© Р.В. Ковалев, 2007

УДК 622.7

Р.В. Ковалев

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ БАРАБАННОГО СЕПАРАТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Для определения оптимальных технологических параметров обогащения железосодержащих руд необходимо рассчитать магнитные поля и поля сил магнитного сепаратора. Объектом исследования является сепаратор состоящий из барабана и магнитной системы вращающимися навстречу друг другу. Магнитная система представлена на рис. 1 которая состоит из 18 постоянных магнитов, прикрепленными к цилиндрическому магнитопроводу.

Расчет магнитных полей производился с использованием теории функций комплексного переменного [1, 2].

Для построения картины поля необходимо знать координаты вершин магнитов, которые были определены по следующим формулам

$$N_mag := 18 \quad Length := 32 \quad Width := 42 \quad R1 := 106 \quad R2 := R1 + Width$$

$$\text{Interval} := \frac{\left[\text{R1}\cdot(2\cdot\pi) - \text{N_mag}\cdot(\text{Length})\right]}{\text{N_mag}}$$

$$Z := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..\text{N_mag} \\ \left| \begin{array}{l} Z_{i,1} \leftarrow i\cdot\left[\text{R2}\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\left[\text{R2}\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right]\right] + \left(\frac{-\text{Length}}{2}\right)\cdot\left[\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right] \\ Z_{i,2} \leftarrow i\cdot\left[\text{R2}\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\left[\text{R2}\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right]\right] + \left(\frac{\text{Length}}{2}\right)\cdot\left[\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right] \\ Z_{i,3} \leftarrow i\cdot\left[\text{R1}\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\left[\text{R1}\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right]\right] + \left(\frac{\text{Length}}{2}\right)\cdot\left[\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right] \\ Z_{i,4} \leftarrow i\cdot\left[\text{R1}\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\left[\text{R1}\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right]\right] + \left(\frac{-\text{Length}}{2}\right)\cdot\left[\cos\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right] + i\cdot\sin\left[\frac{(i-1)\cdot 2\cdot\pi}{\text{N_mag}}\right]\right] \\ Z_{i,5} \leftarrow Z_{i,1} \end{array} \right. \\ Z \end{array} \right.$$

где $Z_{i,j} = x_{i,j} + j\, y_{i,j}$ -координаты вершин магнитов; R_1- внешний радиус магнитопровода; R_2 - внешний радиус вращающегося цилиндра.

Картина магнитного поля построена на основе понятия векторного магнитного потенциала вычисляемого по формуле:

$$A(\underline{z}) = \mathrm{Re}\left[-\frac{\mu_0 J}{4\pi}\sum_{i=1}^{N_mag}\sum_{j=1}^{4} K_{i,j}\left[(\underline{z}_{i+1} - \underline{z})\ln\left(\frac{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i}\right) - (\underline{z}_{i+1} - \underline{z})\ln\left(\frac{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i}\right) - 1\right]\right]$$

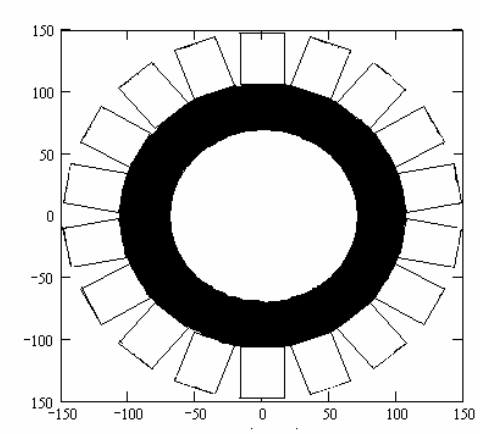

Рис. 1. Магнитная система сепаратора

(1)

где $A(\underline{z})$ - векторный магнитный потенциал, Вб/м,

$$K_{i,j} = \left[\left(1 + \frac{\underline{z}^*_{i+1} - \underline{z}^*_i}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i}\right)\cos\left(\frac{(i-1)\cdot 2\pi}{N_mag} + \frac{\pi(-1)^i}{2}\right) + \right.$$

$$\left. + j\left(\frac{\underline{z}^*_{i+1} - \underline{z}^*_i}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i} - 1\right)\sin\left(\frac{(i-1)\cdot 2\pi}{N_mag} + \frac{\pi(-1)^i}{2}\right)\right]$$

где J - модуль вектора намагниченности, А/м.

Построение картины магнитного поля производилось в относительных единицах при значении

$$\frac{\mu_0 J}{4\pi} = 1 .$$

Для этого случая картина магнитного поля показана на рис. 2.

При расчете технологических параметров сепаратора необходимо знать магнитную индукцию. Она определяется как сопряженная магнитная индукция по формуле

$$B^*(\underline{z}) = \frac{\mu_0 J}{4\pi j}\sum_{i=1}^{N_mag}\sum_{j=1}^{4} K_{i,j}\left[\ln\left(\frac{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i}\right) - \ln\left(\frac{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i}\right)\right] .$$

(2)

Для определения вертикальных и тангенциальных составляющих магнитной индукции необходимо перейти от декартовой к полярной системе координат, воспользуемся следующими уравнениями преобразований :

$$\underline{z} = x + jy$$

где $x = \rho\cdot\cos(\alpha)$, $y = \rho\cdot\sin(\alpha)$;

Получено

$$B^*(\rho,\alpha) = \tag{3}$$

$$= \frac{\mu_0 J}{4\pi j}\sum_{i=1}^{N_mag}\sum_{j=1}^{4} K_{i,j}\left[\ln\left(\frac{\underline{z}_{i+1} - (\rho\cdot\cos(\alpha) + j\rho\cdot\sin(\alpha)}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i}\right) - \ln\left(\frac{\underline{z}_{i+1} - (\rho\cdot\cos(\alpha) + j\rho\cdot\sin(\alpha)}{\underline{z}_{i+1} - \underline{z}_i}\right)\right]$$

$$B(\rho,\alpha) = \mathrm{Re}(B^*(\rho,\alpha) - j\,\mathrm{Im}(B^*(\rho,\alpha),$$

Определим действительную и мнимую части уравнения (3)

$$B_\rho(\rho,\alpha) = |B(\rho,\alpha)|\cdot\cos(\alpha - \arg(B(\rho,\alpha)),\quad B_\tau(\rho,\alpha) = |B(\rho,\alpha)|\cdot\sin(\alpha - \arg(B(\rho,\alpha)),$$

$$B(\rho,\alpha) = B_\rho(\rho,\alpha) + j\cdot B_\tau(\rho,\alpha). \tag{4}$$

При вычислении магнитной индукции в реальном поле необходимо определить коэффициент соответствия q между расчетными и реальными величинами

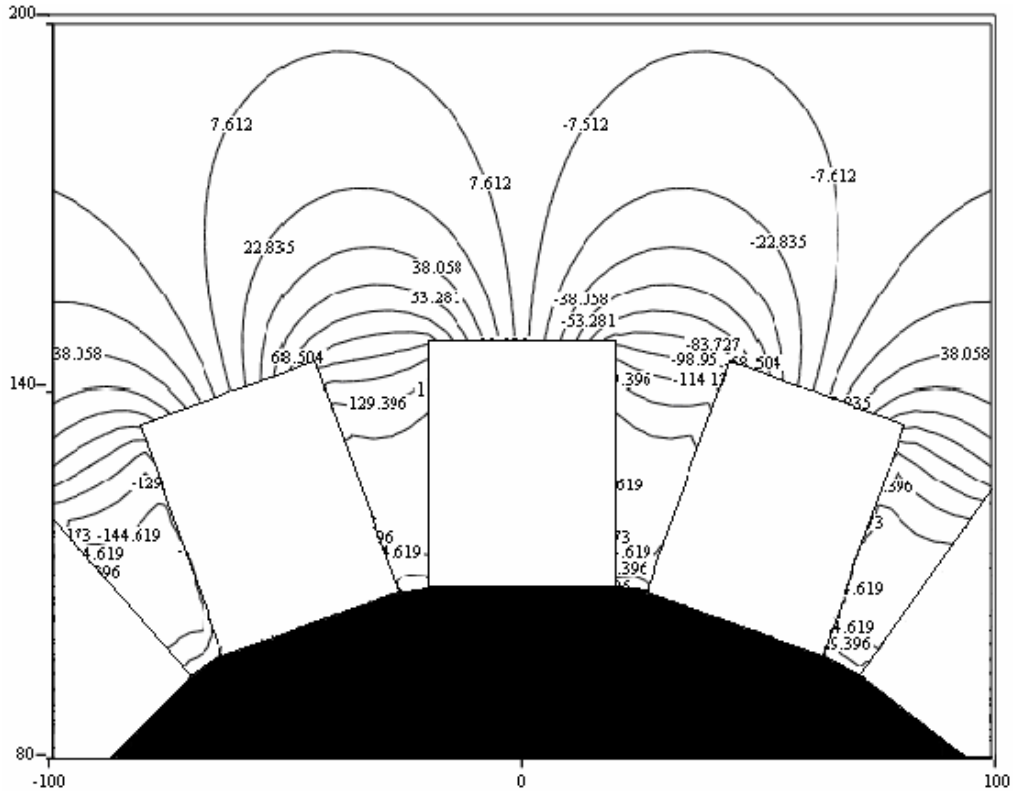

Рис. 2. Картина магнитных силовых линий барабанного сепаратора в относительных единицах

$$q = \frac{B(\rho,\alpha)_{из}}{B(\rho,\alpha)_{расч}}.$$

Для вычисления коэффициента соответствия проведены измерения магнитной индукции в точке с координатами $\rho = 162,5 мм, \alpha = 90^0$ на внешней поверхности барабана. При измерении получена магнитная индукция на внешней поверхности барабана $B(162,5,\frac{\pi}{2})_{из1} = 90 \quad мТл$

$$q = \frac{B(162.5,\frac{\pi}{2})_{из1}}{B(162.5,\frac{\pi}{2})_{расч}} = \frac{90}{2.53} = 35.573 .$$

Для проверки адекватности расчета была измерена магнитная индукция в другой точке магнитной системы с координатами $\rho = 148 мм, \alpha = 90^0$, $B(148,\frac{\pi}{2})_{из2} = 210 \quad мТл$.

Расчетное значение магнитной индукции на поверхности магнитного блока в этой точке $B(148, \frac{\pi}{2}) \cdot q = 206.171 \quad мТл$, ошибка составляет менее 2%. Значение ошибки соответствует точности измерений.

Построены графики изменения радиальной, тангенциальной составляющих и модуля магнитной индукции на внешней поверхности барабана (рис. 3) и в 20 мм от этой поверхности (рис. 4).

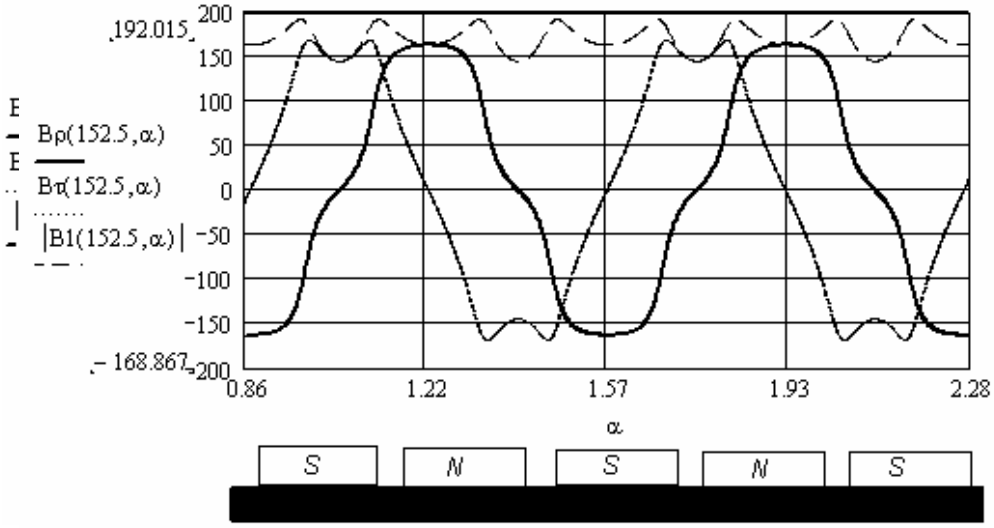

Рис. 5. Графики изменения радиальной, тангенциальной составляющих и модуля магнитных индукции между магнитной системой и внутренней поверхности барабана

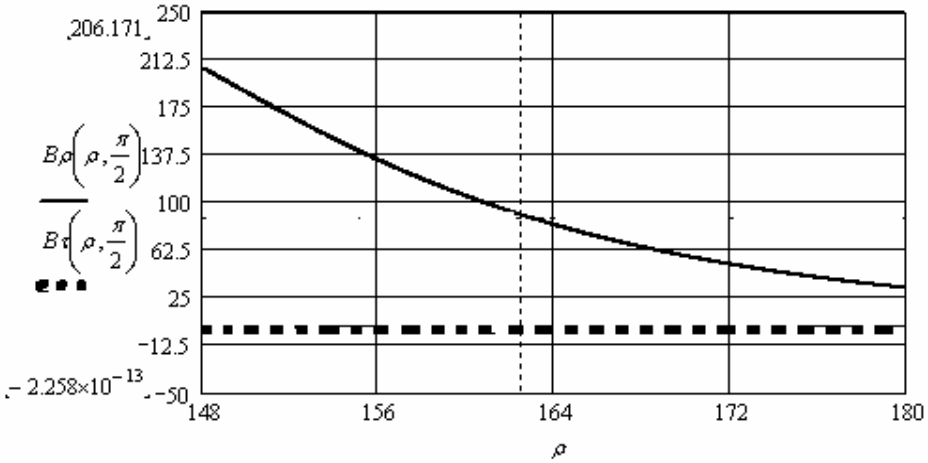

Рис. 6. Графики изменения радиальной, тангенциальной составляющих и модуля магнитной индукции в 20 мм от внешней поверхности барабана

Построенные по результатам расчетов графики показывают, что с внешней стороны сепаратора радиальная и тангенциальная составляющие магнитных индукции практически изменяются по синусоидальному закону. Вблизи от магнитов составляющие магнитной индукции несинусоидальные (рис. 5).

Для расчета полей сил в рабочей зоне сепаратора построены графики изменения радиальной и тангенциальной составляющих в зависимости от радиуса ρ , которые показаны на рис. 6.

Заключение

В настоящем исследовании:

- Разработана аналитическая методика расчета магнитных полей барабанного сепаратора на постоянных магнитах.
- Разработана аналитическая методика построения вершин магнитов и векторов намагниченности по окружности.
- Построена картина магнитного поля.
- Произведен анализ радиальных и тангенциальных составляющих магнитной индукции исследуемого сепаратора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кармазин В.В., Кармазин В.И.* Магнитные, электрические и специальные методы обогащения. – М: Изд. МГГУ, 2005.

2. *Епутаев Г.А.* Основы аналитической теории взаимодействия минералов с полем сепаратора на постоянных магнитах. - Владикавказ, РИА, 1999.

Коротко об авторах

Ковалев Р.В. – аспирант, Московский государственный горный университет.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ			
КОНДРАШОВА Оксана Геннадьевна	Определение ресурса безопасной эксплуатации нефтегазового оборудования путем оценки адаптивных свойств металла по изменению его магнитных характеристик	05.26.03	к.т.н.

МАМЛЕЕВА Лилия Амировна	Повышение безопасности промысловых трубопроводов в условиях биозаражения перекачиваемых сред	05.26.03	к.т.н.