

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА УМС-4М

**Чарыков Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

**Евдокимов Александр Андреевич**, аспирант кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

**Соколов Сергей Александрович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

ФГБОУ ВПО «Курганская ГСХА им Т.С. Мальцева»

641300, Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково, сельхозакадемия

тел.: 8(35-231)44-142.

e-mail.: viktor52-chimesh@yandex.ru; aleksandr-aae@mail.ru

**Ключевые слова:** электромагнитный сепаратор, ферромагнитная частица, дифференциальное уравнение, время, магнитная сила, концентратор.

В статье описан электромагнитный сепаратор УМС-4М для отделения ферромагнитных частиц. Изложена методика расчета определения времени нахождения ферромагнитных частиц в рабочем канале и время притяжения ферромагнитных частиц к концентратору магнитного поля.

### Введение

Работа металлорежущих станков в условиях ремонтно-технических предприятий (РТП), машинно-технологических станций (МТС) и машиностроительных заводов невозможна без применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), которые стали неотъемлемым элементом технологических процессов [1].

Объемы потребления СОЖ в Курганской области постоянно увеличиваются. На сегодняшний день в двадцати четырех районах области находятся более 200 машинно-технологических станций, 7 ремонтно-технических предприятий и более 10 машиностроительных заводов.

Смазочные материалы играют важную роль в эксплуатации современной техники, выполняя следующие функции:

- быстрый отвод теплоты, увеличение скорости резания и срока службы металлорежущего инструмента;
- образование смазочной пленки между режущим инструментом, стружкой и заготовкой, снижение износа и улучшение качества обработки поверхности заготовки;
- смазку точек скольжения за предела-

ми фактической зоны резания между режущим инструментом, заготовкой и стружкой; - эффективное удаление стружки [2].

Незначительная часть смазочных материалов (10...20 %) безвозвратно теряется вследствие испарения, уноса, проливов и утечки. Основная же часть СОЖ (80...90 %) претерпевает физико-химические изменения структуры, во многом определяющие показатели операций механической обработки. В процессе функционирования и эксплуатации СОЖ в циркуляционных системах были обнаружены масла, смолы, вода, колонии микроорганизмов, адсорбирующие на себе пыль и мелкую стружку, а также ферромагнитные частицы, которые оказывают значительное влияние на качество обработки поверхности и износ инструмента [3].

Смазочные материалы, непригодные к дальнейшему использованию после окончания срока службы или по их фактическому состоянию, удаляют из циркуляционных систем станков и заменяют свежими.

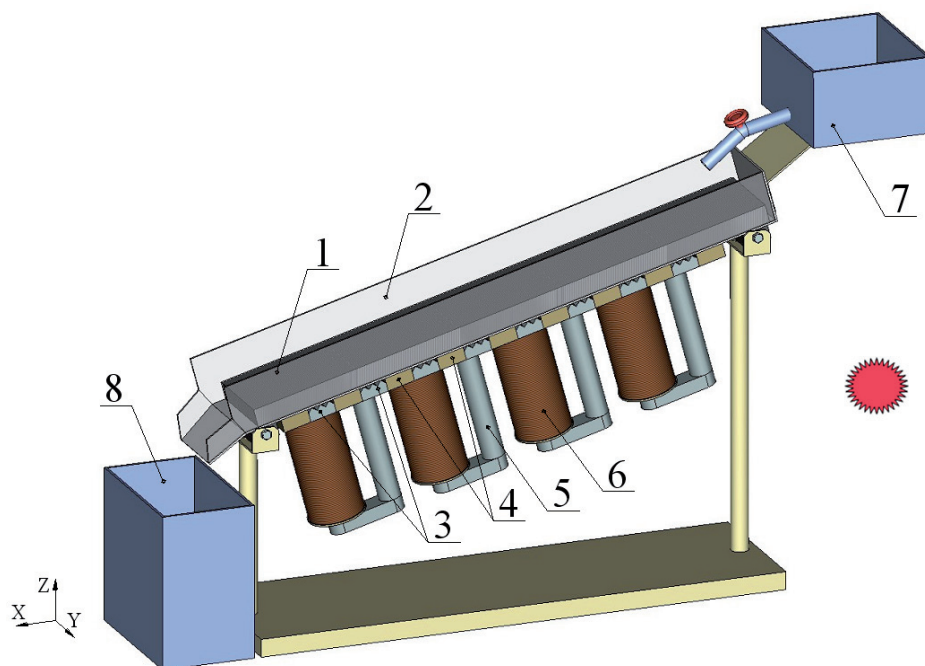
На основании анализа работы существующих установок по очистке СОЖ в Курганской ГСХА разработан электромагнит-

ный сепаратор УМС-4М (рис. 1) [4]. Отличительной особенностью данной установки является то, что для извлечения ферромагнитных частиц в нем использованы концентраторы магнитного поля (рис. 2), имеющие различные параметры. Зона сепарации расположена в замкнутом магнитном контуре, работающем на постоянном токе.

Электромагнитный сепаратор работает следующим образом. При подаче постоянного напряжения на катушки 6 П-образных электромагнитов, на концентраторе магнитного поля 1, за счет полюсных наконечников 3 создается неоднородное магнитное поле с высоким значением магнитной индукции, и зона сепарации пронизывается по всей длине и ширине рабочего канала (желоба) 2 магнитным потоком. СОЖ подается в зону сепарации и протекает равномерным слоем по концентратору магнитного поля 1. В зоне сепарации ферромагнитные частицы притягиваются к полюсу в направлении сходимости магнитных силовых линий и оседают на концентраторе магнитного поля. Очищенная жидкость поступает в приемник 8. Очистку концентратора магнитного поля от ферромагнитных частиц осуществляют путем смывания частиц водой после сепарации.

Геометрические размеры концентратора магнитного поля соответствуют форме рабочего канала (желоба).

Цель исследования – разработать теоретические положения по определению времени движения ферромагнитных частиц



1 – концентратор магнитного поля; 2 – желоб (лоток); 3 – полюсные наконечники; 4 – немагнитные вставки; 5 – сердечники; 6 – катушки намагничивания; 7 – загрузочное устройство; 8 – приемник.

**Рис. 1 - Электромагнитный сепаратор УМС – 4М**



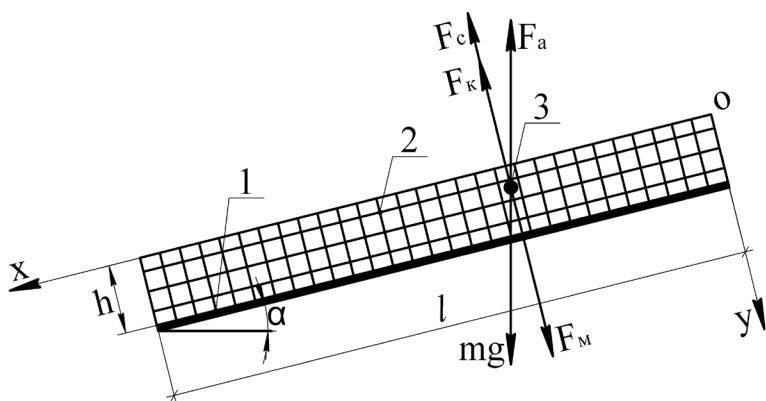
**Рис. 2 – Концентратор магнитного поля**

вдоль рабочего канала (желоба), а также времени, за которое ферромагнитные частицы притягиваются к концентратору магнитного поля в зависимости от физико-механических свойств и конструктивных параметров сепаратора.

#### Объекты и методы исследований

Расчет выполнен на основании разработанной нами методики [5]. Для этого необходимо знать, какие силы действуют на ферромагнитную частицу в электромагнитном сепараторе. Под действием этих сил частица должна перемещаться, и тот концентратор, в котором время перемещения частиц окажется наименьшим, будем считать оптимальным.

Жидкость (рис. 3) течет тонким слоем толщиной  $h$  вдоль наклонного желоба 1 длиной  $l$  и шириной  $a$ . В желобе с помощью



1 – желоб (лоток); 2 – концентратор; 3 – ферромагнитная частица;  $F_c$  – сила сопротивления среды;  $F_k$  – сила сопротивления концентратора;  $F_a$  – Архимедова сила;  $F_m$  – магнитная сила;  $mg$  – сила тяжести;  $\alpha$  – угол наклона желоба (лотка)

Рис. 3 - Принципиальная схема установки для сепарации СОЖ и силы, действующие на металломагнитную частицу в установке

концентратора 2 создается неоднородное магнитное поле. Эффективность сепарации зависит от скорости течения жидкости и величины неоднородного магнитного поля в рабочей зоне установки.

Выразим критерий эффективности в следующем виде:

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

где  $t_1$  – время нахождения частицы в желобе;  $t_2$  – время, необходимое для притяжения частиц к полюсным наконечникам, с.

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

#### Движение ферромагнитных частиц в магнитном поле вдоль оси OX

Для определения режима течения жидкости в желобе используем критерий Рейнольдса [6]:

$$R_e = \frac{\rho_{ж} \cdot V \cdot a_{хар}}{\eta}, \quad (2)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скорость течения жидкости, м/с;  $a_{хар}$  – характерный для поперечного сечения линейный размер, м;  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости, Н·с/м<sup>2</sup>.

Будем считать режим течения жидкости в желобе установившимся, т.е. ламинар-

ным. При установившемся режиме через любое поперечное сечение желоба площадью  $S = ha$  за одну секунду будет протекать одно и то же количество жидкости:

$$Q = \rho_{ж} \cdot S \cdot V = \rho_{ж} \cdot h \cdot a \cdot V. \quad (3)$$

Определим скорость течения жидкости  $V$  из формулы (3):

$$V = \frac{Q}{\rho_{ж} \cdot h \cdot a}. \quad (4)$$

Так как длина желоба равна  $l$ , то время притяжения ферромагнитной частицы в желобе при движении ее вдоль оси OX

$$t_1 = \frac{l}{V} = \frac{\rho_{ж} \cdot h \cdot a \cdot l}{Q}. \quad (5)$$

Это время пребывания частицы в желобе при ее движении вдоль оси OX мы и будем использовать.

#### Дифференциальное уравнение движения частиц в магнитном поле вдоль оси OY

При движении частиц вдоль оси OY на ферромагнитную частицу действуют: магнитная сила  $F_m$ , создаваемая магнитным полем в желобе и на концентраторе; сила сопротивления движению частиц  $F_c$ , создаваемая жидкостью, или, другими словами, внутреннее трение; сила сопротивления концентратора  $F_k$ , создаваемая конструкцией последнего; сила тяжести  $mg$  и Архимедова сила  $F_a$ .

Магнитная сила  $F_m$  является основной силой, за счет которой происходит удаление ферромагнитных частиц из жидкости [7]:

$$F_m = -gradW, \quad (6)$$

где  $W$  – потенциальная энергия, Дж.

Потенциальная энергия магнитного поля, накопленная частицей,

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

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 проница-

емость жидкости.

С учетом формулы (7) магнитная сила, действующая на частицу в магнитном поле,

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

Магнитная сила, действующая в направлении оси ОУ,

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

Как следует из формулы (9), для определения магнитной силы необходимо знать магнитную индукцию  $B$  в магнитном поле желоба. Её можно определить из зависимости [8]:

$$B = B_{max} \cdot e^{-\frac{d_i}{d_n}}, \quad (10)$$

где  $B_{max}$  - максимальное значение магнитной индукции, Тл;  $d_i$  - расстояние от точки измерения магнитной индукции до активного полюса, м;  $d_n$  - эмпирический коэффициент, м.

Подставив выражение (10) в формулу (9), получим:

$$F_m = -\frac{V_r}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu} \frac{d}{dy} \left( B_{max} \cdot e^{-\frac{y}{d_n}} \right)^2 = \frac{V_r}{d_n \cdot \mu_0 \cdot \mu} \cdot B_{max}^2 \cdot e^{-\frac{2y}{d_n}}. \quad (11)$$

Опытами установлено, что при малых числах Рейнольдса  $R_e$ , т.е. при небольших скоростях, сопротивление движущейся среды можно определить с помощью формулы Стокса [9]:

$$F_c = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_r \cdot v, \quad (12)$$

где  $\eta$  - коэффициент вязкой жидкости;  $r_r$  - характерный для поперечного сечения тела размер, для тела круглой формы (для шара)  $r_r$  - радиус шара, м;  $v$  - скорость движения тела в жидкости, м/с.

Помимо силы сопротивления среды на частицу действует еще сила  $F_k$  - сила сопротивления движению частиц от концентратора магнитного поля:

$$F_k = k \cdot \eta \cdot l_1 \cdot v, \quad (13)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональ-

ности;  $l_1$  - сечение ячейки концентратора, м;  $v$  - скорость движения частицы, м/с.

При движении частицы вдоль оси ОУ на нее, кроме силы сопротивления среды и силы сопротивления концентратора, действуют еще сила тяжести частицы  $mg$  и архимедова сила  $F_a$ . Результирующая двух последних сил

$$mg - F_a = V_r \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot g, \quad (14)$$

где  $V_r$  - объем частицы, м<sup>3</sup>;  $\rho_r$  - плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{жс}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения тела,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Проекция результирующей силы тяжести и архимедовой силы на ось ОУ:

$$(mg - F_a) \cdot \cos \alpha = V_r \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (15)$$

Составим дифференциальное уравнение равновесия всех сил, действующих вдоль оси ОУ:

$$mW_y = F_m - F_c - F_k + V_r (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (16)$$

Подставив все силы, действующие вдоль оси ОУ, в уравнение (16) и учитывая, что  $W_y = \ddot{y}$ , а  $V = \dot{y}$ , получим следующее дифференциальное уравнение:

$$m\ddot{y} = \frac{V_r}{\mu_0 \cdot \mu \cdot d_n} \cdot B_{max}^2 \cdot e^{-\frac{2y}{d_n}} - 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_r \cdot \dot{y} - k \cdot \eta \cdot l_1 \cdot \dot{y} + V_r \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (17)$$

После ряда математических преобразований получим:

$$\ddot{y} + \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_r + k \cdot \eta \cdot l_1}{m} \cdot \dot{y} + \frac{2B_{max}^2 \cdot V_r}{m \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2} \cdot y = \frac{B_{max}^2 \cdot V_r}{m \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n} + \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot V_r \cdot \cos \alpha}{m}. \quad (18)$$

Введем обозначения:

$$\frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_r + k \cdot \eta \cdot l_1}{m} = 2b,$$

$$\frac{2B_{max}^2 \cdot V_r}{m \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2} = c^2,$$

$$\frac{B_{\max}^2 \cdot V_r}{\mu_0 \cdot \mu \cdot d_n} + \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot V_r \cdot \cos \alpha}{m} = p.$$

В итоге получим линейное неоднородное дифференциальное уравнение:

$$\ddot{y} + 2 \cdot b \cdot \dot{y} + c^2 \cdot y = p. \quad (19)$$

Как известно, общее решение неоднородного дифференциального уравнения можно представить как сумму общего решения  $\bar{Y}$  соответствующего однородного уравнения:

$$\ddot{y} + 2 \cdot b \cdot \dot{y} + c^2 \cdot y = 0, \quad (20)$$

и какого-нибудь частного решения уравнения (19)  $Y^*$ :

$$y = \bar{y} + y^*. \quad (21)$$

Тогда общее решение уравнения (20) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= c_1 \cdot e^{-(b+r)t} + c_2 \cdot e^{-(b-r)t} = \\ &= \frac{(r-b) \cdot h}{2 \cdot r} \cdot e^{-(b+r)t} + \frac{(b+r) \cdot h}{2 \cdot r} \cdot e^{-(b-r)t}. \end{aligned} \quad (22)$$

Частное решение неоднородного дифференциального уравнения (20) имеет вид:

$$y^* = \frac{p}{c^2} = \frac{1}{2} \cdot d_n + \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot \cos \alpha \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2}{2B_{\max}^2} \quad (23)$$

Запишем общее решение дифференциального уравнения (21):

$$\begin{aligned} y &= \bar{y} + y^* = \frac{(r-b) \cdot h}{2 \cdot r} \cdot e^{-(b+r)t} + \frac{(b+r) \cdot h}{2 \cdot r} \cdot e^{-(b-r)t} + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot d_n + \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2 \cdot \cos \alpha}{2 \cdot B_{\max}^2}. \end{aligned} \quad (24)$$

Упростим дифференциальное уравнение (24). В нашем случае  $(b+r)$  очень велико. Поэтому  $e^{-(b+r)t} \rightarrow 0$ . Следовательно, решение дифференциального уравнения (24) примет вид:

$$\begin{aligned} y &= \frac{(b+r) \cdot h}{2 \cdot r} \cdot e^{-(b-r)t} + \frac{1}{2} \cdot d_n + \\ &+ \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2 \cdot \cos \alpha}{2 \cdot B_{\max}^2}. \end{aligned} \quad (25)$$

Решив это уравнение относительно времени  $t$  и подставив  $y = h$ , получим:

$$\begin{aligned} e^{-(b-r)t} &= -\frac{d_n \cdot r}{(b+r) \cdot h} - \\ &- \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2 \cdot r \cdot \cos \alpha}{B_{\max}^2 \cdot (b+r) \cdot h} + \frac{2 \cdot r}{(b+r)}. \end{aligned} \quad (26)$$

Прологарифмировав выражение (26) и выразив  $t$ , найдем искомое время притяжения частиц  $t_2$ :

$$t_2 = -\frac{1}{b-r} \ln \left[ \frac{-\frac{d_n \cdot r}{(b+r) \cdot h} - \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{жс}) \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2 \cdot r \cdot \cos \alpha}{B_{\max}^2 \cdot (b+r) \cdot h} + \frac{2 \cdot r}{b+r}}{1} \right] \quad (27)$$

### Результаты исследований

Время нахождения частицы в желобе при движении ее вдоль оси ОХ определяется по формуле (5). Если производительность сепаратора  $Q$  выражается в  $\text{м}^3/\text{с}$ , то время нахождения частицы в желобе  $t_1 = hal/Q$ . В нашем случае:  $h = 0,01 \text{ м}$ ;  $a = 0,1 \text{ м}$ ;  $l = 0,45 \text{ м}$ ;  $Q = 110 \text{ л/ч} = 0,031 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ . Следовательно,

$$t_1 = \frac{0,01 \cdot 0,1 \cdot 0,45}{0,0031 \cdot 10^{-3}}.$$

Для определения времени притяжения ферромагнитной частицы, необходимо решить линейное неоднородное дифференциальное уравнение (19). Приведем все величины, необходимые для расчета.

$$B_{\max} = 130 \text{ мТл} = 0,13 \text{ Тл};$$

$$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ зН/м};$$

$$\mu = 1; r_r = 0,5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$\rho_r = 7800 \text{ кг/м}^3; \rho_{жс} = 1023 \text{ кг/м}^3;$$

$$v = 152 \text{ мм}^2/\text{с} = 1,52 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$d_n = 3,75 \text{ мм} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$l_1 = 3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\eta = \rho_{жс} \cdot v = 1023 \cdot 1,52 \cdot 10^{-4} = 0,155 \text{ кг/м} \cdot \text{с};$$

$$k = 10; g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$V_r = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-4})^3 = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3;$$

$$m = \rho_r \cdot V_r = 7800 \cdot 0,5 \cdot 10^{-9} = 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ кг}.$$

Определим расчетные коэффициенты

$$\frac{\eta \cdot r_r + k \cdot \eta \cdot l}{m} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot 0,155 \cdot 5 \cdot 10^{-4} + 10 \cdot 0,155 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{3,9 \cdot 10^{-6}} = 1566,7 \frac{1}{c};$$

$$b = \frac{2b}{b} = 783,4 \frac{1}{c};$$

$$c^2 = \frac{2B_{\max}^2 \cdot V_r}{m \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n^2} = \frac{2 \cdot 0,13^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}}{3,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot (3,75 \cdot 10^{-3})^2} = 2,4492754.$$

$$c = \sqrt{c^2} = \sqrt{2,4492754 \cdot 10^5} = 494,9 \frac{1}{c};$$

$$p = \frac{B_{\max}^2 \cdot V_r}{m \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot d_n} + \frac{g \cdot (\rho_r - \rho_{ж}) \cdot V_r \cdot \cos \alpha}{m} =$$

$$\frac{0,13^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}}{3,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 3,75 \cdot 10^{-3}} + \frac{9,81 \cdot (7800 - 1023) \cdot 0,5 \cdot 10^{-9} \cdot \cos 20}{3,9 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= 458,54 + 8,01 = 466,55 \frac{M}{c^2}.$$

Найдем частное решение уравнения (23):

$$y^* = \frac{p}{c^2} = \frac{466,55}{2,4492754 \cdot 10^{-5}} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения определяется в следующем виде:

$$y = \bar{y} + y^* = C_1 \cdot e^{-(b+r)t} + C_2 \cdot e^{-(b-r)t} + y^*$$

Определим коэффициент  $r$ :

$$r = \sqrt{b^2 - c^2} = \sqrt{783,4^2 - 244927,54} = \sqrt{613715,56 - 244927,54} =$$

$$= \sqrt{368788,02} = 607,28 \frac{1}{c};$$

Определим коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ :

$$C_1 = \frac{(r-b) \cdot h}{2 \cdot r} = \frac{(607,28 - 783,4) \cdot 0,01}{2 \cdot 607,28} = -0,002;$$

$$C_2 = \frac{(b+r) \cdot h}{2 \cdot r} = \frac{(783,4 + 607,28) \cdot 0,01}{2 \cdot 607,28} = 0,011.$$

Следовательно, общее решение неоднородного дифференциального уравнения (24) будет иметь вид:

$$y = -0,002 \cdot e^{-(783,4+607,28)t} + 0,011 \cdot e^{-(783,4-607,28)t} + 1,9 \cdot 10^{-3} =$$

$$= -0,002 \cdot e^{-1390,68t} + 0,011 \cdot e^{-176,12t} + 1,9 \cdot 10^{-3}.$$

Если пренебречь первым членом как величиной бесконечно малой, то общее решение неоднородного дифференциального уравнения (19), описывающего движение частицы в сепараторе УМС-4М, принимает вид (25):

$$y = 0,011 \cdot e^{-176,12t} + 1,9 \cdot 10^{-3}.$$

Найдем значение  $y$  за время  $t = 0,1$  с:

$$y_{t=0,1c} = 0,011 \cdot e^{-17,612} + 0,0019 = 0,011 \cdot 2,2 \cdot 10^{-8} + 0,0019 \approx$$

$$\approx 0,0019 \text{ м} \approx 1,9 \text{ мм.}$$

Следовательно, через время  $t = 0,1$  с частица уже достигнет концентратора. Поэтому принимаем  $t_2 = 0,1$  с.

### Выводы

Теоретический анализ разработанной методики расчета позволяет определить время движения ферромагнитных частиц вдоль оси ОХ и время притяжения частицы вдоль оси ОУ, в зависимости от физико-механических свойств и конструктивных параметров сепаратора, а также показать возможность очистки СОЖ в рабочей зоне сепаратора с предлагаемым концентратором магнитного поля.

Согласно полученным данным,  $t_1 = 15$  с, а  $t_2 = 0,1$  с. Критерий эффективности сепарации  $t_1 > t_2$  выполняется, ферромагнитная частица будет притягиваться к концентраторам магнитного поля. При  $t_1 < t_2$  ферромагнитная частица будет вытекать вместе с жидкостью, не задерживаясь в желобе.

Следовательно, в дальнейшем при расчете параметров электромагнитного сепаратора необходимо брать за основу такие характеристики, как магнитная индукция в рабочей зоне, величина неоднородности магнитного поля, скорость течения жидкости и размер сечения ячейки концентратора.

### Библиографический список

1. Евдокимов, А.А. Очистка смазочно-охлаждающих жидкостей на машинно-технологических станциях электромагнитным сепаратором / А.А. Евдокимов, В.И. Чарыков // Материалы LII международной научно-технической конференции «Достижение науки – агропромышленному производству». Челябинск: ЧГАА, 2013. - С. 253-256.

2. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под. ред. С.Г. Энтеллиса, Э.М. Берлинера – М.: Машиностроение, 1995. – 496 с.

3. Черножуков, Н.И. Химия минеральных масел / Н.И. Черножуков, С.Э. Крейн, Б.В. Лосиков. – М.: Гостоптехиздат. 1959. – 416 с.

4 Патент на полезную модель РФ № 132740. Установка электромагнитной сепарации / В.С. Зуев, В.И. Чарыков, А.А. Евдокимов, А.А. Митюннин, И.И. Копытин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Курганская ГСХА им Т.С. Мальцева. - № 2012147148/03; заявл. 06.11.2012; опубл. 27.09.2013; Бюл. № 27.

5 Евдокимов, А.А. Теоретическое обоснование критерия эффективности извлечения ферромагнитных частиц из потока жидкости в электромагнитном сепараторе УМС-4М / А.А. Евдокимов, В.И. Чарыков // Вестник Алтайского ГАУ. – 2013. № 9 (107). – С. 106-110.

6 Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости) / А.Д. Альтшуль, П.Г. Кисилев. - М.: Стройиздат, 1975. - С. 149 - 150.

7 Сумцов, В.Ф. Электромагнитные железоотделители. - М.: Машиностроение, 1981. - 212 с.

8 Чарыков, В.И. Вопросы теории и инновационных решений при конструировании электромагнитных железоотделителей / В.И. Чарыков [и др.]-Курган: изд-во КГУ, 2010.-238 с.

9 Хаппель, Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / Дж. Хаппель, Г. Бренер. – М.: Мир, 1976. – 624 с.

УДК 631.862

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕДИМЕНТАЦИИ СВИНОГО НАВОЗА, ЕГО ЖИДКОЙ ФРАКЦИИ И НАВОЗОСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ

Шалавина Екатерина Викторовна, аспирантка

Субботин Игорь Александрович, аспирант

Васильев Эдуард Вадимович, аспирант

ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии

196625, Санкт-Петербург, Павловск, Филътровское шоссе, дом 3; тел.:466-57-16,

e-mail: sznii@yandex.ru

**Ключевые слова:** свиной навоз, седиментация, мерные цилиндры, вертикальный отстойник.

*Рассмотрены и проанализированы результаты исследований по седиментации свиного навоза ряда научно-исследовательских институтов. Приведены и проанализированы результаты собственных исследований по седиментации свиного навоза в мерных цилиндрах. Была создана лабораторная модель вертикального отстойника, на которой проведены исследования по седиментации жидкой фракции свиного навоза.*

### Введение

Рациональное использование всех водных ресурсов в условиях быстрого развития промышленности, жилищного строительства и сельского хозяйства является одной из важнейших экологических, экономических и социальных задач.

Развитие промышленного свиноводства привело к строительству в нашей стране и за рубежом крупных животноводческих

комплексов с бесподстилочным содержанием животных. Переработка и утилизация больших объёмов жидкого свиного навоза и навозосодержащих стоков стали серьезной экологической проблемой.

Наиболее часто встречаемым способом подготовки к утилизации жидкого свиного навоза и навозосодержащих стоков является их разделение на фракции (твёрдую и жидкую) с последующим обеззаражива-