

УДК 629.33.02.004.67:621.895

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ В МАГНИТНЫХ ОТСТОЙНИКАХ

Гулевский В.Б., к.т.н., доцент

Таврический государственный агротехнологический университет

Кузнецов И.О., к.т.н., доцент

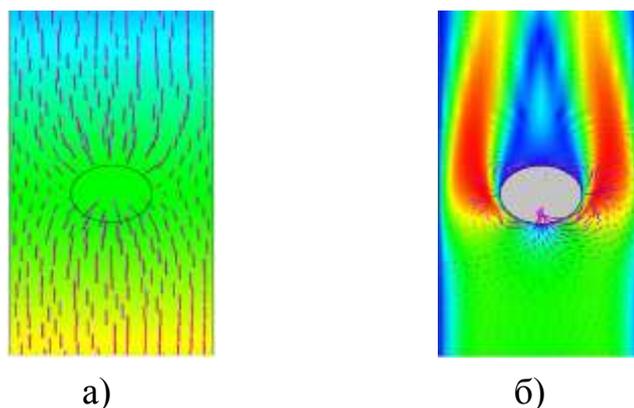
ЮФ НУБиП Украины «Крымский агротехнологический университет»

*Работа посвящена вопросам совершенствования электротехнологических систем, использующие пондеромоторные силы магнитного поля и предназначенные для извлечения ферромагнитных тел из технических жидкостей.*

*Ключевые слова: отстойник, механические примеси, технические жидкости.*

**Введение.** Процесс осаждения механических примесей достаточно хорошо изучен и успешно используется для очистки технических в отстойниках [1,2]. Несмотря на это, прогнозирование работы отстойников при их проектировании, в особенности при осаждении неоднородных взвесей, применяется недостаточно широко. Это объясняется сложностью математического описания процесса осаждения, зависящего от большого числа взаимодействующих факторов: концентрации механических примесей и показателей их осаждения, характера потока жидкости внутри отстойника и др. Использование математических моделей, основанных на единственном параметре (например, времени пребывания механических примесей в отстойнике) отражает только средние показатели работы отстойника и дает лишь качественное представление о процессе.

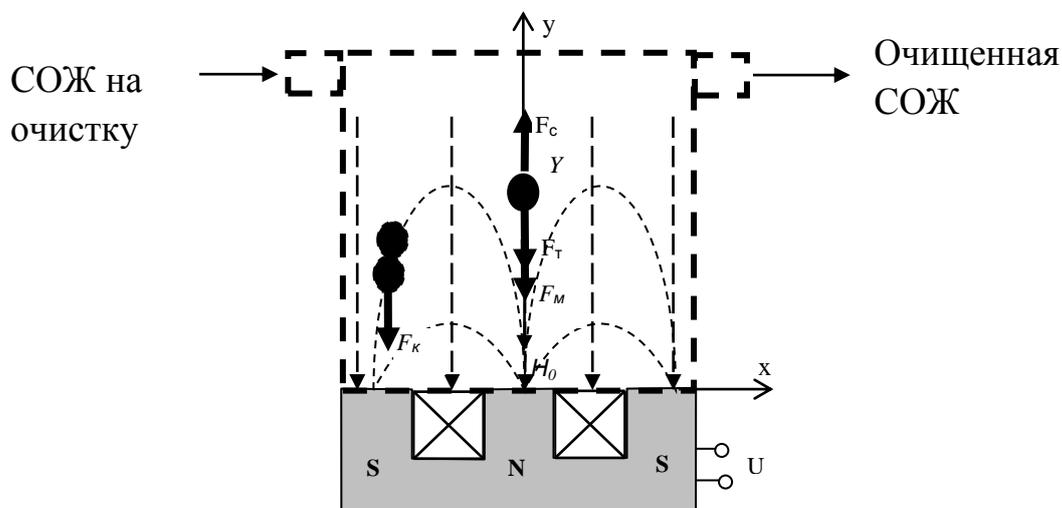
**Анализ последних исследований и публикаций.** Для расчета необходимой силы извлечения, обеспечивающей попадание некоторого извлекаемого тела на поверхность полюсной системы отстойника в процессе извлечения, необходимо решить сложную динамическую задачу о движении частицы через жидкую среду (рис. 1). Ниже приведен краткий анализ существующей информации по извлечению частиц механических примесей из технических жидкостей [4].



**Рис. 1. Взаимодействие жидкости с частицами во внешнем магнитном поле: а) векторы – напряженность магнитного поля; б) векторы – силы, действующие на частицу**

Поскольку извлечение частицы представляет собой динамический процесс, то в основу расчета такого движения может быть положено уравнение динамики по второму закону Ньютона.

На частицу, которая движется в потоке вязкой немагнитной жидкости по оси  $y$  под воздействием магнитного поля, кроме силы сопротивления среды  $F_c$ , действуют силы тяжести и Архимеда  $F_T$ , магнитного поля  $F_M$ , магнитной коагуляции  $F_k$  (рис. 2).



**Рис. 2. Силы, действующие на частицу в рабочей зоне отстойника:  $F_c$  – сила сопротивления среды, Н;  $F_T$  – сила тяжести, Н;  $F_M$  – сила магнитного поля, Н;  $F_k$  – сила коагуляции, Н;  $Y$  – расстояние от поверхности полюса, м;  $H_0$  – напряженность на полюсе системы, А/м.**

Если составить и решить уравнение, включающее воздействующие силы, то можно получить траекторию движения частицы, которая дает представление об извлечении частиц:

$$\frac{d}{dt}(m\bar{v}_y) = \bar{F}_c + \bar{F}_T + \bar{F}_M + \bar{F}_k, \quad (1)$$

где  $m$  - масса частицы, кг;  $\bar{v}_y$  - скорость частицы, м/с.

По мнению некоторых авторов [4, 5] такой подход к решению, без оценки каждой из сил приводит к неоправданному усложнению и получению громоздких уравнений. При этом исключается возможность вывода итоговых уравнений, характеризующих магнитный захват частиц, в аналитическом виде, а также уравнений, удобных в инженерных расчетах.

**Цель исследования.** Движение магнитных частиц в магнитном поле отстойника включает в себя параметры статики, а также скорость, траекторию и время перемещения частиц по вертикали и горизонтали. Такая модель, как правило, универсальна и наиболее полно учитывает законы и закономерности явлений и процесса в целом, поэтому в работе представлен подробный алгоритм ее состава и численного анализа применительно к конкретным условиям разработки и проектирования устройств и систем.

**Результаты исследования.** Задача модели движения частиц рассматривается при следующих допущениях: частицы магнитные, имеют форму шара, находятся в магнитном поле в вязкой среде.

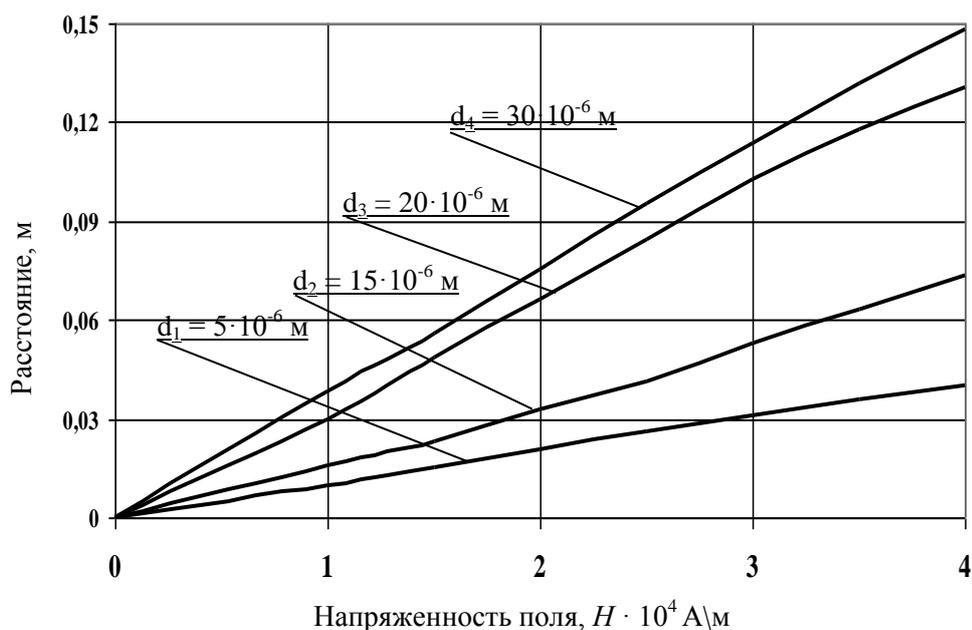
Общее математическое уравнение извлечения частиц в магнитном отстойнике будет состоять из выражений, описывающих отдельные движения. Применительно к конкретной системе, создающей магнитное поле, уравнение (2) в дифференциальной форме, записанное относительно скорости  $v_y$  и траектории (пути)  $Y$ , примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\bar{v}_y}{dt} &= \frac{(18 \cdot \eta_c)}{d_c^2 \cdot \rho_c} + \mu_0 \cdot \frac{\chi}{\rho_c} \cdot \frac{\pi}{s_n} \cdot (H_0)^2 \cdot e^{-\frac{2\pi Y}{s}} \\ \frac{dY}{dt} &= v_y. \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

с начальными условиями: при  $t = 0$ ;  $t(0) = 0$ ;  $v_y(0) = 0$ ;  $Y(0) = Y$ .

С целью определения скорости  $v_y$  времени притяжения  $t_{пр}$  частиц к полюсам магнитной системы, система уравнений (2) решались численным методом на ПЭВМ, при варьировании размерами частиц  $d_c$  и напряженности магнитного поля  $H$ .

Анализ полученных данных позволяет установить результирующую зависимость притяжения единичных частиц к полюсу магнитной системы от изменения напряженности  $Y = f(H)$  (рис.3).



**Рис. 3. Результирующая зависимость притяжения частиц к полюсу магнитной системы при изменении напряженности поля,  $H$ ,  $A/m$**

Полученная зависимость показывает, что с уменьшением диаметра частицы  $d_c$  уменьшается высота извлечения  $Y$ , т. е. при одном и том же значении напряженности  $H$  магнитного поля, необходима различная высота  $h$  отстойника для извлечения частиц разного диаметра, при этом частицы большего диаметра извлекнутся с большей высоты.

**Выводы.** На основании теоретических исследований с помощью математической модели извлечения частиц установлена зависимость, определяющая основные динамические характеристики осаждения частиц под действием магнитного поля. Она определяет траекторию перемещения частицы  $Y$  в отстойнике к полюсу магнитной системы, время притяжения частицы  $t_{np}$  и скорость ее осаждения  $v_c$ , в зависимости от параметров системы извлечения извлекаемых частиц (размер  $d_c$ , магнитная восприимчивость  $\chi$ , плотность  $\rho_c$ ) и технических жидкостей (динамическая вязкость  $\eta_c$ , плотность  $\rho_c$ );

#### Список использованных источников

1. Henze M. Wastewater Treatment / М. Henze, Р. Harremoes, С. Jansen, Е. Arwin // Springer. – Berlin, New York, 2002 – Р. 430.
2. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П.Г. Киселева. - М.: Энергия, 1974. - 392 с.
3. Просвирнин В.И. Очистка технических жидкостей в магнитных отстойниках / В.И. Просвирнин, Е.П. Масюткин, В.Б. Гулевский // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Мелітополь, 2004.- Вип. 24.- С. 39-47.
4. Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле / А.В. Сандуляк. - Львов: Вища школа, 1984. - 167 с.

5.Бондаренко Г.И. Расчет эффективности магнитного фильтра с шаровым наполнением / Г.И. Бондаренко, В.Г. Мадьяров // Изв. вузов. Энергетика.-1977.-№ 4.- С.13-18.

**Гулевський В.Б., Кузнецов І.О.**  
**Математичні моделі динаміки часток у магнітних відстійниках**

Робота присвячена питанням вдосконалення електротехнологічних систем, які використовують пондеромоторні сили магнітного поля та призначені для вилучення ферромагнітних часток з технічних рідин: відстійник, механічні домішки, технічні рідини.

**Ключові слова:** відстійник, механічні домішки, технічні рідини.

**Gulevskiy V.B., Kuznetsov I.O.**  
**Mathematical models of dynamics of particles in the magnetic purifiers**

Work is sanctified to the questions of perfection of the electro-technological systems of extraction of ferromagnetic bodies from technical liquids: purifier, mechanical admixtures, technical liquids.

**Keywords:** sump, mechanical impurities, liquid waste.