

## ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ И ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ

УДК 631.362

В.И. Чарыков, С.А. Соколов, А.И. Яковлев

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР УМС-3М: ОТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДО КОНСТРУКЦИИ

В статье приведен пример математического моделирования процесса очистки жидких (мокрых) продуктов от металлических примесей в неоднородном магнитном поле рабочей зоны сепаратора УМС-3М. Приведены конструкция сепаратора и его технические характеристики.

**Ключевые слова:** моделирование, магнитное поле, сепаратор, металлические примеси, конструкция.

V.I. Charykov, S.A. Sokolov, A.I. Yakovlev

### ELECTROMAGNETIC SEPARATOR UMS-3M: FROM THE MATHEMATICAL MODEL TO THE CONSTRUCTION

The example of the mathematical modeling of the process of the liquid (wet) product cleaning from the metal admixtures in the non-uniform magnetic field of the UMS-3M separator working zone is given in the article. The construction of the separator and its technical characteristics are presented.

**Key words:** modeling, magnetic field, separator, metal admixtures, construction.

**Введение.** Строительство подстанций, линий электропередач высокого и низкого напряжений для нужд народного хозяйства требует большого количества высококачественных электроизоляционных материалов, обладающих повышенными электрическими и механическими свойствами.

В наибольшей степени этим высоким требованиям соответствует фарфор, считающийся наилучшим электроизоляционным материалом. При применении его с этой целью единственное препятствие – трудность в обогащении составляющих фарфора.

Исследованиями установлено, что частицы железа создают на поверхности черепка мушку размером в 5 раз больше, а внутри черепка – в 3 раза больше первоначальных размеров частиц [1].

В технологической схеме по производству электротехнического фарфора магнитная сепарация производится дважды: после воздушного сепаратора, а также после процеживания шликера (устойчивая суспензия) [2].

Для очистки шликера применяют магнитные и электромагнитные сепараторы. По сравнению с традиционными методами очистки (кислотным, щелочным, адсорбционным, контактным, ионообменным) магнитный метод более прост. Он не требует реагентов, имеет в 2–5 раз большую скорость очистки.

**Принцип очистки.** Шликер течет тонким слоем  $h$  вдоль наклонного желоба сепаратора (рис.1) длиной  $\ell$  и шириной  $a$ . В желобе при помощи концентраторов создается неоднородное магнитное поле. Эффективность сепарации зависит от скорости течения жидкости и магнитного поля желоба. Критерий эффективности выражается в следующем виде:

$$t_1 < t_2, \quad (1)$$

где  $t_1$  – время притяжения частиц, с;

$t_2$  – время нахождения частицы в желобе при движении ее вдоль оси  $OX$  на расстояние  $\ell$ , с.

Для использования критерия (1) необходимо знать закон движения частицы вдоль осей  $OX$  и  $OY$ .

*Движение частицы вдоль оси  $OX$ .* При установившемся режиме через любое поперечное сечение желоба с поперечным сечением  $S = ha$  за одну секунду будет протекать одно и то же количество шликера

$$Q = \rho_{жс} SV = \rho_{жс} haV, \quad (2)$$

где  $\rho_{жс}$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V$  – скорость течения масла, м/с.

Так как длина желоба равна  $\ell$ , то время нахождения частицы в желобе при движении ее вдоль оси  $OX$  будет

$$t_2 = \frac{\ell}{V} = \frac{\rho_{жид} ha \ell}{Q}. \quad (3)$$

*Движение частицы вдоль оси  $OY$ .* При движении частицы вдоль оси  $OY$  на частицу действуют две силы: магнитная сила, создаваемая магнитным полем в желобе и на концентраторах, и сила сопротивления движению частицы, создаваемая продуктом. Всем реальным жидкостям присуща вязкость или, другими словами, внутреннее трение. Вязкость проявляется в том, что возникшее в жидкости движение после прекращения действия причин, его вызвавших, постепенно прекращается. Опытами установлено, что при малых числах Рейнольдса  $Re$ , т.е. при небольших скоростях движения, сопротивление среды можно определить с помощью формулы Стокса

$$F_c = 6\pi \eta r_r v, \quad (4)$$

где  $r_r$  – характерный для поперечного сечения тела размер. Для тела круглой формы, т.е. для шара  $r_r$  – радиус шара, м;

$v$  – скорость движения тела в жидкости, м/с.

При движении частицы вдоль оси  $OY$  на нее, кроме силы сопротивления среды, действуют еще сила тяжести частицы и архимедова сила, равная

$$f' = V_r (\rho_r - \rho_{жид}) g, \quad (5)$$

где  $V_r$  – объем частицы, м<sup>3</sup>;

$\rho_r$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{жид}$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения тела,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Магнитная сила, действующая на частицу, помещенную в магнитное поле, определяется исходя из знания потенциальной энергии [3]

$$F_m = -grad W, \quad (6)$$

где  $W$  – потенциальная энергия, Дж.

Потенциальная энергия магнитного поля, действующая на частицу объемом  $V$ , определяется по следующей формуле [3]:

$$W = \frac{V_r B^2}{2\mu_0\mu} \quad (7)$$

где  $V_r$  – объем частицы, находящейся в магнитном поле, м<sup>3</sup>;

$B$  – магнитная индукция, Тл;

$\mu_0$  – магнитная постоянная вакуума, Гн/м;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость масла, Гн/м.

С учетом формулы (7) магнитная сила, действующая на частицу в магнитном поле, определяется следующим выражением:

$$F_m = -grad W = -grad \frac{V_r B^2}{2\mu_0\mu} = -\frac{V_r}{2\mu_0\mu} grad B^2. \quad (8)$$

Значение магнитной силы, действующей в направлении оси  $OY$

$$F_m = -\frac{V_r}{2\mu_0\mu} \frac{dB^2}{dy} = -\frac{V_r B}{\mu_0\mu} \frac{dB}{dy}. \quad (9)$$

В окончательном виде дифференциальное уравнение, описывающее движение частицы, имеет вид

$$\ddot{y} + \frac{6\pi r_r \eta}{m} \dot{y} + \frac{V_r \Delta B (B_{max} + \Delta B)}{m\mu_0\mu d_n^2} y = \frac{V_r \Delta B B_{max}}{m\mu_0\mu d_n} + \frac{V_r (\rho_r - \rho_{жид}) g}{m}. \quad (10)$$

Решение уравнения (10) легло в основу создания электромагнитного сепаратора УМС-3М.

Установка для мокрой магнитной сепарации УМС-3М предназначена для удаления металлических включений из суспензии, глазури, шликера и других жидких материалов. Общий вид установки УМС-3М представлен на рисунке 1.

Сепаратор содержит основание 1, лоток 2, под которым смонтирован магнитный блок 3, включающий 12 электромагнитов, содержащих магнитопроводы 4, катушки намагничивания 5 и постоянные магниты 10. Лоток 2 вместе с магнитным блоком 3 с одной стороны шарнирно укреплен с помощью оси 6 на стойке основания 1, а с другой стороны – опирается на выдвижной шток 7. Угол наклона лотка может регулироваться.

Катушки намагничивания 5 монтируются на П-образном магнитопроводе 4, который винтами 8 плотно поджимается к лотку 2. Для распределения магнитного потока по поверхности лотка имеются полюсные наконечники. Сепаратор выполнен секционным, с возможностью повышения качества сепарации за счет увеличения количества секций. Катушки намагничивания питаются постоянным током, получаемым от трехфазного однополупериодного выпрямителя.

Магнитные потоки, создаваемые электромагнитами, пронизывают поток шликера, притягивая металломагнитные частицы ко дну лотка. Для повышения уровня магнитной индукции и создания неоднородного магнитного поля на полюсных наконечниках созданы концентраторы 9 в виде двухгранных выступов с углом 90° между гранями. Электромагниты в каждой секции смонтированы в три ряда по 4 штуки в одном ряду.

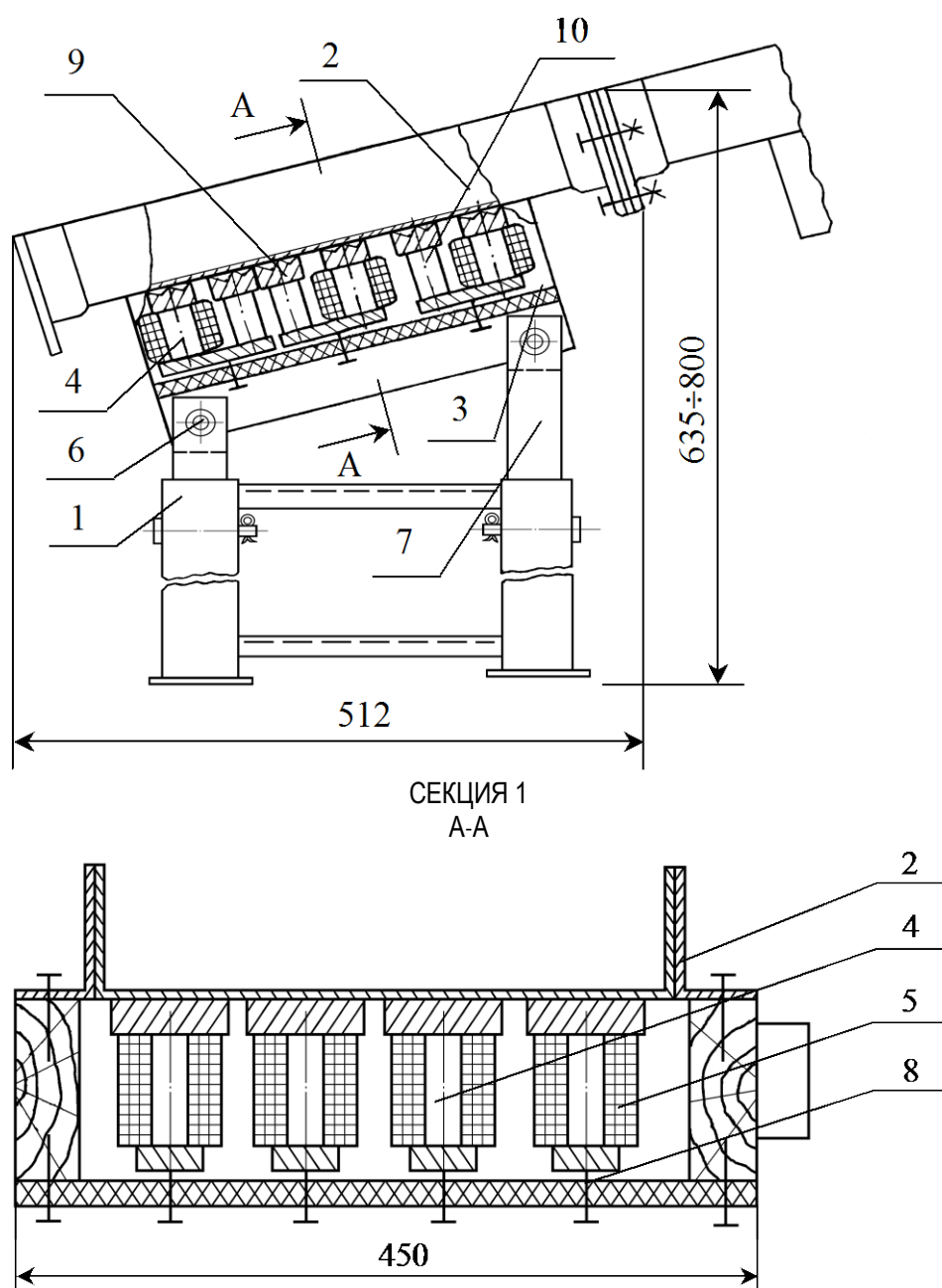


Рис. 1. Установка для мокрой магнитной сепарации УМС-3М

Магнитный сепаратор работает следующим образом. Шликер поступает в наклонный лоток 2 верхней секции и протекает по лотку сверху вниз по обеим секциям, сливаясь в ванну для очищенной суспензии. Протекая над концентраторами 9, магнитные примеси притягиваются к ним, оседая на дне лотка. После окончания сепарации катушки намагничивания отключаются. Лоток промывается водой и очищается щеткой от налипших магнитных примесей. При промывке, после отключения катушек намагничивания, нельзя допускать попадания смываемых металломагнитных примесей в очищенную продукцию.

Электрическая схема установки приведена на рисунке 2. Все катушки одной секции соединяются последовательно и подсоединяются к выпрямленному напряжению  $U = 260\text{В}$ . Это напряжение создается трёхфазным однополупериодным выпрямителем. Подсоединение катушек производится между средней точкой выпрямителя и нулевым проводом N.

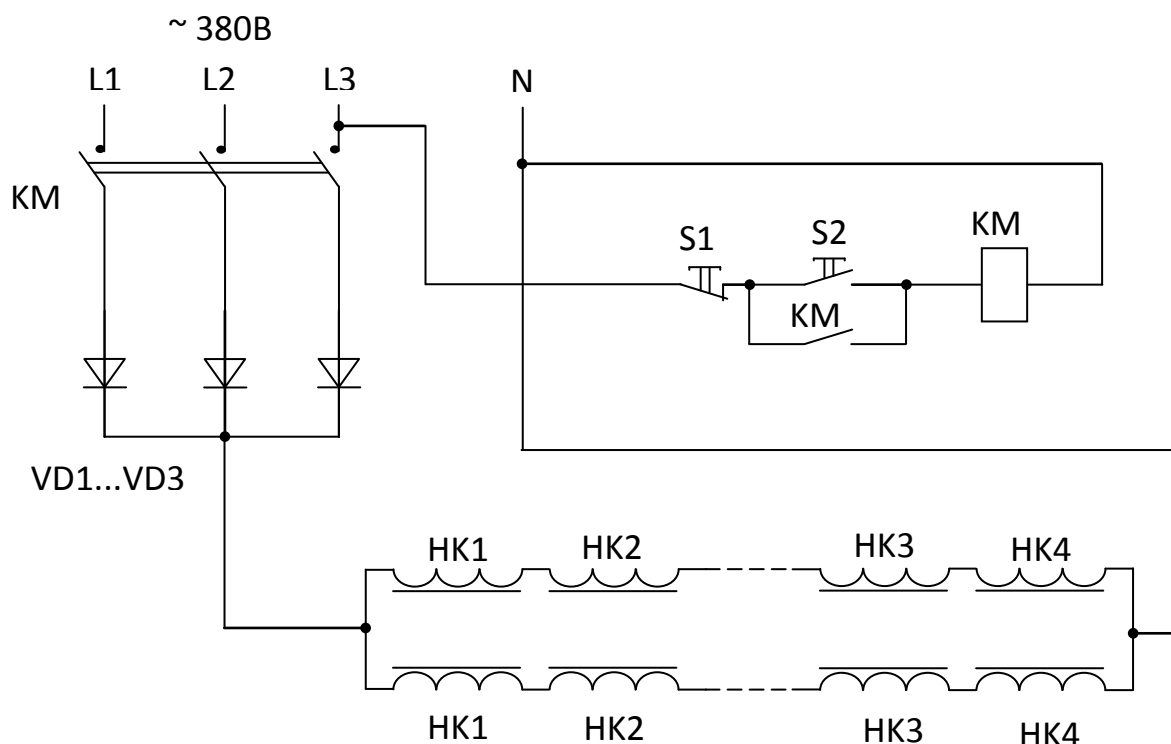


Рис. 2. Электрическая схема установки УМС-3М

## Технические характеристики УМС-3М

Производительность, л/ч	1000
Мощность магнитной системы, кВт	0,9*
Напряжение переменного тока, подаваемое на выпрямительное устройство, В	220
Напряжение постоянного тока, подаваемое на катушки намагничивания, В	198
Магнитная индукция на концентраторах, мТл	200-300
Периодичность очистки, ч	2-3
Угол наклона магнитной системы, град	15-30
Габаритные размеры, мм:	
длина	520
ширина	450
высота	635-800
Масса, кг	200**
* мощность двух секций;	
** масса двух секций.	

**Заключение.** Электромагнитные сепараторы серии УМС (установка мокрой сепарации), в основе которых лежит разработанная авторами математическая модель отделения примесей от жидких материалов, надежно очищает составляющие электротехнического фарфора от металлических примесей. Установки УМС, при внесении изменений в конструкцию концентраторов магнитного поля, могут быть использованы для очистки моторных масел, смазочно-охлаждающих жидкостей.

## Литература

1. Зуев В.С., Чарыков В.И. Магнитная сепарация жидких материалов сепараторами серии УМС // Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Курган: Полиграфист, 2000. – С. 11.
2. Никулин Н.В. Производство фарфоровых изоляторов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958. – 210 с.
3. Сумцов В.Ф. Электромагнитные железоотделители. – М.: Машиностроение, 1981. – 212 с.