

УДК 621.525

## МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Г.В. Очкур, А.Н. Токарев*

Представлен один из способов расчета зависимости изменения тягового усилия, действующего на заслонку электромагнитного преобразователя в устройствах автоматизированных технических систем энергетических предприятий при различных напряжениях, подаваемых на управляющую катушку. В качестве источника магнитного поля используется система витков катушки. Магнитожидкостная заслонка представлена в виде цилиндра, разбитого на кольцевидные секторы по радиальной и осевой составляющим, на каждый из которых действует магнитная сила. При этом магнитная сила зависит от осевых проекций индукции магнитного поля. Общий анализ распределения магнитной индукции при изменении координат точки наблюдения в ходе расчетов показал, что наибольшее влияние на втягивающее усилие оказывает осевая составляющая. Радиальная составляющая оказывает влияние только рядом с витками катушки.

*Ключевые слова:* магнитное поле; электромагнитный преобразователь; технические системы энергетических предприятий.

---

## ЭНЕРГЕТИКАЛЫК ИШКАНАЛАРДЫН АВТОМАТТАШТЫРЫЛГАН ТЕХНИКАЛЫК СИСТЕМАЛАРЫНЫН ТҮЗҮЛҮШТӨРҮНДӨГҮ МАГНИТ ТАЛААСЫ

*Г.В. Очкур, А.Н. Токарев*

Бул макала башкаруучу түрмөккө берилүүчү ар кандай чыңалууларда энергетикалык ишканалардын автоматташтырылган техникалык системаларынын түзүлүштөрүндөгү электромагниттик өзгөрткүчтүн тосмосуна таасирин тийгизүүчү, тартуу аракетинин өзгөрүшүнө жараша эсептөө ыкмаларынын бири берилди. Магниттик талаанын булагы катары түрмөк орому системасы пайдаланылды. Суюк магниттик тосмо радиусу жана огуна карата шакек сымак секторлорго бөлүнгөн цилиндр түрүндө берилген, алардын ар биринде магниттик күч аракеттенет. Ошол эле учурда магниттик күч магнит талаасынын индукциясынын огунун болжолуна көз каранды болот. Эсептөөлөрдүн жүрүшүндө байкоо чекиттеринин координаттарынын өзгөрүшүндө магниттик индукциянын бөлүштүрүлүшүнө жалпы талдоо жүргүзүү көрсөткөндөй, тартуу аракетине айлануу огу эң чоң таасирин тийгизе тургандыгын көрсөттү. Радиусу түрмөк оромунун тегерегине гана таасирин тийгизет.

*Түйүндүү сөздөр:* магнит талаасы; электромагниттик өзгөрткүч; энергетикалык ишканалардын техникалык системасы.

---

## MAGNETIC FIELDS IN DEVICES AUTOMATED TECHNICAL SYSTEMS AT ENERGY COMPANIES

*G. V. Ochkur, A. N. Tokarev*

The article presents one of the methods for calculating the dependence of the traction change acting on the shutter of the electromagnetic converter in the devices of automated technical systems of energy enterprises at various voltages supplied to the control coil. A coil system is used as a source of magnetic field. The magneto-liquid shutter is presented in the form of a cylinder, divided into annular sectors along the radial and axial components, each of which is affected by magnetic force. In this case, the magnetic force depends on the axial projections of the magnetic field induction. A general analysis of the distribution of magnetic induction with a change in the coordinates of the observation point during the calculations showed that the axial component has the greatest influence on the pulling force. The radial component affects only next to the turns of the coil.

*Keywords:* magnetic field; electromagnetic converter; technical systems of energy companies.

В настоящее время для развития технических средств автоматического управления в целях построения целого ряда технико-технологических систем энергетических предприятий, высококачественных быстродействующих систем различных комплексов используются электрогидравлические усилители-преобразователи, сочетающие электрические входные и гидравлические оконечные звенья. Это обусловлено тем, что электрогидравлические усилители-преобразователи надежны, долговечны, их конструкции, как правило, относительно просты. Также подобные устройства быстро реагируют на входные сигналы и имеют высокий коэффициент усиления по мощности при относительно небольших габаритах.

При проектировании электрогидравлических усилителей-преобразователей возможно использование в них устройств, регулирующих течение рабочей жидкости, а также имеющих в своей конструкции магнитожидкостные элементы и новые методы управления ими.

Предложена конструкция устройства, содержащая переменный дроссель, состоящий из сопла малого диаметра и заслонки, выполненной в виде мягкой упругой оболочки, заполненной магнитной жидкостью. Управлять движением оболочки можно с помощью воздействия на нее от обмоток электромагнитного преобразователя.

Математическую модель ЭГУП рассчитывали в несколько этапов. В первую очередь определяли зависимость перемещения заслонки от напряженности магнитного поля. Таким образом, необходимо было рассчитать тяговое усилие, с которым магнитное поле действует на находящуюся в нем заслонку в магнитной системе электрогидравлического усилителя-преобразователя.

Для упрощения начальных расчетов, магнитожидкостную заслонку можно представить в виде цилиндра длиной 1 см и диаметром 1 см. Схема взаимосвязи катушки индуктивности и магнитожидкостной заслонки показана на рисунке 1.

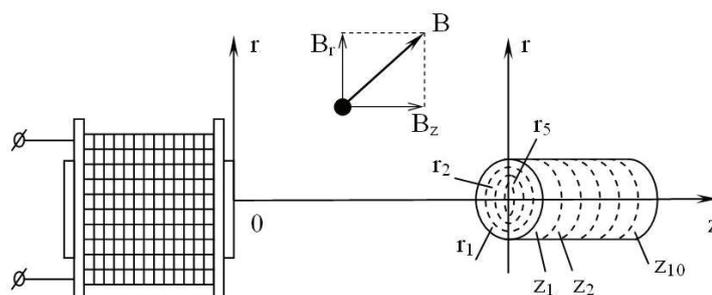


Рисунок 1 – Расположение катушки и магнитожидкостной заслонки

В качестве источника магнитного поля использовали систему витков катушки.

Векторный потенциал магнитного поля витка катушки в представленной системе координат можно описать следующим образом:

$$A_z = \frac{\mu\mu_0}{\pi k} \sqrt{\frac{r_m}{r_q}} \left[ \left(1 - \frac{k^2}{2}\right) K(k) - E(k) \right], \quad (1)$$

где  $K(k)$  и  $E(k)$  – эллиптические интегралы 1-го и 2-го рода с модулем  $k$ :

$$k^2 = \frac{4r_m r_q}{(r_q + r_m)^2 + (z_q - z_m)^2}. \quad (2)$$

После аппроксимации эллиптических интегралов получим следующие соотношения, вытекающие из разложения в ряд Тейлора:

$$K(k) = \frac{\pi}{2} \left( 1 + \frac{1^2}{2^1} k^2 + \frac{1^2 \cdot 3^2}{2^1 \cdot 4^2} k^4 \right), \quad (3)$$

$$E(k) = \frac{\pi}{2} \left( 1 + \frac{1^2}{2^1} k^2 + \frac{1^2 \cdot 3^2}{2^1 \cdot 4^2} k^4 \right). \quad (4)$$

Для расчета тягового усилия, действующего на магнитожидкостную заслонку от катушки индуктивности, магнитожидкостная заслонка была разбита на 5 кольцевидных секторов по радиальной составляющей и на 10 секторов по осевой составляющей. На каждый сектор действует магнитная сила  $F(r,z)$ , которая геометрически складывается из двух составляющих в цилиндрической системе координат: радиальной и осевой силы  $F_r(r,z)$  и  $F_z(r,z)$ :

$$F(r,z) = \sqrt{F_r(r,z)^2 + F_z(r,z)^2}. \quad (5)$$

Радиальную составляющую силы, действующей на точку объема, рассчитывали по формуле:

$$F_r(r,z) = \frac{1}{2\mu\mu_0} \left( \frac{d}{dr} BrK(r,z)^2 + \frac{d}{dr} BzK(r,z)^2 \right). \quad (6)$$

Аналогично рассчитывали осевую составляющую силы.

В формулах присутствуют такие величины, как относительная магнитная проницаемость воздуха и магнитной жидкости:  $\mu_0$  и  $\mu$  и осевые проекции индукции магнитного поля.

Формула для расчета радиальной составляющей магнитной индукции имеет вид:

$$Br(r,z) = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi} \left[ E(r,z) \frac{R_q^2 + R_m^2 + (z_q - z_m)^2}{(R_q - |R_m|)^2 + (z_q - z_m)^2} - K(r,z) \right] \cdot \frac{z_q - z_m}{R_m \sqrt{(R_q + |R_m|)^2 + (z_q - z_m)^2}}, \quad (7)$$

где  $I$  – эквивалентный ток, равный магнитодвижущей силе всей катушки с  $\omega$  витками;  $(r_q, z_q)$ ,  $(r_m, z_m)$  – точки координат точек наблюдения и источника.

$$BrK(r,z) = \sum_{k=-\frac{w-1}{2}}^{\frac{w-1}{2}} \sum_{m=0}^{s-1} Br[(r+m \cdot D), (z+H \cdot k)]. \quad (8)$$

Таким же образом рассчитывали осевую составляющую магнитной индукции:

$$BzK(r,z) = \sum_{k=-\frac{w-1}{2}}^{\frac{w-1}{2}} \sum_{m=0}^{s-1} Bz[(r+m \cdot D), (z+H \cdot k)]. \quad (9)$$

В итоге, тяговое усилие, действующее на весь объем магнитожидкостной заслонки, рассчитывали по формуле:

$$F = F(r,z) \cdot V_{сд}, \quad (10)$$

где  $V_{сд}$  – единичный объем сектора,  $m^3$ .

Общий анализ распределения магнитной индукции при изменении координат точки наблюдения в ходе расчетов показал, что наибольшее влияние на втягивающее усилие оказывает осевая составляющая. Радиальная составляющая оказывает влияние только рядом с витками катушки.

### Перечень использованной литературы

- Бинс К. Анализ и расчет электрических и магнитных полей / К. Бинс, П. Лауренсон; пер. с англ. М.: Энергия, 1970.
- Власов В.В. Расчет объемного усилия магнитного поля / В.В. Власов, А.В. Власов, В.В. Богатый // Докл. 4-й научн. конф. "Векторная энергетика в технических, биологических и социальных системах". М.: Буркин, 2001.
- Немцов М.В. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности / М.В. Немцов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 192 с.
- Тудвасева Г.В. Электрогидравлический усилитель-преобразователь типа сопло-магнитожидкостная заслонка / Г.В. Тудвасева, А.В. Власов, В.В. Власов // Вестник Саратовского госуд. технич. ун-та. 2007. № 1 (23). Вып. 3. С. 88–93.
- Тудвасева Г.В. Математическая модель электрогидравлического усилителя-преобразователя типа сопло-магнитожидкостная заслонка / Г.В. Тудвасева, А.В. Власов // Научно-технические ведомости СПбТГУ. 2007. № 2 (51). С. 213–215.