

37	21	1168	0,0011	3,6	18,8	3,495	1013,00	0,90	1
38	21	1168	0,00098	4,2	18,2	4,199	1052,74	0,90	1
39	21	1168	0,00106	3,6	18,8	3,348	970,31	0,90	1
40	21	1168	0,00103	3,6	18,8	2,805	812,90	0,90	1

## 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.

УДК 519.711.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЕКЦИИ НА ОСЬ OZ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА В КОНСТРУКЦИЯХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

А.А. Воронцов<sup>1</sup>, А.В. 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.** В данной статье подробно рассмотрен анализ основных параметров соленоида, влияющих на формирование магнитных полей, сформированных при протекании в среде волновода токового импульса. Проведено математическое моделирование магнитного поля соленоида при изменении координаты, отсчитанной по оси OZ от его центра для различных значений радиусов и длины соленоида.

*Ключевые слова:* соленоид, напряженность магнитного поля, магнитное поле соленоида, зависимость напряженности от координаты Z.

## RESEARCH OF THE OZ-AXIS PROJECTION OF THE MAGNETIC FIELD STRENGTH OF THE SOLENOID IN THE DESIGNS OF MAGNETO-STRICT CONVERTERS OF ANGULAR DISPLACEMENTS

A.A. Vorontsov<sup>1</sup>, A.V. 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.** In given article the analysis of key parametres of the solenoid influencing formation of magnetic fields, generated is in detail considered at course in impulse environment. It is spent mathematical modelling of a magnetic field of the solenoid at change of the co-ordinate counted on axis OZ from its centre for various values of radiuses and length of the solenoid.

*Keywords:* The solenoid; intensity of a magnetic field; solenoid magnetic field; dependence of intensity on coordinate Z.

**Введение.** Современные объемы строительства неразрывно связаны с внедрением последних достижений науки в области строительной техники. Особое внимание уделяется приборам, предназначенным для предотвращения аварийной ситуации. Составляющей таких приборов являются наклонометры, необходимые для определения угла отклонения объекта относительно вертикали или горизонтали. Требования, предъявляемые к таким приборам различны, и зависят от области их применения. Однако главными из них остаются высокая точность и разрешающая способность, широкий диапазон преобразования, низкая стоимость и относительная простота конструкции.

Наиболее привлекательными по перечисленным требованиям являются магнитострикционные преобразователи угловых перемещений, в том числе один из их под классов – двухкоординатные магнитострикционные преобразователи угловых перемещений (ДМПУП)[1-11].

Для воспроизведения информационного сигнала в ДМПУП возможно использование соленоида. Напряженность магнитного поля соленоида определяется многими параметрами конструкции как ДМПУП, так и самого соленоида.

В соответствии с одной из моделей, поле  $H_{cz}$  на оси соленоида в точке, отстоящей на расстояние  $z$  от его центра, определяется по формуле:

$$H_{cz}(z) = \frac{nI}{4(R_{2c} - R_{1c})} \left\{ (l - z) \ln \frac{R_{2c} + \sqrt{R_{2c}^2 + (l - z)^2}}{R_{1c} + \sqrt{R_{1c}^2 + (l - z)^2}} + (l + z) \ln \frac{R_{2c} + \sqrt{R_{2c}^2 + (l + z)^2}}{R_{1c} + \sqrt{R_{1c}^2 + (l + z)^2}} \right\}, \quad (1)$$

где  $n=N/L$  - число витков на единицу длины соленоида,  $R_{1c}$  и  $R_{2c}$  - соответственно внутренний и внешний радиусы соленоида,  $2l=L$  - длина соленоида,  $j$  - плотность тока:  $j=I/s$ ,  $I$  - ток через провод,  $s$  - площадь поперечного сечения провода.

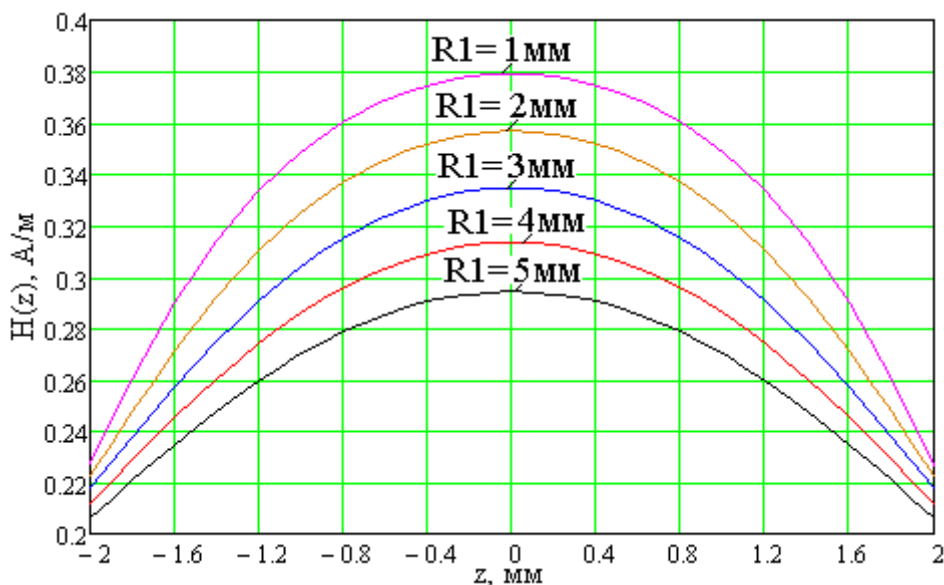
Анализ формулы (1) позволяет сделать вывод о нелинейной зависимости напряженности магнитного поля  $H_{cz}$  на оси соленоида от расстояния от его центра до текущей координаты  $z$ .

#### Цель работы.

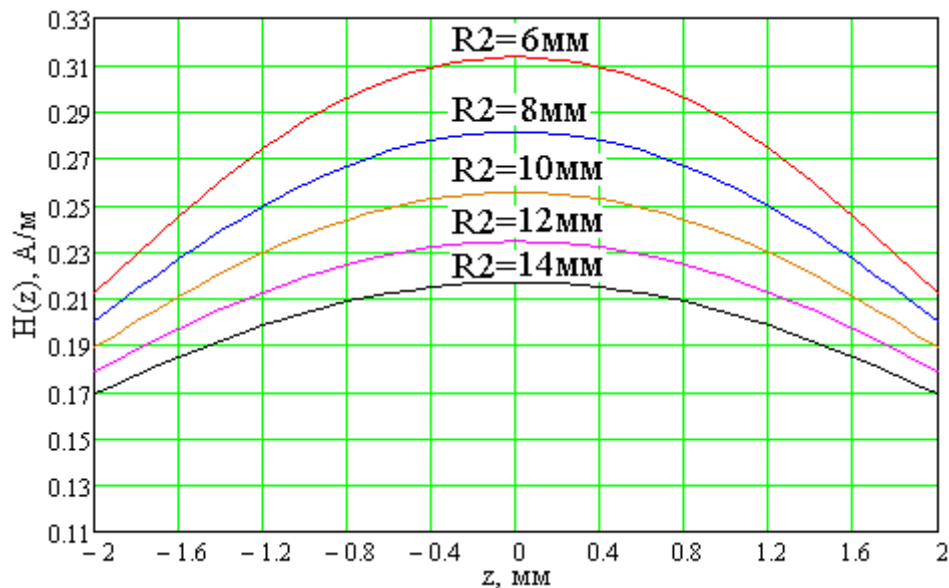
Целью данной статьи является исследование напряженности магнитного поля  $H_{cz}$  на оси соленоида от расстояния от его центра до текущей координаты  $z$ .

**Материал и результаты исследований.** Для исследования зависимости магнитного поля  $H_{cz}$  от текущей координаты  $z$  на оси соленоида было проведено математическое моделирование формулы (1) при изменении координаты  $z$  в диапазоне  $-L/2 \leq z \leq L/2$  для различных значений  $R_{1c}$ ,  $R_{2c}$  и  $L$ , результаты которого приведены на рисунках 1а-б и 2 соответственно.

В качестве базовых параметров при моделировании будем использовать соленоид с внутренним и внешним радиусами  $R_{1c}=2\text{мм}$  и  $R_{2c}=3\text{мм}$  соответственно, длиной  $L=4\text{мм}$ , количеством витков на единицу длины  $n=1$ , с постоянным значением токового импульса  $I=1\text{А}$ .



а)



б)

Рисунок 1 – Распределение относительной величины магнитного поля по оси соленоида в точке, отстоящей на расстоянии  $z$  от его центра при различных значениях внутреннего(а) и внешнего(б) диаметров соленоида

Результаты моделирования зависимости напряженности магнитного поля  $H_{cz}$  от координаты  $z$ , приведенные на рисунках 1а-б соответственно для различных значений внешнего и внутреннего диаметра, показали, что максимальное значение напряженности магнитного поля  $H_{cz}$  для указанных значений параметров конструкции наблюдается в центре соленоида, т.е. при  $z=0$  и может достигать значений от нескольких А/м до кА/м в зависимости от количества витков и значения токового импульса  $I$ , а также других параметров как соленоида, так и волновода.

Уменьшение значения внутреннего  $R_{1c}$  и внешнего  $R_{2c}$  радиусов соленоида, как это демонстрируют результаты моделирования, приведенные на рисунках 1а-б соответственно, способствуют увеличению значения напряженности магнитного поля в центре соленоида и более резкому уменьшению ее значения при удалении от центра.

При изменении длины соленоида  $L$ , как это показано на рисунке 2, происходит существенное смещение максимального значения напряженности  $H_{cz}$  относительно начала отсчета координаты  $z$ , совмещенного с центром соленоида. Так, в приведенных на рисунке 2 результатах моделирования, при увеличении длины соленоида с  $L_1=4$ мм до  $L_2=12$ мм положение максимума напряженности  $H_{cz}$  смещается с  $z=0$  до  $z=2,5$ мм.

Также необходимо отметить, что изменение длины соленоида незначительно изменяет максимальное значение напряженности магнитного поля  $H_{cz}$ . Для приведенного примера изменение составило с  $H_{cz}=0,31$ А/м

до  $H_{cz}=0,34\text{A/м}$ , т.е. менее 10%, при изменении длины соленоида в 3 раза с  $L_1=4\text{мм}$  до  $L_2=12\text{мм}$ .

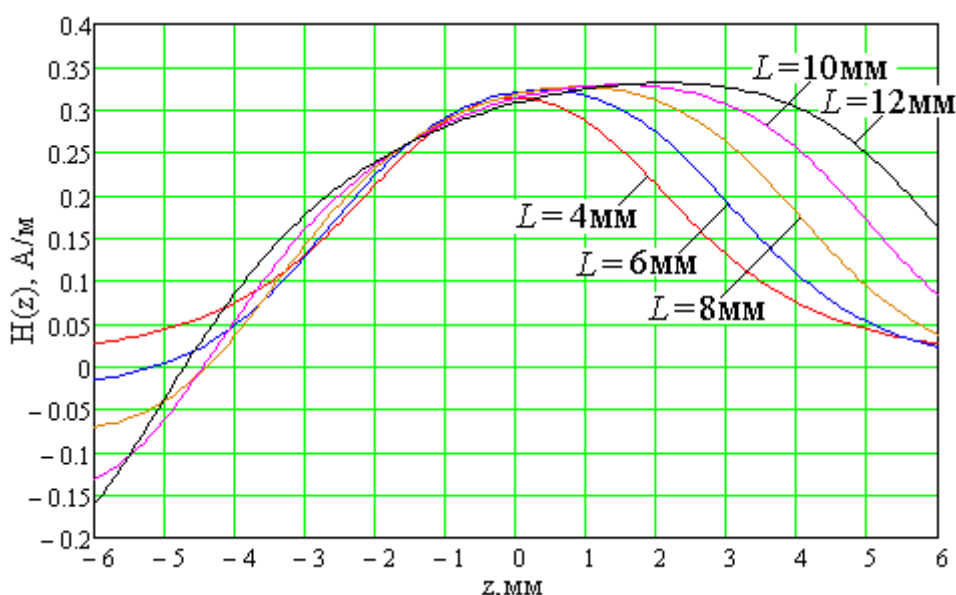


Рисунок 2 – Распределение относительной величины магнитного поля по оси соленоида в точке, отстоящей на расстоянии  $z$  от его центра при различных значениях длины соленоида

**Вывод.** Таким образом, на основании исследования зависимости магнитного поля  $H_{cz}$  от текущей координаты  $z$  на оси соленоида, можно сделать вывод, что для изменения максимального значения напряженности магнитного поля соленоида  $H_{cz}$ , наиболее эффективными методами являются изменение его внешнего и внутреннего радиусов и количества витков, а также значения токового импульса  $I$ .

Для изменения положения максимального значения напряженности магнитного поля соленоида  $H_{cz}$ , эффективным способом является изменение его длины  $L$ .

## 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 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