

УДК 519.711.3

## АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СПЛОШНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

А.А. Воронцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: [aleksander.vorontsov@gmail.com](mailto:aleksander.vorontsov@gmail.com)

**Аннотация.** В работе подробно рассмотрен анализ основных факторов, влияющих на формирование магнитных полей магнитострикционных преобразователей перемещения при использовании в них сплошного постоянного магнита. Выполнен анализ влияния каждого фактора. Исследованы расчетные формулы напряженностей магнитных полей, созданных сплошным постоянным магнитом.

*Ключевые слова:* сплошной постоянный магнит, напряженность магнитного поля, магнитное поле сплошного магнита, математическое моделирование магнитных полей.

## THE ANALYSIS AND MATHEMATICAL MODELLING OF CONTINUOUS PERMANENT MAGNETS MAGNETIC FIELDS OF MAGNETOSTRICTIVE CONVERTERS OF MOVEMENT

Alexander Vorontsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., associate professor 'Computers and systems', federal state-funded educational institution of the highest education 'Penza state technological university', Penza, Russia, e-mail: [aleksander.vorontsov@gmail.com](mailto:aleksander.vorontsov@gmail.com)

**Abstract.** In work the analysis of the major factors influencing formation of magnetic fields of magnetostrictive converters of movement when using to them a continuous permanent magnet is in detail considered. The analysis of influence of each factor is made. Settlement formulas of tensions of the magnetic fields created by a continuous permanent magnet are investigated.

*Keywords:* continuous constant magnet, intensity of a magnetic field, a magnetic field of continuous constant magnet, mathematical modelling of magnetic fields.

**Введение.** Результирующее магнитное поле, формируемое в магнитострикционных преобразователях перемещений, состоит из двух составляющих – созданной токовым импульсом при протекании им в среде волновода (ВЛ) и созданной постоянным магнитом (ПМ) [1-4]. Последняя состав-

ляющая 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  $H_c$ .

**Целью работы** является оценка влияния каждого из основных факторов, влияющих на формирование магнитного поля созданных сплошным (СПМ) ПМ, используемого в магнитоотрицательных преобразователях перемещения методом математического моделирования. Это позволит улучшить характеристики магнитоотрицательного преобразователя перемещения и снизить его себестоимость.

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

Одним из способов аналитического преобразования уравнений магнитного поля является их предварительное сведение к уравнению относительно скалярного магнитного потенциала [4]. 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 сплошным ПМ, выведем соответствующую формулу расчета с учетом влияния перечисленных факторов указанным методом применительно к различным конструкциям магнитоотрицательных преобразователей перемещения (МПП).

Известно, что напряженность магнитного поля  $\bar{H}$ , созданного фиктивными поверхностными зарядами сплошного ПМ с плотностью  $\sigma'_M = M$ , согласно рисунку 1, определяется по формуле [5]

$$\bar{H} = \int \frac{dp_m}{R_1^2} \cdot \bar{R}_0, \quad (1)$$

где  $dp_m$  - элементарный магнитный момент;  $\bar{R}_1$  - вектор, направленный из точки  $A(x, y, z)$ , расположенной на верхней или нижней поверхности ПМ в точку  $B(x', y', z')$ , расчета напряженности магнитного поля;  $\bar{R}_0$  - единичный вектор в направлении  $\bar{R}_1$ .

Элементарный магнитный момент  $dp_m$  можно рассчитать согласно [5] по формуле

$$dp_m = \bar{n} \cdot \bar{M} \cdot ds, \quad (2)$$

где  $\bar{n}$  - нормаль к плоскости ПМ,  $\bar{M}$  - вектор намагниченности,  $ds$  - элементарная площадь ПМ.

С учетом того, что косинус угла  $\theta$  между векторами  $\vec{n}$  и  $\vec{R}_0$  согласно рисунка 1, можно записать как  $\cos \theta = \vec{n} \cdot \vec{R}_0 = (z - z') / R_1$ , формулы (2), а также, что  $z' = \pm h_M / 2$ ,  $z = 0$ , напряженность магнитного поля  $\vec{H}$  из (1) определится выражением:

$$\vec{H} = -\frac{h_M}{2} \int \frac{\vec{M} \cdot ds}{R_1^3} - \frac{h_M}{2} \int \frac{\vec{M} \cdot ds}{R_1^3} = -h_M \int \frac{\vec{M} \cdot ds}{R_1^3}, \quad (3)$$

где  $h_M$  - высота ПМ.

Так как проекции векторов намагниченности и напряженности магнитного поля на ось Z равны  $H_Z = \vec{H} \cdot \vec{n}$  и  $M_Z = \vec{M} \cdot \vec{n}$ , то выражение (3) для проекции  $H_Z$  можно записать:

$$H_Z = -h_M \int \frac{M_Z \cdot ds}{R_1^3} \quad (4)$$

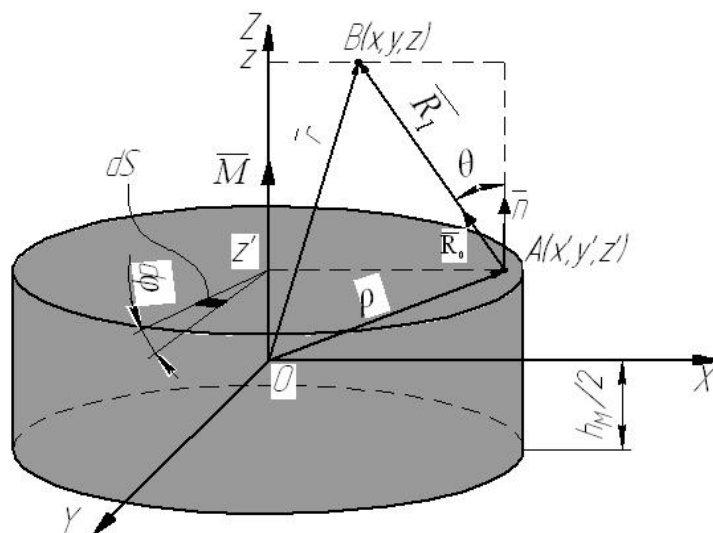


Рисунок 1 – Поясняющий рисунок к расчету магнитного поля ПМ цилиндрической формы

В цилиндрической системе координат выражение (4) имеет вид:

$$H_Z(r) = -h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \int_0^{2\pi} \frac{\rho \cdot d\rho \cdot d\varphi}{(r^2 + \rho^2 - 2 \cdot r \cdot \rho \cdot \cos \varphi + \frac{h_M^2}{4})^{\frac{3}{2}}}, \quad (5)$$

где  $r$  - расстояние от центра ПМ до точки расчета напряженности магнитного поля,  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ ;  $\rho$  - полярный радиус, определяемый расстоянием от центра ПМ до точки, лежащей на его верхней или нижней поверхности,  $\rho = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}$ ;  $R_M$  - радиус ПМ.

Выражение (5) можно упростить, используя известное равенство [4]:

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\gamma'}{(a' + b' \cos \gamma')^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{(a'^2 - b'^2)^{\frac{1}{2}}} \int_0^{2\pi} (a' + b')^{\frac{1}{2}} d\gamma', \quad (6)$$

где  $a'$  и  $b'$  - константы,  $\gamma'$  - угол.

Окончательно, проекция вектора напряженности магнитного поля на ось Z, созданного ПМ радиусом  $R_M$  и высотой  $h_M$  будет рассчитываться:

$$H_Z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2) \rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (7)$$

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

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

На основании формулы (7) можно сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная ПМ в разной степени зависит от его размеров и величины остаточной намагниченности.

Это также наглядно демонстрируют результаты моделирования зависимостей напряженности магнитного поля, созданные сплошным ПМ от высоты  $h_M$  (рисунок 2), диаметра  $D_M$  СПМ (рисунок 3) а также марки ПМ (рисунок 3). Для моделирования в качестве основного был выбран СПМ с размерами  $D_M \times h_M = 110 \times 5$  мм соответственно со значением остаточной индукции  $B_r = 0,35$  Тл. Моделируемое значение напряженности определялось вдоль оси абсцисс, совмещенной с центром ПМ.

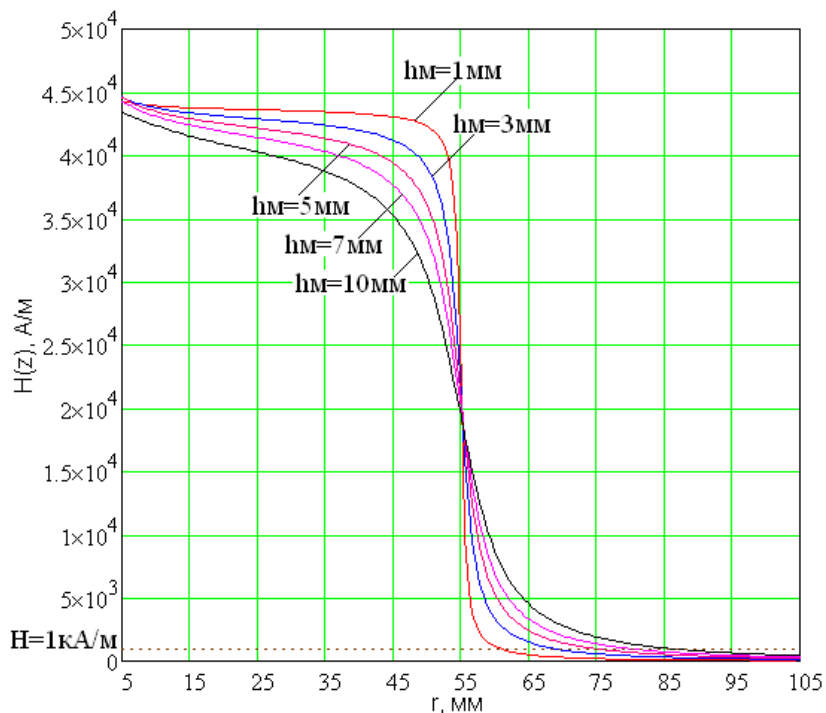


Рисунок 2 – Зависимость напряженности магнитного поля от высоты СПМ

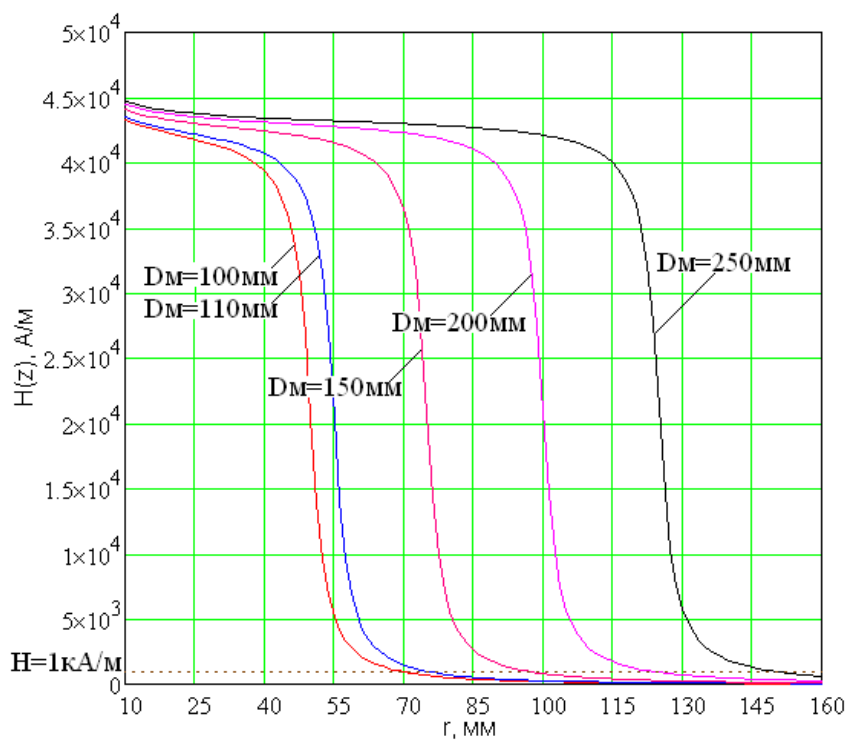


Рисунок 3 – Зависимость напряженности магнитного поля от диаметра СПМ

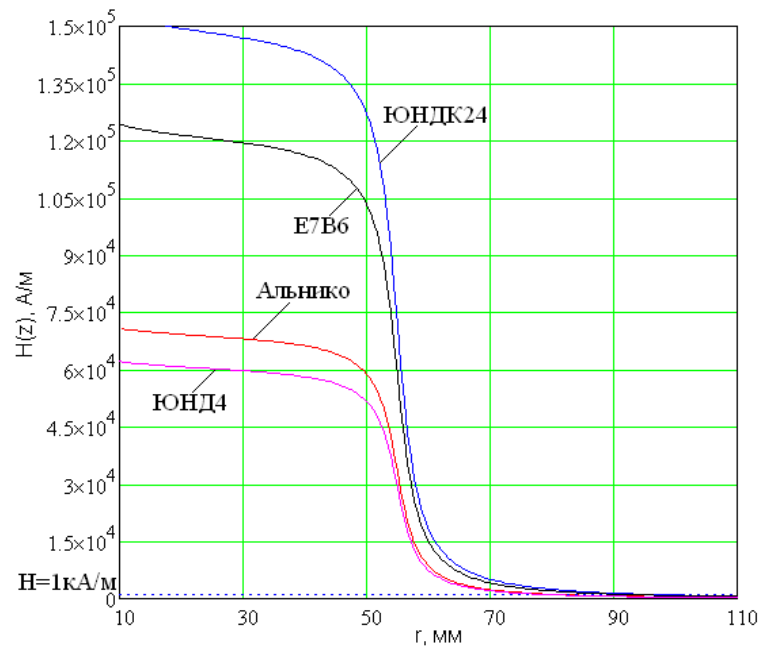


Рисунок 4 – Зависимость напряженности магнитного поля от марки СПМ

**Вывод.** Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунках 2–4, позволяет сделать вывод, что наиболее эффективным способом изменения напряженности магнитного поля вне ПМ является изменение значения остаточной индукции, определяемой маркой ПМ и высоты.

Изменение диаметра ПМ при значениях  $D_M > 5$  мм сопровождается незначительным изменением значения напряженности магнитного поля вне ПМ. Поэтому дальнейшее увеличение этого значения является необоснованным.

Также необходимо отметить, что максимальное значение напряженности магнитного поля было зафиксировано в центре ПМ.

Таким образом, полученные в результате теоретического исследования математические формулы позволяют найти оптимальное значение параметров конструкции, что позволяет подобрать оптимальное значение массы и габаритов МПП, уменьшая при этом его себестоимость изготовления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник. – 9-е изд., перераб. и доп. – М: Гардарики, 2001. – 317 с.
2. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2/ К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
3. Brown W.F. Magnetostatic principles in ferromagnetism.- N.Y.: North Holland Publishing Company, 1962. - 202 p.

4. Huth B.G. Calculations of stable domain radii produced by termomagnetic writing// IBM J. Res. Develop. - 1974.-Vol.18, №2.-P. 100-109.

УДК 519.711.3

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА НА ПРИМЕРЕ ЧАСТНОГО ОБЛАКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ПЕНЗГТУ

А.А. Воронцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: [aleksander.vorontsov@gmail.com](mailto:aleksander.vorontsov@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье выполняется анализ возможных перспектив использования облачных технологий в образовательной среде на примере частного облака ПензГТУ. Рассматриваются вопросы, связанные с эффективностью применения услуг, предоставляемых ПензГТУ преподавателям и студентам при проведении занятий (платформа и программное обеспечение, то есть PAAS и SAAS).

*Ключевые слова:* облачные технологии, ПензГТУ, частное облако, перспективы использования, образовательная среда, локальные сети, глобальные сети.

## TO THE QUESTION OF APPLICATION OF THE CLOUD COMPUTING IN EDUCATIONAL PROCESS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION ON THE EXAMPLE OF THE PRIVATE CLOUD OF THE PSTU COMPUTER NETWORK

Alexander Vorontsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., associate professor 'Computers and systems', federal state-funded educational institution of the highest education 'Penza state technological university', Penza, Russia, e-mail: [aleksander.vorontsov@gmail.com](mailto:aleksander.vorontsov@gmail.com)

**Abstract.** In this article the analysis of possible prospects of use of a cloud computing in the educational environment on the example of a private cloud of PSTU is made. The questions connected with efficiency of application of the services provided to PSTU to teachers and students when training (the platform and the software, that is PAAS and SAAS) are considered.

*Keywords:* cloud computing, PSTU, private cloud, prospects of use, educational environment, local networks, global networks.

**Введение.** Постоянная модернизация образования требует постоянного усовершенствования процесса обучения. В частности, для этих целей создаются информационные ресурсы, позволяющие студентам визуально воспринимать информацию с помощью аудио, видео, текстовых файлов и