

В последние годы получила распространение новая форма обслуживания сельскохозяйственных предприятий: мобильные бригады, выполняющие работы непосредственно в хозяйствах. Мобильные бригады, как правило, создаются в технических дилерских центрах, которые принимают на себя обязанности по организации и проведению гарантийного и послегарантийного обслуживания сельскохозяйственной техники в объемах и по качеству, определенному технической документацией. В силу неразвитости инженерной службы сельскохозяйственных предприятий мобильные бригады выполняют и другие работы по сервисному обслуживанию, ТО и устранению отказов сельскохозяйственной техники.

Литература.

5. Концептуальное мышление в разрешении сложных и запутанных проблем. / Теслинов А.Г. - СПб.: Питер, 2009. – 288 с.
6. Концептуальное проектирование сложных решений. / Теслинов А.Г. – СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
7. Ensuring Machine and Tractor Aggregates Operability. / Redreev G.V. - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 142, Number 1. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/142/1/012085>
8. Понятие. / Войшвилло Е.К. – М., Изд. МГУ, 1967. – 288 с.
9. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. (Часть 1). – М.: ГОСНИТИ, 1985. – 144 с.
10. Формирование технического сервиса сельскохозяйственной техники / Бабченко Л.А. - Диссертация док. техн. наук. – Алматы, 2010 г.- 567 с.
11. Основы формирования системы технического сервиса в АПК Сибири / А.Е. Немцев, В.В. Коротких - Новосибирск, 2009. – 152 с.
12. Формирование и обеспечение готовности тракторов / Соломкин А.П. - Дис. Д.-ра техн. наук.- Новосибирск, 1989.- 458с.
13. Влияние фактора старения на показатели надежности сельскохозяйственной техники / А.П. Соломкин, О.В. Мяло, С.П. Прокопов - Достижения науки и техники АПК – Москва, 2015. Т.29. №1. С. 61 – 63.
14. Техническое обслуживание и ремонт машин в с.-х.: учебн. пособие / под ред. В.И. Черноиванова. - Москва – Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ.- 2003.- 992 с.
15. Организация ремонтно-обслуживающего производства в сельском хозяйстве: учебник / . Юдин М.И., Стукопин Н.И., Ширай О.Г. - Краснодар: КГАУ.- 2002.- 944с.
16. База "СИБИРСКАЯ": Сельхозтехника в Омске [Электронный ресурс: Режим доступа: <http://www.sibbaza.ru/>]

## МЕХАНИЗМ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В КАПИЛЛЯРНЫХ КАНАЛАХ

*Л.С. Керученко, к.т.н., доц., Е.И.Мальцева, аспирант*

*ФГБОУ ВО Омский ГАУ*

*644008, г. Омск, ул. Физкультурная 1, тел. (3-812)65-00-90*

*E-mail: ei.maltseva@omgau.org*

**Аннотация:** Несмотря на экономическое значение научные вопросы применения в регенерации отработанных моторных масел процесса фильтрации практически не рассматривались [8]. Существующие модели фильтрации основаны на моделировании фильтрующей среды как массива сферических "коллекторов". Взвешенные в фильтрующей среде частицы перемещаются в пространстве между "коллекторами". В нашем исследовании предполагается, что частицы, взвешенные в фильтрующей среде, перемещаются через многочисленные капилляры, пронизывающие насквозь фильтрующий материал. Рассмотрены силы, действующих на частицу в капилляре, увлекаемую потоком жидкости. Получены уравнения, описывающие траекторию движения частицы. Определены условия осаждения частицы в капилляре. Получены формулы, определяющие эффективность осаждения частиц в капилляре.

### **Введение**

Экономное использование моторных масел в условиях сельскохозяйственного производства, является одной из важнейших задач инженерно - технических работников агропромышленного комплекса. Важное место в решении данной проблемы отводится повторному использованию отработанных масел. Анализ отработанных масел показывает [6], что в процессе эксплуатации они загрязняются механическими примесями, вносимыми в масло извне, а также продуктами износа. В

процессе эксплуатации также из масла удаляется присадка. И в то же время, основа масел остаётся практически неизменной [2,5], несмотря на то, что в масле происходят некоторые деструктивные явления. Данный анализ показывает, что удаление из масла механических примесей и компаундирование очищенного масла присадками, позволяющими привести его показатели к показателям чистого масла. Таким образом, проблема очистки отработанных моторных масел непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях, является важнейшей для изыскания способа регенерации масел. В настоящее время данному вопросу практически не уделяется внимания, несмотря на важность решения задачи. Наиболее эффективным методом очистки масел от механических примесей являются так называемые физические методы, которые включают отстой, центрифугирование (сепарация) и фильтрование. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. Анализ данных способов очистки показывает, что отстой является наименее эффективным способом очистки масла ввиду малой скорости отстоя. В зависимости от вязкости масла, плотности частиц и масла, скорость осаждения частиц изменяется в очень широких пределах. В наших исследованиях наблюдалось, что отстаивавшееся в течение 4 х месяцев масло содержало количество примесей, в три-четыре раза превышавшее норму допустимую для свежих масел. Процесс очистки масел от механических примесей протекает с большим эффектом при отстаивании в поле центробежных сил[3,7]. Наиболее эффективным по тонкости удаляемым из масла частиц примесей является фильтрация масел, ограничивающим фактором которой является низкая грязеёмкость фильтров и высокая стоимость обслуживания. Исследование процесса фильтрации направлено на снижение издержек на обслуживание и повышение качества очистки. Эффективность работы фильтроэлемента зависит от осаждения в капилляре частиц примесей, находящихся в фильтруемой жидкости. Процесс фильтрации оказывает непосредственное влияние на снижение стоимости очистки жидкостей и техническое обслуживание. Осаждение частицы в капилляре зависит от скорости движения частицы, распределения скорости в сечении капилляра, длины капилляра. Твёрдые частицы, размеры которых не превышают диаметр капилляра, могут двигаться в капилляре, увлекаемые потоком жидкости, осаждаться на поверхность капилляра, отрываться от поверхности капилляра, переходить во взвешенное состояние.

**Цель исследования** – определение траектории движения частиц загрязнений в потоке жидкости в капиллярах фильтров.

#### **Объекты и методы**

Рассмотрим вопрос осаждения механических примесей из постоянного по скорости и направлению потока жидкости, на примере осаждения движущейся в капилляре цилиндрической формы с постоянным диаметром, равным  $D_k$  и длиной  $\ell$  одиночной сферической частицы диаметром  $D_q$  и плотностью  $\rho_q$ . Предполагаем, что фильтрующая среда имеет пористость  $\epsilon$ , а фильтруемая жидкость с динамической вязкостью  $\mu$  поступает в капилляр с постоянной скоростью  $V_0$ . Частица механической примеси, движется в капилляре по некоторой траектории и осаждается на поверхность капилляра.

Для определения скорости осаждения частицы из потока масла, составим уравнения динамики.

Дифференциальное уравнение движения частицы в векторной форме, имеет вид [9]:

$$m_q \frac{d\vec{V}_q}{dt} = \sum F_q \quad (1)$$

где  $m_q$  - масса частицы, кг;

$\vec{V}_q$  - вектор скорости м/с;

$\sum F_q$  - сумма сил, действующих на частицу, Н.

Рассмотрим силы, действующие на частицу в прямоугольной системе координат. За начало отсчёта примем точку, совпадающую с центром начального сечения капилляра. Ось ординат  $y$  направим вертикально вниз, а ось абсцисс  $x$  по направлению движения жидкости. В силу симметрии задачи рассмотрим плоское движение частицы в направлении осей  $x$  и  $y$ .

Запишем уравнение (1) в проекциях на оси координат:

Тогда будем иметь:

$$m_q \frac{d^2 x_q}{dt^2} = \sum F_x \quad (2)$$

$$m_{\text{ч}} \frac{d^2 y_{\text{ч}}}{dt^2} = \sum F_y \quad (3)$$

где  $\frac{d^2 x_{\text{ч}}}{dt^2}, \frac{d^2 y_{\text{ч}}}{dt^2}$  - проекции ускорения частицы на оси x и y;

$F_x, F_y$  - проекции сил на соответствующие оси координат;

$X_{\text{ч}}, Y_{\text{ч}}$  - координаты движущейся в жидкости частицы.

На рассматриваемую частицу (см. рисунок 1) в направлении x действуют следующие силы:

- сила трения  $F_{mp}$ , обусловленная трением частицы и жидкости, H;
- сила  $F_{\text{л}}$  динамического давления жидкости на частицу, H.
- В направлении оси y действуют силы:
- сила Магнуса  $F_{\text{м}}$  (подъёмная сила), обусловленная градиентом скорости и давления в поперечном сечении капилляра, H;
- сила тяжести  $F_{\text{м}}$ , обусловленная силой земного тяготения, H;
- сила сопротивления  $F_{\text{с}}$ , обусловленная разностью давления на полусферах частицы, H.
- сила адгезии  $F_{\text{ад}}$  - сила адгезии, H,

Учитывая силы, действующие на частицу уравнения (1) и (2) можно записать в виде:

$$m_{\text{ч}} \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{\text{л}} - F_{\text{мп}} \quad (4)$$

$$m_{\text{ч}} \frac{d^2 y}{dt^2} = F_{\text{ад}} + F_{\text{т}} - F_{\text{м}} - F_{\text{с}} \quad (5)$$

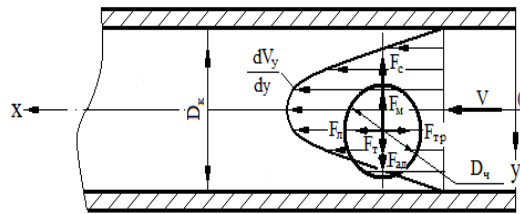


Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу в потоке жидкости

В этих уравнениях, входящие в правую часть уравнения силы, определяются по формулам:

- сила Магнуса:

$$F_{\text{м}} = \rho \frac{\pi D_{\text{ч}}^3}{16} \cdot \bar{V} \frac{dV}{dy} \quad (6)$$

- сила тяжести:

$$F_{\text{м}} = (\rho_{\text{ч}} - \rho) \frac{\pi D_{\text{ч}}^3}{6} \cdot g \quad (7)$$

- сила сопротивления:

$$F_{\text{с}} = 3\pi \cdot \mu \cdot D_{\text{ч}} \cdot V_{\text{ч}} \quad (8)$$

- сила адгезии [1]:

$$F_{\text{ад}} = \frac{h \cdot \omega}{16\pi z^2} D_{\text{ч}} \quad (9)$$

- сила трения между частицей и жидкостью:

$$F_{\text{мп}} = k \cdot \bar{V} \quad (10)$$

- сила динамического давления жидкости на частицу:

$$F_{\text{дав}} = cS\rho \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (11)$$

где:  $h=6,626 \cdot 10^{-34}$  - константа Лифшица-Планка, Дж·с;  
 $z$  - расстояние от частицы до внутренней поверхности капилляра;  
 $\omega$  - частота вращения частицы,  $c^{-1}$ ;  
 $r_q$  - радиус частицы, м;  
 $k$  - коэффициент, зависящий от формы частиц  $\frac{кг}{с}$ ;  
 $\rho, \rho_q$  - плотность жидкости и частицы соответственно,  $кг/м^3$ ;  
 $D_q$  - диаметр частицы, м;  
 $c$  - коэффициент сопротивления частицы;  
 $S$  - площадь миделевого сечения частицы,  $м^2$ ;  
 $\bar{V}$  - средняя скорость потока жидкости,  $м/с$ .

Сила Магнуса зависит от градиента скорости в капилляре, т.е. от режима движения фильтрующей среды. При переходе от ламинарного движения к турбулентному градиент скорости сильно возрастает, что приводит к возрастанию подъёмной силы. При этом возможен отрыв частицы с поверхности капилляра и проход её через фильтр. Кроме градиента скорости на силу Магнуса оказывают влияние средняя скорость движения фильтрующей среды, диаметр частицы и плотность среды.

Сила тяжести в значительной степени зависит от разности плотностей фильтрующей среды и частицы.

Сила сопротивления движению частицы зависит от скорости движения частицы и вязкости она оказывает существенное влияние на траекторию её движения.

#### Результаты исследований

Анализ формулы (9) показывает, что сила адгезии существенно зависит от расстояния частицы  $z$  до поверхности коллектора, поэтому она практически не влияет на траекторию движения частицы, за исключением области, примыкающей непосредственно к поверхности коллектора. В тоже время является решающей для прилипания частицы на поверхности коллектора.

Исследованиями многих авторов [2] установлено, что при зазоре  $z = 4 \cdot 10^{-10} м$  сила адгезии максимальна и равна:

$$F_{ад} = 1,2 \cdot 10^{-7} D_q \quad (12)$$

Учитывая значения сил, уравнения (4) и (5), преобразуем к виду:

$$\frac{\pi}{6} \rho_q D_q^3 \frac{d^2 x_q}{dt^2} = c S \rho \frac{\bar{V}^2}{2} - k \cdot \bar{V} \quad (13)$$

$$\frac{\pi}{6} \rho_q D_q^3 \frac{d^2 y_q}{dt^2} = \frac{h \cdot \omega}{16 \pi z^2} D_q + (\rho_q - \rho) \frac{\pi D_q^3}{6} \cdot g - \rho_q \frac{\pi D_q^3}{16} \cdot \bar{V} \frac{dV}{dy} - 3 \pi \cdot \mu \cdot D_q \cdot \bar{V} \quad (14)$$

Интегрируя формулы (13) и (14), получены формулы для изменения координат частицы:

$$x_q = \frac{3}{2} \cdot \frac{(c S \rho \bar{V}^2 - 2 k \bar{V}) t^2}{\pi \rho_q D_q^3} + V_q^0 t \quad (15)$$

$$y_q = \left[ \frac{3 h \omega}{16 \pi^2 z^2 \rho_q D_q^2} + \frac{\rho_q - \rho}{2 \rho_q} g - 3 \bar{V} \frac{dV}{dy} - \frac{9 \mu \bar{V}}{\rho_q D_q^2} \right] t^2 + y_q^0 \quad (16)$$

где  $y_q^0$  - вертикальная координата частицы в начальном сечении капилляра, м;

$V_q^0$  - скорость частицы на входе в капилляр,  $м/с$ .

Полученные формулы (15) и (16) показывают, что на изменение положения частицы влияют следующие параметры: диаметр частицы, средняя скорость движения потока жидкости, расстояние от частицы до внутренней поверхности капилляра, разность плотностей частицы и жидкости, градиент скорости, время движения частицы. Осаждение частицы возможно только в случае, когда сумма сил тяжести и адгезии превосходят сумму сил сопротивления и подъёма. Совместное решение данной системы уравнений позволяет получить траекторию движения частицы от входа в капилляр до её осаждения, что является необходимым условием для определения толщины фильтрующего материала.

Для оценки эффективности осаждения частиц примесей в капилляре, не требуется определять траекторию всех частиц, входящих в капилляр. Для этого достаточно определить траекторию движения предельной (граничной) частицы, которая откладывается на стенки капилляра. Эта частица при входе в капилляр имеет координаты  $x=0$  и  $y = y_{чн}^0$ . При отложении частицы на стенку капилляра

координаты частицы  $x = \ell$  и  $y = r_k$ . В этой формуле  $r_k$  - радиус капилляра. Частицы, входящие в капилляр при  $x=0$  и  $y \leq y_{ин}^0$  и перемещающиеся внутри зоны, ограниченной траекторией граничной частицы, откладываются на стенку капилляра. Если частицы по объёму жидкости распределены равномерно, то эффективность отложений твёрдых частиц примесей в отдельном капилляре можно определить по формуле:

$$\eta_{om} = \frac{S_3}{S_k} \quad (17)$$

где  $S_3$  – площадь входного сечения капилляра, соответствующая частицам, откладывающимся в капилляре,  $m^2$ ;

$S_k$  – площадь входного сечения капилляра,  $m^3$ .

Из геометрии входного сечения капилляра (рисунк 2) и вертикальной координаты  $y_q^0$  отложенной граничной частицы, были получены следующие значения соответствующих площадей.

$$S_3 = \pi r_k^2 \left( 1 - \frac{1}{180} \arccos \frac{y_q^0}{r_k} + y_q r_k \sin \alpha \right) \quad (18)$$

Площадь входного сечения капилляра определяется по формуле:

$$S_k = \pi r_k^2 \quad (19)$$

Следовательно, эффективность очистки в капилляре, будет равна:

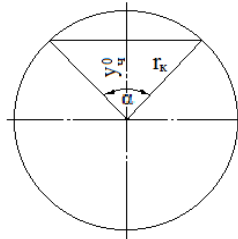


Рис. 2. К определению площадей

Общая эффективность фильтра непосредственно связана с эффективностью отложений в отдельном капилляре. Если приять, что размеры капилляров одинаковы, а частицы загрязнений распределены на входе в капилляры одинаково, то можно считать, что и эффективность всего фильтра будет равна эффективности отдельного капилляра. Реальная эффективность фильтра, будет несколько отличаться от рассчитанной по формуле (19) так как не учитывает неравномерность распределения частиц загрязнений по размерам и перед каждым капилляром, а также отличие капилляров по размерам.

#### Выводы

Проведенные исследования позволили получить уравнения, определяющие траекторию отдельных частиц загрязнений. В предположении, что для оценки эффективности фильтра можно воспользоваться траекторией предельной, отложенной в капилляре частицы получена зависимость эффективности очистки в капилляре и в фильтре в целом. Полученные результаты позволяют более объективно оценивать толщину и пористость фильтрующего материала в зависимости от степени загрязнённости и. размеров задерживаемых частиц.

#### Литература.

1. Василенко А.И. К аэродинамическому расчёту систем централизованной пылеуборки табачных фабрик // Вопросы отопления, вентиляции и защиты окружающей среды.- Ростов -на- Дону: РИСИ, 1975
2. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. - М.: Химия, 1979. - 238с.
3. Григорьев М.А. Автомобильные и тракторные центрифуги / М.А. Григорьев, Г.И. Покровский. - М.: , 1961.-183.
4. Дерягин Б.В., Коротова Н.А. Адгезия. - АН СССР, 1949.-256 с.

- Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. - М.: Колос, 1982
- Керученко Л.С. Совершенствование очистки моторных масел применительно к ремонтным сельскохозяйственным предприятиям/ дисс. канд. техн. наук.- Омск, 1986.- 189с.
- Соломкин А.П., Нурманов Д.Ш. Повторное использование отработавших масел / Механизация и электрификация сельского хозяйства №9, 89. - С.42-44.
- Тихи Модель фильтрации масла/Проблемы трения, 1981, т. 103, №1.- С. 81-89
- Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики .-М.: Высшая школа, 1966.

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*У.К. Сабиев, д.т.н., проф., Е.В. Демчук, к.т.н., доц., В.В. Мяло, к.т.н., доц.*

*Омский государственный аграрный университет*

*644008, г. Омск, ул. Физкультурная 1, тел. 8(3812)65-25-72*

*E-mail: uk.sabiev@omgau.org*

**Аннотация:** Сельскохозяйственным животным и птице рекомендуется скармливать зернофураж в виде кормовых смесей, сбалансированных по составу. Скармливание зернофуража в виде дерти малоэффективно и экономически нецелесообразно. Статья посвящена актуальной проблеме – приготовлению комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий. Представлен обзор и критический анализ существующих комбикормовых установок и агрегатов. Разработана структурная и технологическая схемы малогабаритного комбикормового агрегата с интенсифицирующими рабочими органами вибрационного и ударного принципа действия для приготовления сыпучих кормовых смесей в условиях сельскохозяйственных предприятий. Предложен комбикормовый агрегат для приготовления комбикормов в местах непосредственного потребления из зернофуража собственного производства и покупных белково-витаминных добавок. Комбикормовый агрегат позволяет получить готовый комбикорм высокой степени однородности при низких затратах энергии и себестоимости получаемой продукции, что становится условием рентабельного ведения отрасли животноводства. Предусмотрен модельный ряд предлагаемого комбикормового агрегата с различной производительностью как для малых, так и для крупных предприятий сельскохозяйственного назначения.

### **Введение**

Национальный проект России в области сельского хозяйства предусматривает интенсивное развитие животноводства.

В общем процессе производства продукции животноводства на долю кормов приходится более половины затрат.

Научными исследованиями и практикой доказано, что от качества комбикормов во многом зависит повышение продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы. Скармливание зернофуража в виде дерти малоэффективно и экономически нецелесообразно. Простые кормовые смеси из нескольких видов зернофуража, сбалансированные по составу, дают значительно больший эффект, чем простая дерть, приготовленная из одной культуры [1].

Полноценные комбикорма, сбалансированные по основным элементам питания, микроэлементам и витаминам, оказываются на 25 – 30 % эффективнее обычных зерновых кормов [2]. Фуражное зерно можно переработать в комбикорма, развивая собственное комбикормовое производство. Это позволяет сокращать издержки на закупку сырья, его транспортировку, более рационально использовать зернофураж, покупные дорогостоящие белково-витаминные минеральные компоненты и непрерывно обеспечивать коллективные, крестьянские (фермерские) хозяйства собственными комбикормами. Поэтому производство комбикормов в местах непосредственного потребления становится условием рентабельного ведения отрасли животноводства.

### **Объекты и методы**

В настоящее время многие сельскохозяйственные предприятия различных форм собственности отказываются от покупки комбикормов на крупных комбикормовых заводах в связи с высокими ценами, большими транспортными расходами. Поэтому одним из вариантов решения данной задачи в этих условиях является организация производства комбикормов на базе собственного зернового сырья и покупных белково-витаминных добавок и премиксов.