H_r)^2 = (H_{\text{П}})^2 + (H_{\text{КР}})^2. \quad (2)$$

Одну из составляющих результирующей напряженности магнитного поля, созданную токовым импульсом $H_{\text{КР}}$, можно рассчитать согласно известным выражениям, определяемым по закону полного тока [4]:

$$H_{\text{КР}} = i \cdot j / (2 \cdot \pi \cdot r_{\text{ВЛ}}) \quad (3)$$

и
$$H_{\text{КРВ}} = r \cdot i \cdot j / (2 \cdot \pi \cdot (r_{\text{ЗП}})^2), \quad (4)$$

где $H_{\text{КР}}$ - напряженность магнитного поля, созданного токовым импульсом вне ВЛ; $H_{\text{КРВ}}$ - напряженность магнитного поля, созданного токовым импульсом внутри ВЛ; i - амплитудное значение токового импульса, измеряемое в Амперах; $r_{\text{ВЛ}}$ - радиус ВЛ в м; r - текущий радиус внутри проводника в м; j - единичный вектор по касательной к окружности.

Результаты моделирования зависимости напряженности магнитного поля, созданного токовым импульсом от расстояния r , отсчитываемого от центра ВЛ в плоскости его сечения, приведены на рисунке 2. Для моделирования был использован ВЛ радиусом $r_{\text{ВЛ}} = 0,5\text{мм}$ и токовый импульс $i = 100\text{мА}$.

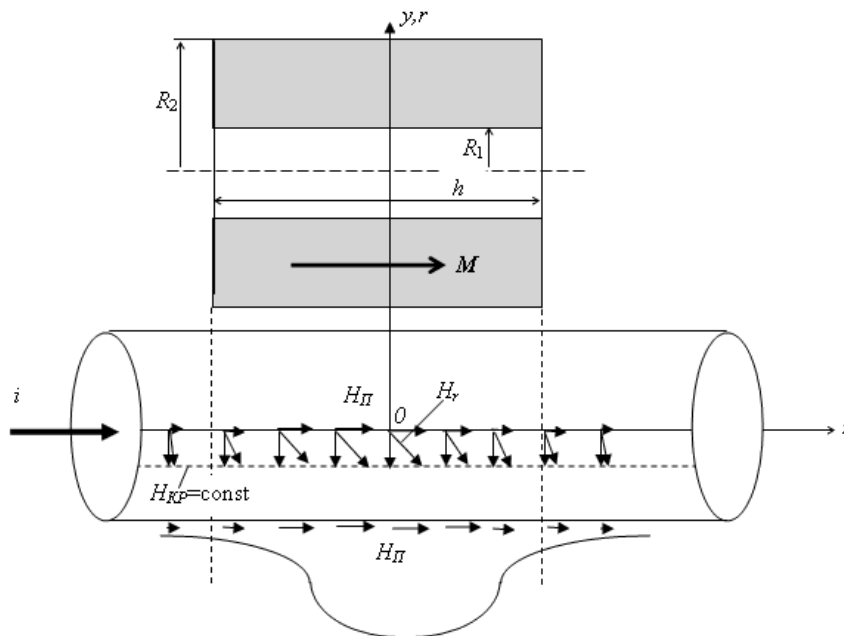


Рис. 1. Формирование крутильных колебаний

Составляющую напряженности магнитного поля, созданную ПМ $H_{\text{П}}$ различной формы, можно рассчитать по формулам, изложенным в [1].

Так, для кольцевого ПМ (КПМ) согласно [1] ее значение определится по формуле:

$$H_Z(r) = \frac{1}{\pi} h_M \cdot M \int_{d_M}^{D_M} \frac{E(k_2) \rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (5)$$

где $H_Z(r)$ - проекция вектора напряженности КПМ на ось OZ , r - расстояние от центра КПМ до точки расчета напряженности магнитного поля, D_M, d_M - соответственно внешний и внутренний радиусы КПМ, h_M - высота КПМ, M -

намагниченность, ρ - полярный радиус, $E(k_2) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k_2^2 (\sin \varphi)^2} d\varphi$ - полный эллиптический интеграл второго рода, $(k_2)^2 = (4 \cdot r \cdot \rho) / ((r + \rho)^2 + (h_M)^2 / 4)$.

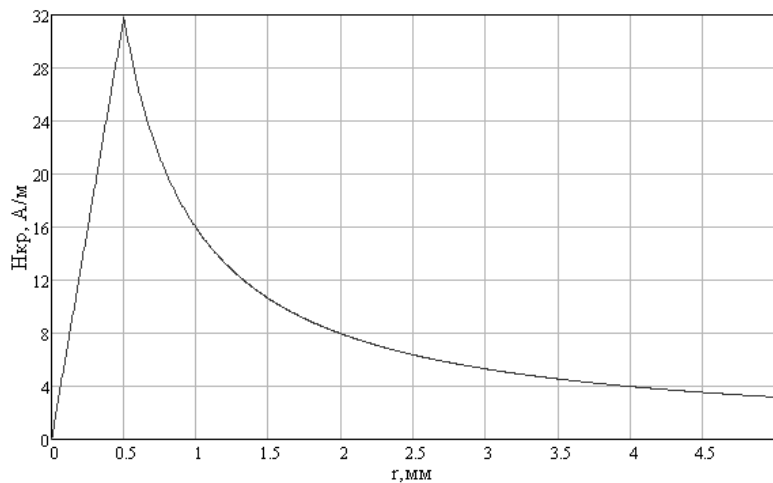


Рис. 2. Результаты моделирования зависимости напряженности магнитного поля $H_{кр}$, созданного токовым импульсом от расстояния r , отсчитываемого от центра ВЛ в плоскости его сечения

Результаты моделирования зависимости напряженности магнитного поля, созданного КПМ от расстояния r , отсчитываемого от боковой поверхности КПМ в горизонтальной плоскости, проходящей через его центр, рассчитанные согласно выражению 5, приведены на рисунке 3. Для моделирования был использован КПМ с внешним D_M и внутренним d_M диаметрами равными $D_M = 110$ мм и $d_M = 90$ мм соответственно, высотой $h_M = 1$ мм и значением остаточной индукции $B_r = 0,01$ Тл.

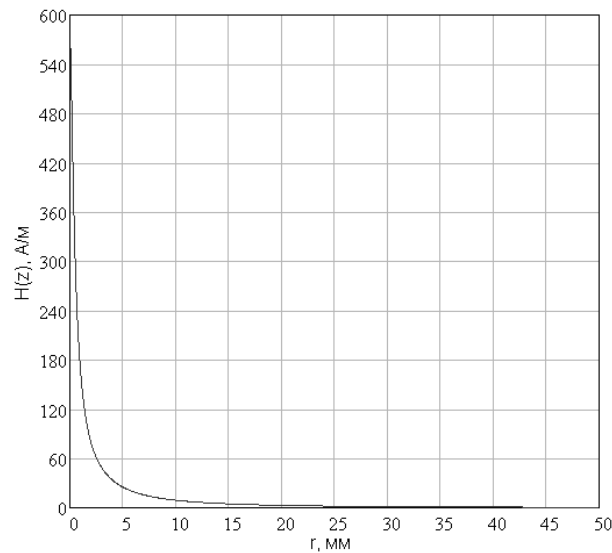


Рис. 3. Результаты моделирования зависимости напряженности магнитного поля H_D , созданного КПМ от расстояния r , отсчитываемого от боковой поверхности ПМ в горизонтальной плоскости, проходящей через его центр

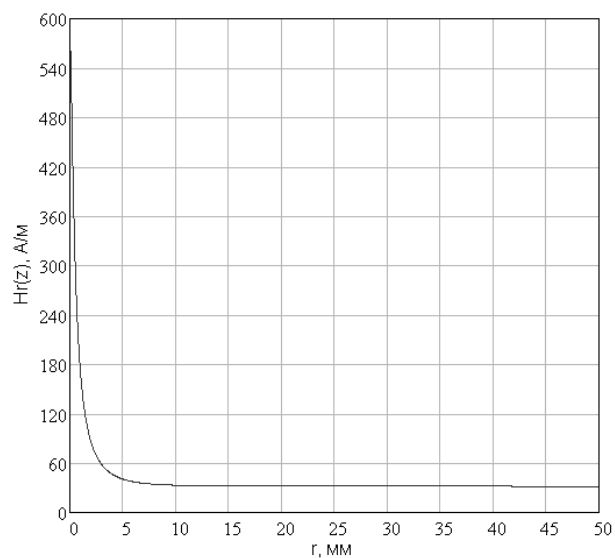


Рис. 4. Результаты моделирования зависимости результирующей напряженности магнитного поля, H_r от расстояния r , отсчитываемого от боковой поверхности ПМ в горизонтальной плоскости, проходящей через центр ПМ

Наложение магнитных полей, созданных токовым импульсом и ПМ, порождает результирующее магнитное поле, результаты моделирования зависимости напряженности которого от расстояния r , для рассматриваемых примеров (рисунки 2 и 3), приведены на рисунке 4. Расстояние r

отсчитывается от боковой поверхности ПМ до ближайшей точки на поверхности ВЛ в горизонтальной плоскости, проходящей через центр ПМ и измеряется в метрах.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что существенные отличия в значениях напряженностей магнитных полей, созданных ПМ и результирующей (рисунки 3 и 4) наблюдаются лишь при отдалении ВЛ от ПМ (в приведенных примерах $r > 2\text{мм}$).

В заключении необходимо отметить, что под воздействием магнитного поля со значением результирующей напряженности H_r происходит формирование ультразвуковой волны кручения, являющейся носителем информации об измеряемой величине. Это свидетельствует об актуальности приведенных математических моделей и методиках расчета магнитных полей МУ.

Литература:

1. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах технического зрения. Пенза, 1999.
2. Сальников И.И. Размерная селекция бинарных изображений локальных объектов при анализе аэрофотоснимков. Телекоммуникации. Москва: ООО "Наука и технологии". - 2015. № 2. С. 17-23.
3. Сальников И.И. Методы размерной селекции при анализе бинарных изображений. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 89-95.
4. Сальников И.И. Оценка влияния диапазона электромагнитных волн на потенциально-возможную скорость передачи данных в средствах реализации информационной потребности человека. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2015. № 3 (25). С. 18-22.

5. Сальников И.И. Методы построчного и следящего поэлементного анализа сложных бинарных изображений. XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2013. № 10 (14). С. 53-60.
6. Литвинская О.С., Сальников И.И. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы Пенза, 2011.
7. Сальников И.И. Методы и алгоритмы сегментации бинарных изображений на основе построчного анализа. XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 29-40.
8. Сальников И.И. Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации. XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2012. № 5 (09). С. 69-73.
9. Сальников И.И. Движущие силы развития средств удовлетворения информационных потребностей человека. XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2014. № 3 (19). С. 11-15.
10. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Маркин Д.И., Дарченко Т.В. Анализ и математическое моделирование эффективно проводящего слоя в двухкоординатных магнитоотрицательных наклонерах. Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. Тольятти: Поволжский государственный университет сервиса. - 2013. № 3. С. 311-315.
11. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Шувалова И.В., Маркин Д.И. Исследование оптимального значения результирующей напряженности магнитного поля в двухкоординатных магнитоотрицательных наклонерах с использованием постоянных магнитов формы прямоугольного параллелепипеда. Информационные технологии.

- Радиоэлектроника. Телекоммуникации. Тольятти: Поволжский государственный университет сервиса. - 2013. № 3. С. 323-328.
12. Карпухин Э.В., Дёмин С.Б., Воронцов А.А., Ермолаев Н.А., Курносое В.Е. Моделирование магнитных полей первичного преобразователя магнитострикционного преобразователя перемещений. В сборнике: Актуальные вопросы современной информатики. Материалы Международной заочной научно-практической конференции. Коломна: Государственный социально-гуманитарный университет. - 2011. С. 24-28.
13. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Ермолаев Н.А., Конопацкий Ю.В. Математическое моделирование оптимального расстояния от сплошного постоянного магнита до звукопровода с помощью разработанного комплекса программ "Двухкоординатный МН". Современные информационные технологии. Пенза: ПензГТУ. - 2013. № 18. С. 153-157.
14. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Карпухин Э.В. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит. Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Пенза: ПГПУ. - 2012. № 30. С. 467-472.
15. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитострикционного накломера. Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Пенза: ПГПУ. - 2012. № 30. С. 462-466.
16. Литвинская О.С., Сальников И.И. Структура принятия решения по выбору цифрового средства реализации алгоритма в информационной технической системе. Фундаментальные исследования. Пенза: "Академия Естествознания". - 2010. № 12. С. 111-118.