

**РАСЧЕТ КАРТИНЫ ПОЛЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ
СЕПАРАТОРА ТИПА ПБМ С КЛИНОВЫМИ
МАГНИТНЫМИ ВСТАВКАМИ**

Семинар № 25

Серийные сепараторы типа ПБМ (с Постоянными магнитами, Барабанный, Мокрый) магнитные системы имеют клиновые вставки, корректирующие картину магнитного поля для уменьшения потоков рассеивания и тангенциальных составляющих вектора магнитной силы. При создании этих сепараторов еще в начале 70-х годов прошлого века применялись расчеты картины поля этих сепараторов на основе потенциальной функции Бухгольца и полученные приближенные результаты многократно уточнялись на экспериментальных стендах. Однако и до настоящего времени нет четких и корректных методов расчета магнитных полей и полей сил в рабочих зонах этих сепараторов. В настоящее время созданы и широко используются методы расчета магнитных полей и полей сил на основе теории функций комплексного переменного с использованием интеграла типа Коши [1]. При расчете магнитной системы барабанного сепаратора для стадиального выделения магнетита возникла необходимость рассчитать магнитную систему с чередующимися полюсами равной высоты с установкой между основными полюсами дополнитель-

ных полюсов так, чтобы полярность прилегающих сторон основных и дополнительных полюсов была одинаковой. Схема магнитной системы имеет вид (рис. 1).

Расчеты картины магнитных полей для основной системы полюсов произведены по формулам

$$A(z) = \operatorname{Re} \left[-\frac{\mu_0 J}{4\pi} \sum_{i=1}^{N_{mag}} \sum_{j=1}^4 K_{i,j} \times \right. \\ \left. \times \left[(z_{i+1} - z_i) \ln \left(\frac{z_{i+1} - z}{z_{i+1} - z_i} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - (z_{i+1} - z) \ln \left(\frac{z_{i+1} - z}{z_{i+1} - z_i} \right) - 1 \right] \right], \quad (1)$$

где

$$K_{i,j} = \left[\left(1 + \frac{z_{i+1}^* - z_i^*}{z_{i+1} - z_i} \right) \cos \left(\frac{(i-1)2\pi}{N_{mag}} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\pi(-1)^i}{2} \right) + j \left(\frac{z_{i+1}^* - z_i^*}{z_{i+1} - z_i} - 1 \right) \times \right. \\ \left. \times \sin \left(\frac{(i-1) \cdot 2\pi}{N_{mag}} + \frac{\pi(-1)^i}{2} \right) \right];$$

$A(z)$ - векторный магнитный потенциал, A , $z_{i,j}$ - координаты i вершины j магнита; J - намагниченность магнита, A/m ; N_mag - число магнитов.

Для магнитных индукций в полярной системе координат формула имеет вид:

$$B^*(\rho, \alpha) = \frac{\mu_0 J}{4\pi j} \sum_{i=1}^{N_mag} \sum_{j=1}^4 K_{i,j} \times \\ \times \left[\ln \left(\frac{z_{i+1}^* - (\rho \cdot \cos(\alpha) + j\rho \cdot \sin(\alpha))}{z_{i+1} - z_i} \right) - \right. \\ \left. - \ln \left(\frac{z_{i+1} - (\rho \cdot \cos(\alpha) + j\rho \cdot \sin(\alpha))}{z_{i+1} - z_i} \right) \right], \quad (2)$$

где $B^*(\rho, \alpha)$ - сопряженная магнитная индукция в полярной системе координат, Tl ; ρ и α - полярные координаты.

По формуле (1) построена картина магнитного поля, а по формуле (2) графики изменения радиальной, тангенциальной составляющих и модуля магнитной индукции на внешней поверхности барабана [2].

На основе этой магнитной системы построена картина магнитного поля дополнительных полюсов из материала основных полюсов намагниченных, как показано на рис.1. Для этого случая использовалась формула (1) с измененным коэффициентом $K_{i,j}$

$$K_{i,j} = \left[\left(1 + \frac{z_{i+1}^* - z_i^*}{z_{i+1} - z_i} \right) \cos \left(\frac{(i-1)2\pi}{N_mag} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\pi}{N_mag} + (\pi + \pi \cdot \text{sign}(1 - (-1)^{-1})) \right) \right] + \\ + j \left[\left(\frac{z_{i+1}^* - z_i^*}{z_{i+1} - z_i} - 1 \right) \sin \left(\frac{(i-1) \cdot 2\pi}{N_mag} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\pi}{N_mag} + (\pi + \pi \cdot \text{sign}(1 - (-1)^{-1})) \right) \right].$$

Картина магнитного поля дополнительных полюсов в относительных единицах при $\frac{\mu_0 J}{4\pi} = 1$ изображена

на рис. 2.

Результирующая картина поля (рис. 3) построена на основе принципа суперпозиций.

Пондеромоторная сила определялась в декартовой системе координат по формуле [3]

$$\vec{F} = \frac{1}{2} J_s \left(\frac{\partial B_x}{\partial x} \cos \gamma + \frac{\partial B_y}{\partial x} \sin \gamma \right) \times \\ \times \vec{i} + \frac{1}{2} J_s \left(\frac{\partial B_x}{\partial y} \cos \gamma + \frac{\partial B_y}{\partial y} \sin \gamma \right) \vec{j}, \quad (3)$$

где \vec{F} - вектор удельной пондеромоторных силы, N/m^3 ; γ - угол между вектором магнитной индукции и вектором намагниченности флоккулы; J_s - намагниченность флоккулы, A/m .

Затем силы преобразовывались в цилиндрическую систему координат.

В первом варианте расчета принято, что магниты основных и дополнительных полюсов выполнены из одного и того же материала.

Для основной магнитной системы и магнитных вставок рассчитаны и построены радиальные и тангенциальные составляющие пондеромотор-

ной силы в цилиндрической системе координат на внешней поверхности барабана в относительных единицах $\frac{\mu_0 J \cdot J_s}{4\pi} = 1$ (рис. 4).

Графики показывают, что радиальная сила в относительных едини-

цах увеличилась с 1,69 до 2,421, т.е. в 1.433 раза. В тоже время колебания результирующей силы уменьшились.

На рис. 5 показаны графики изменения тангенциальных составляющей сил.

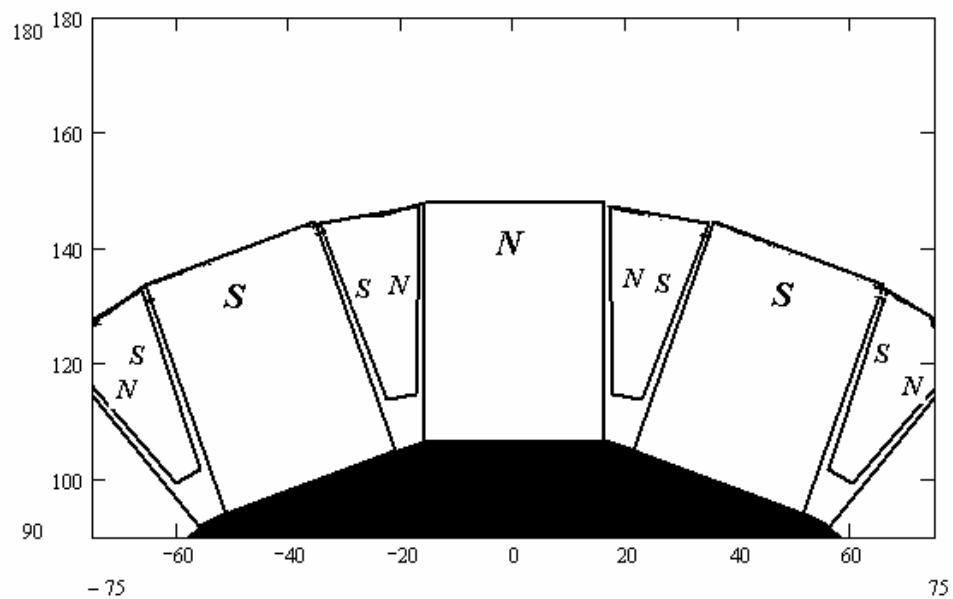


Рис. 1. Схема магнитной системы с дополнительными полюсами

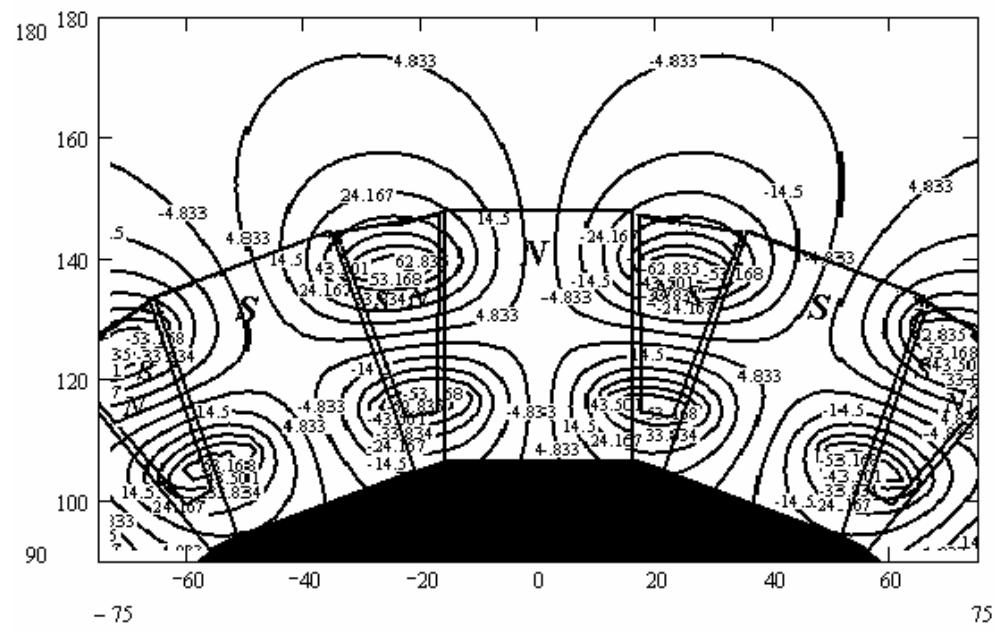


Рис. 2. Картина магнитного поля дополнительных полюсов

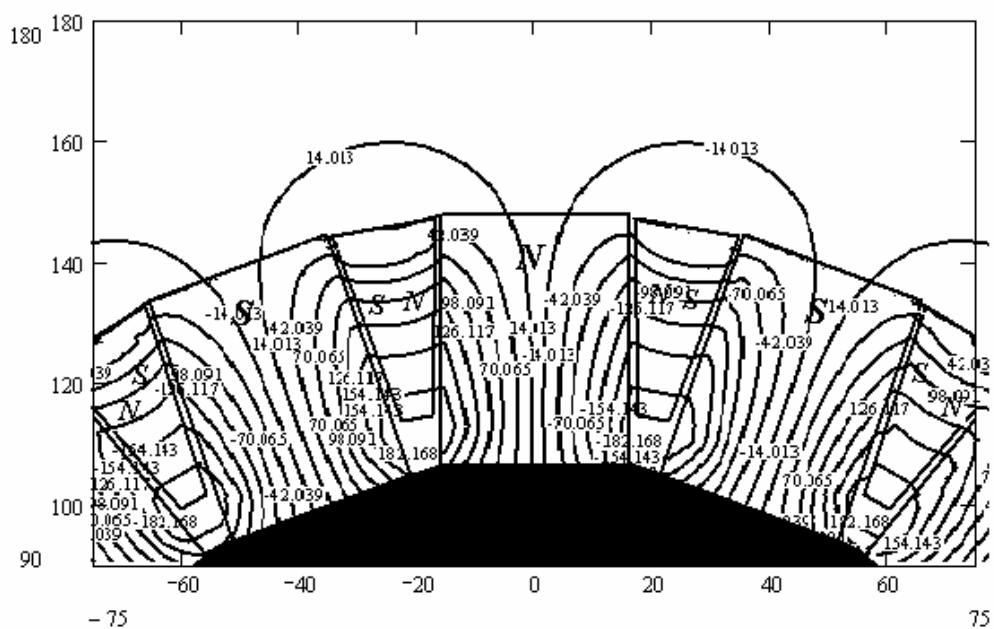


Рис. 3. Картина результирующего магнитного поля

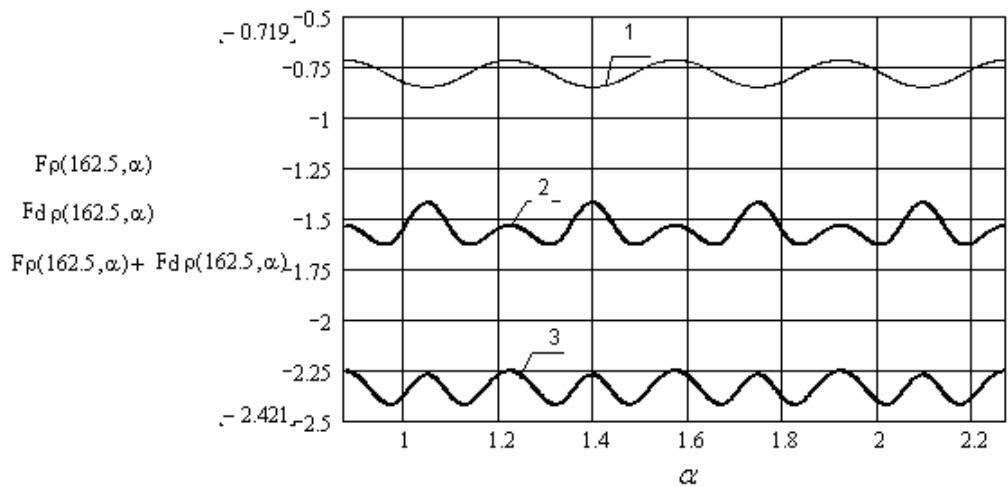


Рис. 4. Графики радиальных составляющих пондеромоторных сил магнитных вставок: 1 - пондеромоторная сила магнитных вставок, 2 - пондеромоторная сила основных полюсов, 3 - результирующая пондеромоторная сила

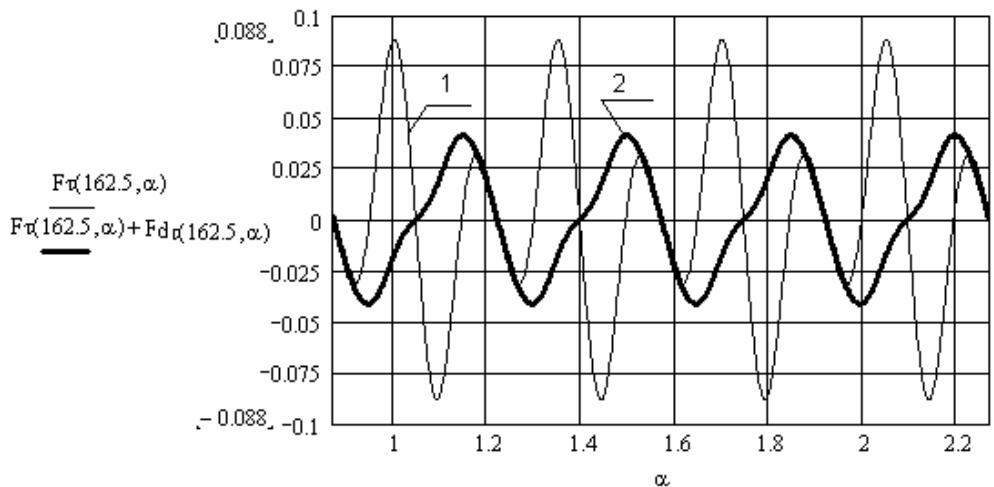


Рис. 5. Графики тангенциальных составляющих пондеромоторных сил: 1 - пондеромоторная сила магнитных вставок, 2 - результирующая пондеромоторная сила

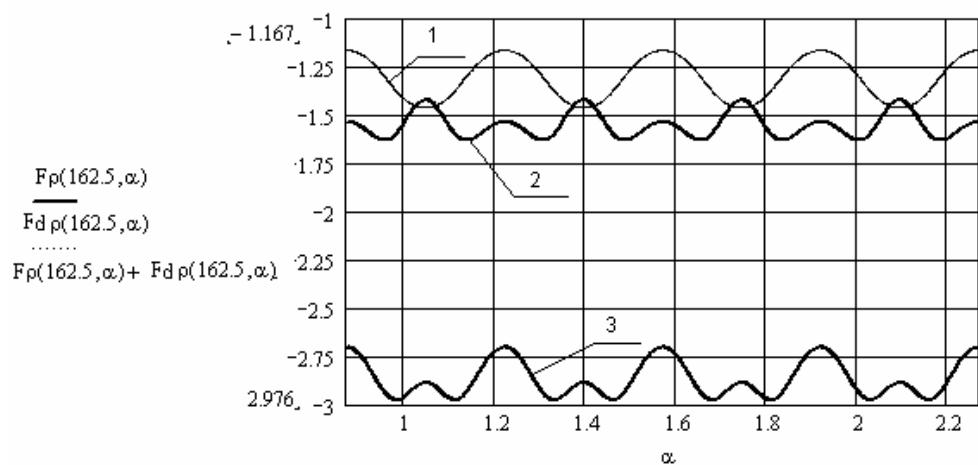


Рис. 6. Графики радиальных составляющих пондеромоторных сил с магнитными вставками: 1 - пондеромоторная сила магнитных вставок, 2 - пондеромоторная сила основных полюсов, 3 - результирующая пондеромоторная сила

Из графиков рис. 5 видно, что тангенциальная составляющая уменьшилась приблизительно в два раза, что, безусловно, уменьшит возможность движение флоккул по барабану.

Во втором варианте принято, дополнительные полюса выполнены из

материала с намагниченностью в полтора раза больше, чем основные полюса. Для этого варианта построены графики изменения сил по внешней поверхности барабана (рис. 6 и 7).

В данном случае радиальная сила увеличилась до 2,976. Колебания

максимального значения результирующей силы незначительно увеличилось. Тангенциальная составляющая силы стала равной этой же состав-

ляющей основных полюсов. В качестве примера можно привести серийные сепараторы типа ПБМ без вставок и с клиновыми вставками (рис. 6).

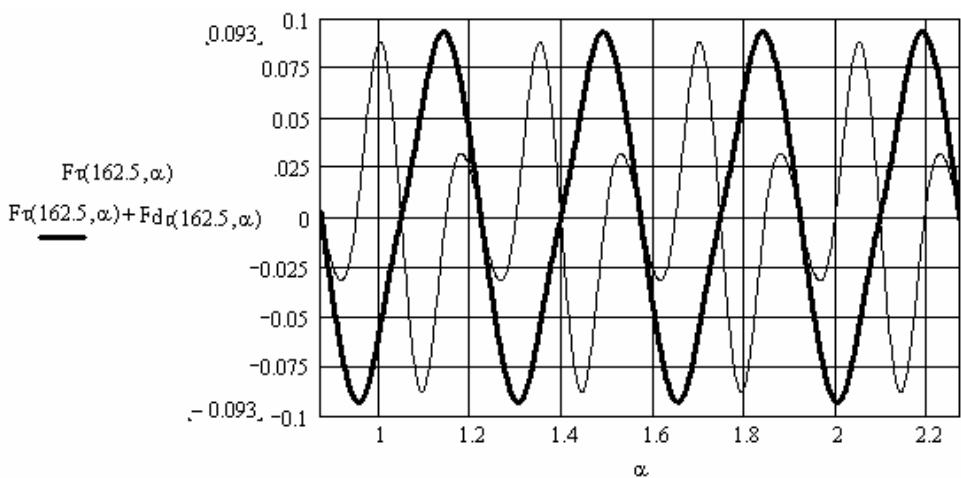


Рис. 5. Графики тангенциальных составляющих пондеромоторных сил с магнитными вставками

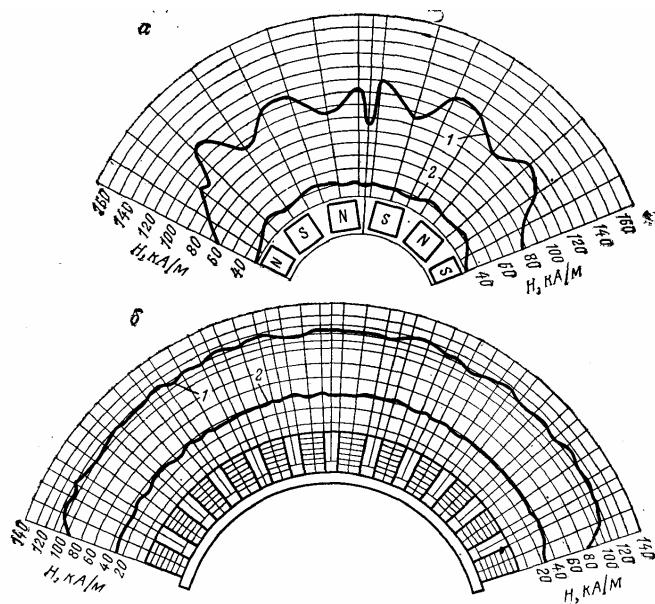


Рис. 6. Распределение напряженности магнитного поля сепараторов ПБМ-90/250 (а) и ПБМ-120/300 (б): 1, 2 – соответственно на поверхности барабана и на расстоянии 0,05 м от поверхности барабана

Исследование пондеромоторных сил для различного содержания магнетита в частицах показали, что при

малых содержаниях магнетита усиление поля незначительно, а при больших содержаниях напряженность по-

ля на поверхности барабана резко возрастает.

По результатам исследований круговых магнитных систем с клиновыми магнитными вставками могут быть сделаны следующие выводы:

1. Разработаны аналитические методики расчета картин магнитных полей, полей магнитных индукций и пондеромоторных сил барабанного сепаратора на постоянных магнитах с магнитными вставками.

2. Построены картины магнитного поля вставок и результирующего магнитного поля.

3. Построены графики пондеромоторных сил на внешней поверхности барабана.

4. При выбранной конфигурации магнитной системы и магнитных вставок радиальные составляющие пондеромоторной силы увеличилась в 1.433 раза, а тангенциальная составляющая этой силы уменьшилась приблизительно в два раза, что, безусловно, уменьшит возможность движение флоккул по барабану.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Епугаев Г.А. Основы аналитической теории взаимодействия минералов с полем сепаратора на постоянных магнитах. - Владикавказ, РИА, 1999.

2. Ковалев Р.В. "Исследование магнитных полей барабанного сепаратора на по-

стоянных магнитах" Горный информационно-аналитический бюллетень. № 1, М. 2007.

3. Кармазин В.В., Ковалев Р.В., Епугаев Г.А. Исследование магнитных полей сил барабанного сепаратора на постоянных магнитах" Горный информационно-аналитический бюллетень. № 12, М. 2006. ГИАБ

Коротко об авторах

Кармазин В.В. – академик МИА и РАЕН, профессор, доктор технических наук, Московский государственный горный университет,

Синельникова Н. Г., Логинова Л. А. – аспиранты, Московский государственный горный университет,

Епугаев Г.А. - профессор, доктор технических наук, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ),

Данилова М.Г. – доцент, кандидат технических наук, филиал Московского института стали и сплавов.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.М. Авдохин.

