

Решение этой важной народно-хозяйственной проблемы представляет собой одну из триумфальных вех достижений науки Украинского Донбасса в развитии фундаментальной теории прикладной механики XX века.

Список источников

1. Гаркуша Н.Г., Дворников В.И. Уравнения движения шахтного подъёмного сосуда, как одномерной упругой конструкции. «Прикладная механика», т.V, вып.12, Киев, 1969., с.125-128.
2. Гаркуша Н.Г., Дворников В.И. Рациональный выбор параметров подъёмных сосудов и жёстких армировок вертикальных стволов. «Шахтное строительство», №1, Москва 1968, с.12-16.
3. Гаркуша Н.Г., Бережинский В.И. и др. (под ред Б.Ф. Братченко). Стационарные установки шахт

УДК 622.621.928.8

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАХВАТА ПАРАМАГНИТНЫХ ПРИМЕСЕЙ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ШАРИКОВЫМИ НАСАДКАМИ В МАГНИТНЫХ ФИЛЬТРАХ ПРИ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ НАПРАВЛЕНИИ ПОТОКА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Горобец С.В. канд. техн. наук, Украинский государственный университет пищевой промышленности

В настоящее время широкое распространение получили магнитные фильтры (сепараторы) с различными ферромагнитными насадками (шары, стружка, вата из приволоки и т.п.) [1, 2]. При конструировании магнитных фильтров с ферромагнитными насадками направление внешнего магнитного поля фильтра ( $\vec{H}_0$ ) обычно выбирают перпендикулярным либо параллельным по отношению к потоку рабочей жидкости ( $\vec{V}_0$ ).

Многочисленные эксперименты [3] показали, что при направлении потока модельной жидкости перпендикулярно направлению внешнего магнитного поля ( $\vec{H}_0 \perp \vec{V}_0$ ) примеси оседают на высокоградиентную насадку с двух сторон, вытягиваясь по направлению внешнего магнитного поля. Сначала, оседающие на насадку парамагнитные примеси образуют конус, затем цилиндр. Когда процесс улавливания прекращается, на ферромагнитной насадке образуются вытянутые по направлению внешнего магнитного поля кластеры в виде трапеции со сглаженными углами (рис.1). Та же картина наблю-

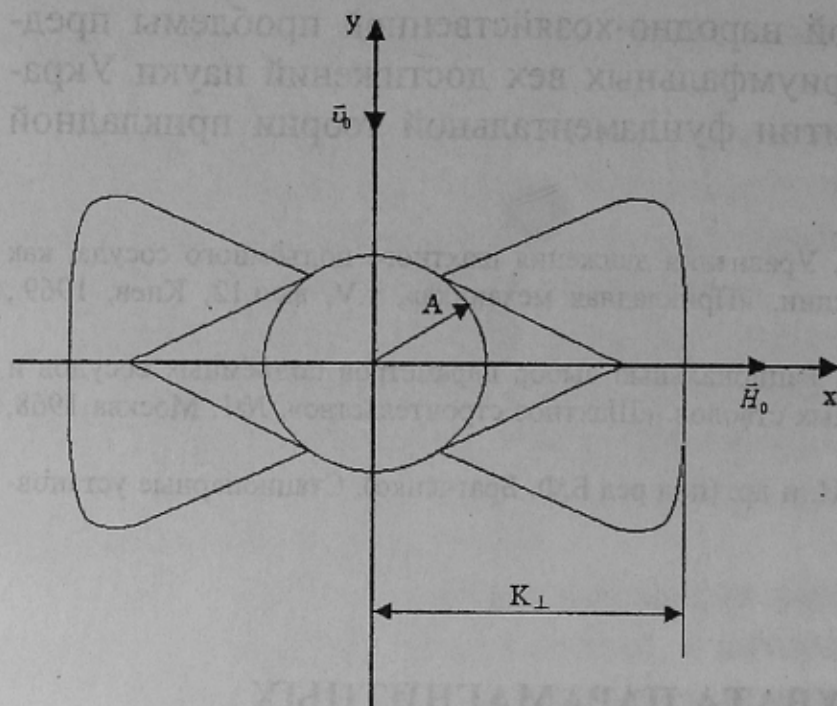


Рисунок 1 - Формирование кластеров уловленных парамагнитных частиц  $K_{\perp}$  при  $H_0 \perp V_0$  в окрестности ферромагнитной насадки радиуса  $A$

ну улавливающей частицы уже очищенным. Конфигурации и размеры кластеров уловленных парамагнитных примесей ферромагнитной частицей незначительно отличаются для параллельного и перпендикулярного потока жидкости относительно направления внешнего магнитного поля при прочих равных параметрах системы, но размеры областей улавливания (захвата) при перпендикулярном направлении потока жидкости относительно направления внешнего магнитного поля отличаются значительно, следовательно, фильтр, созданный на таком принципе, будет иметь другие параметры.

В связи с этим представляет интерес теоретический расчет областей улавливания парамагнитных примесей в зависимости от параметров фильтра, рабочей жидкости и примесных частиц при взаимно перпендикулярных направлениях внешнего магнитного поля фильтра и потока рабочей жидкости.

Аналогично работе [4] для определения областей улавливания парамагнитных примесей в зависимости от параметров фильтра, рабочей жидкости и улавливаемых частиц при перпендикулярном направлении внешнего магнитного поля фильтра и потока рабочей жидкости было решено уравнение движения неферромагнитной час-

дается и в случае, когда направление потока модельной жидкости и внешнего магнитного поля совпадают. Отличие состоит в том, что, в этом случае, парамагнитные примеси улавливаются только с одной стороны - со стороны, обращенной навстречу потоку жидкости. Это объясняется тем, что при данных параметрах жидкости и выбранной скорости образуется ламинарный поток, который попадает на другую сторо-



тицы в окрестности элемента ферромагнитной насадки фильтра (ферромагнитного шарика диаметром от нескольких микрон до сотен микрон).

$$\vec{V} = C \cdot \text{grad}H^2 + \vec{V}_0 \quad (1)$$

где  $\vec{V}$  - скорость движения неферромагнитной частички в жидкости;

$\vec{V}_0$  - скорость движения жидкости;

$$C = \frac{\chi V_{\text{нф}}}{6\pi\eta b},$$

$\chi$  - восприимчивость неферромагнитной примеси;

$\eta$  - вязкость рабочей жидкости;

$b$  - радиус неферромагнитной примесной частицы;

$V_{\text{нф}}$  - объем неферромагнитной частицы, равный  $\frac{4}{3}\pi b^3$ ;

$\vec{H}$  - суммарное магнитное поле, равное  $\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}_r$ ,

$\vec{H}_0$  - внешнее магнитное поле,

$\vec{H}_r$  - магнитное поле создаваемое улавливающей частицей.

Считая, что улавливающая частица обладает магнитным моментом  $\vec{m}$  и полагая, что магнитное поле ферромагнитной частички имеет дипольный характер, запишем:

$$\vec{H}_r = \frac{3\vec{r}(\vec{m}\vec{r})}{r^5} - \frac{\vec{m}}{r^3}$$

где  $\vec{m} = V_{\text{ф.м}} \cdot \vec{M}$

$\vec{m}$  - магнитный момент ферромагнитной частицы;

$r$  - радиус-вектор;

$\vec{M}$  - намагниченность ферромагнитной частицы;

$V_{\text{ф.м}}$  - объем ферромагнитной частицы.

Выберем систему координат так, чтобы скорость движения была направлена вдоль оси Z, а внешнее магнитное поле  $\vec{H}_0$  вдоль оси X, тогда система уравнений (1) запишется в виде:

$$(1) \quad \begin{cases} V_x = C \frac{dH^2}{dx} \\ V_y = C \frac{dH^2}{dy} \\ V_z = C \frac{dH^2}{dz} + V_0 \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} H^2 &= H_0^2 + \frac{9(\bar{m}\bar{r})}{r^8} + \frac{m^2}{r^6} + \frac{6(\bar{H}_0\bar{r})(\bar{m}\bar{r})}{r^5} - \frac{6(\bar{m}\bar{r})^2}{r^8} - \frac{2(\bar{H}_0\bar{m})}{r^3} = \\ &= H_0^2 + \frac{9m^2x^2}{r^8} + \frac{m^2}{r^6} + \frac{6H_0mx^2}{r^5} - \frac{6m^2x^2}{r^8} - \frac{2H_0m}{r^3} \end{aligned}$$

Полученные в результате численного решения уравнения (3) данные показали, что области улавливания парамагнитных примесей в случае, когда внешнее магнитное поле фильтра перпендикулярно потоку рабочей жидкости значительно отличаются от областей улавливания для случая, когда внешнее магнитное поле фильтра параллельно потоку рабочей жидкости, что видно из рис.2, 3.

Данные приведены для следующих параметров системы  $\bar{H}_0 = 300$  А/м;  $\bar{V}_0 = 100$  мкм/с;  $\chi = 135 \cdot 10^{-6}$ ;  $b = 1,5$  мкм;  $\eta = 12 \cdot 10^2$  мкм<sup>3</sup>/с.

Из рис. 2, 3 видно, что области захвата парамагнитных примесей при  $H_0 \perp V_0$  больше области захвата примесей при  $H_0 \parallel V_0$  где-то на радиус улавливающей ферромагнитной частицы (насадки) при прочих равных параметрах системы. Полученные теоретические данные хорошо согласуются с экспериментальными данными [3].

На рис.4 приведены размеры областей захвата ( $Z_{\parallel}$  и  $Z_{\perp}$ ) для различных восприимчивостей улавливаемых примесей, данные также хорошо согласуются с экспериментальными данными [3].

При этом необходимо отметить, что конфигурация области захвата парамагнитных примесей ферромагнитной насадкой при  $H_0 \perp V_0$  аналогична конфигурации области захвата диамагнитных примесей ферромагнитной насадкой [4].

Полученные в работе расчеты областей захвата парамагнитных примесей в окрестности ферромагнитных частиц позволяют рассчитывать параметры ферромагнитных насадок сферической формы при



проектировании магнитных фильтров, а также учитывать полученные данные при разработке магнитных сепараторов.

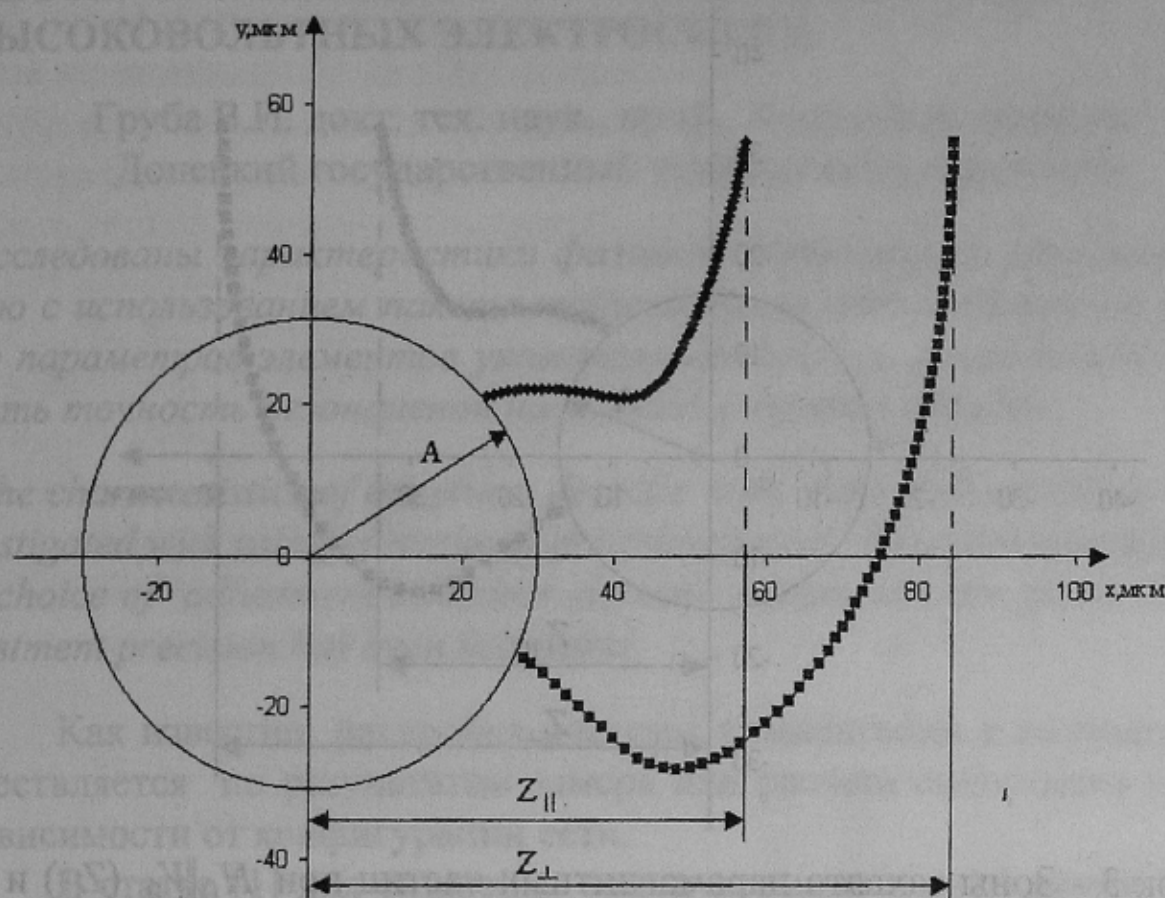


Рисунок 2 - Зоны захвата парамагнитных частиц при  $H_0 \parallel V_0$  ( $Z_{||}$ ) и при  $H_0 \perp V_0$  ( $Z_{\perp}$ ) ферромагнитной насадкой радиуса  $A=30$  мкм

#### Список источников.

1. Карамзин В.В., Николаев К.В., Грамм В.А. Выбор оптимальной конструкции магнитоносителей высокоинтенсивных магнитных сепараторов и методика расчета их параметров // Известия ВУЗов. Цв. металлургия. -1989.-№3, С.11-16.
2. Сандуляк А.В. Магнитные свойства пористых насадок электромагнитных фильтров // Энергетика и электрификация. -1982.-3№, С.12-15.
3. Горобец С.В., Пименов Ю.Н. Установка для визуализации и исследования процессов взаимодействия высокоградиентных насадок магнитных фильтров с неферромагнитными частицами // Наука производству. -1998.-№4.-С.28-31.
4. Горобец С.В. Зависимость эффекта коагуляции ферромагнитных и неферромагнитных примесей в магнитном поле от параметров фильтров, рабочих жидкостей и примесных частиц // Известия ВУЗов. Машиностроение, 1991, №1-3, С.133-137.

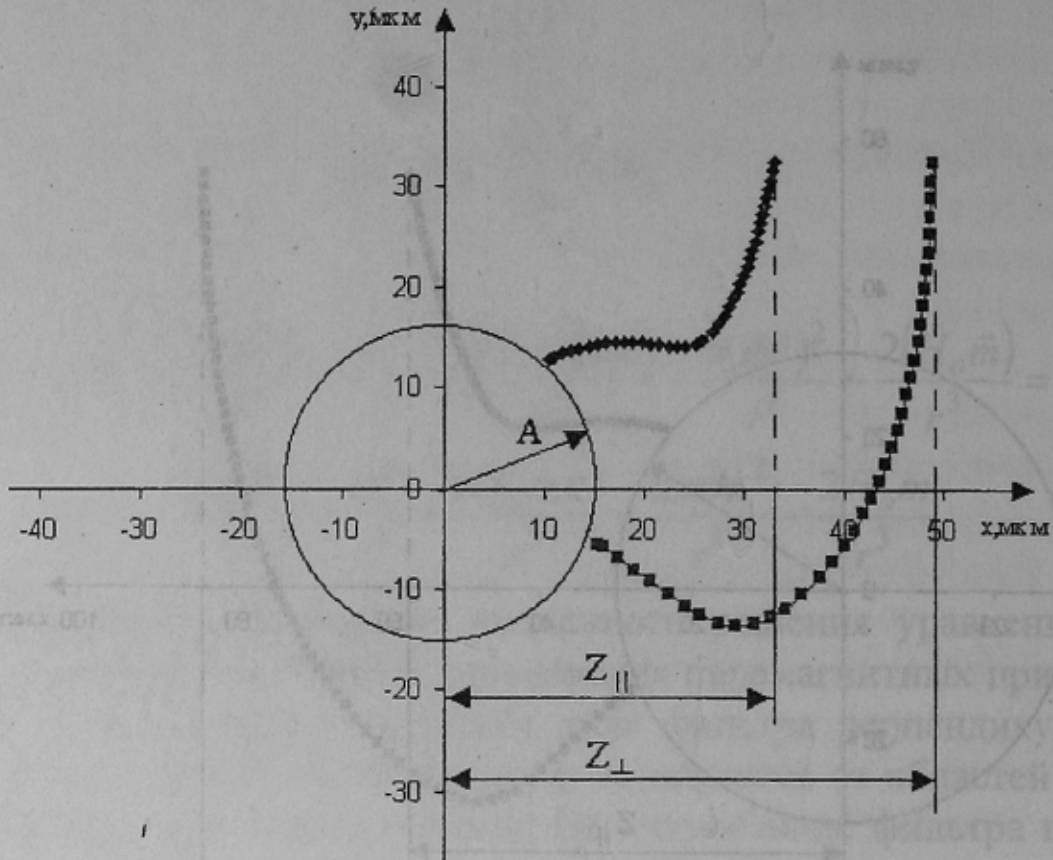


Рисунок 3 - Зоны захвата парамагнитных частиц при  $H_0 \parallel V_0$  ( $Z_{||}$ ) и при  $H_0 \perp V_0$  ( $Z_{\perp}$ ) ферромагнитной насадкой радиуса  $A=15 \mu\text{m}$

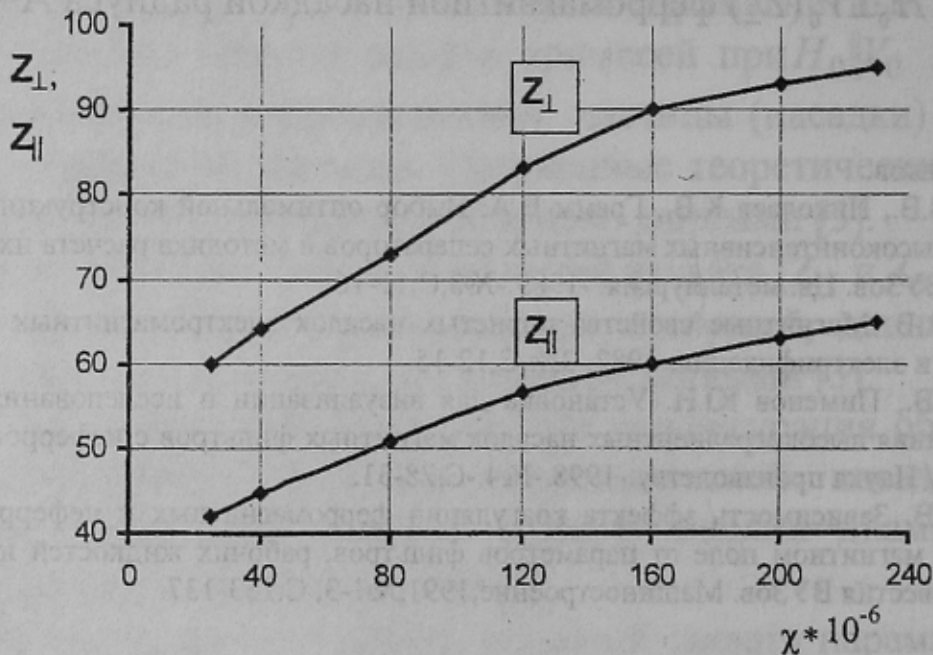


Рисунок 4 - Размеры областей захвата ( $Z_{||}$  и  $Z_{\perp}$ ) для различных восприимчивостей ( $\chi$ ) улавливаемых примесей