

М. В.Горовий, ст. викладач, Сумський національний аграрний університет.

Проаналізований процес очищення масла в автотракторній осаджувальній центрифугі, розроблена фізична модель очищення від твердих домішок. Отримані рівняння розрахунків поля швидкостей і фракційної ефективності в різних ділянках центрифуги. Показники фракційної ефективності відповідають отриманим даним власних і відомих експериментальних досліджень.

Ключові слова: моторне масло, центрифуга, швидкість, механічні домішки

Постановка проблеми у загальному вигляді. Підвищення якості, надійності й ресурсу машин може бути успішно вирішене тільки в умовах забезпечення високого ступеня чистоти робочих масел у порожнинах вузлів, агрегатів і систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі експлуатації масла відбувається погіршення його показників, що безпосередньо впливає на якість масла, тобто відбувається процес старіння.

Дослідженнями цих процесів займалися вчені: Григор'єва М.А., Коваленко В.П., Лишко Г.П., Ітинська Н.І., Черножуков Н.І., Хмелевий Н.М. Дідур В.А., Лебідев А.Т. та інші.

Ретельне очищення моторних масел запобігає передчасному зношуванню деталей, вузлів і агрегатів і підвищує експлуатаційну надійність усіх видів транспортних засобів [1,2].

Проблема промислової надійності машин у цей час вирішується завдяки застосуванню при їхньому виробництві й експлуатації спеціальних методів і засобів очищення масел. При цьому використовуються фільтри тонкого очищення, а також високоефективні очисники, засновані на застосуванні силових полів. Аналіз показує, що при використанні силових очисників можна досягти високого ступеня очищення (рівної 2-3 мкм і нижче), при цьому ресурс очисників у багато разів перевищує ресурс найефективніших фільтрів.

Формулювання цілей статті. Мета роботи - зниження експлуатаційних витрат при використанні тракторів і автомобілів в умовах АПК.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо теоретичний метод оцінки можливостей силових відцентрових очисників, центрифуг, застосовуваних у сучасних автомобілях і сільськогосподарських машинах для виділення з масел мілкодисперсних часток твердих забруднювачів [3]. Принцип дії осаджувальної центрифуги для виділення твердих часток з масел представлено схематично на рисунку 1.

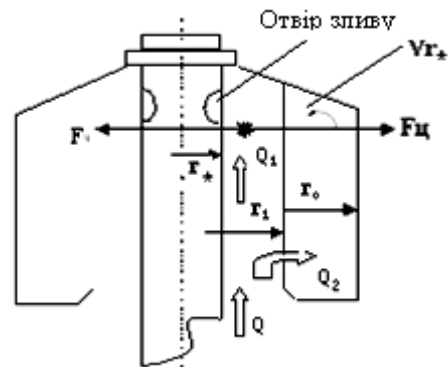


Рис. 1 Фізична модель

У швидкообертovому роторі 1 на частки діють відцентрові сили, що витісняють їх до поверхні барабана 2. Очищене масло потрапляє в отвір біля осі ротора центрифуги, що має циліндр – конічний відсікач. Така конструкція вхідного пристрою забезпечує розподіл усього потоку масла (з витратою Q), на дві частини: приосьовий, внутрішній потік (з витратою Q_1) і зовнішній, периферійний потік (витрата Q_2). Поверхня розподілу потоків близька до циліндричної поверхні з радіусом r_* , яку можна прийняти рівною радіусу (r_1) розсікача потоків. Обидва потоки, пройшовши зону сепарації з висотою, рівній робочій висоті барабана (H) з'єднуються в загальний потік і зливаються через отвір у валу ротора в порожнину зливу. У проведеному нами аналізі ефективності очищення масел прийняте допущення, що периферійний потік (Q_2) поступово входить у внутрішній по всій висоті рівномірно зі швидкістю, яка визначається за формулою:

$$V_{r*} = \frac{Q_2}{2\pi r_* H} \quad (1)$$

де Q_2 – витрата периферійного потоку,
 r_* – радіус поверхні розподілу потоків, м;
 H – робоча висота барабана, м.

Також прийняте припущення про рівномірний розподіл осьових складових швидкості по перетину, тобто

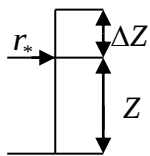
$$V_{r1} = \frac{Q_2}{\pi r_*^2}; V_{r2} = \frac{Q_2}{\pi(r^2 - r_*^2)} \quad (2)$$

Для оцінки ефективності осаджувальної центрифуги необхідне знання полів швидкості рідини в зоні сепарації.

Значення осьової швидкості, як запропоно-

вано вище, не залежить від поточного радіуса (r), але, мабуть, змінюється по висоті зони сепарації, у зв'язку зі стоком периферійного шару рідини (Q_2) у внутрішній (Q_1).

Виділимо на поверхні розподілу потоків ділянку висотою ΔZ . Тоді різниця витрат складе у внутрішньому потоці



$$Q_1(Z + \Delta Z) - Q_1(Z) = |Vr_*| \cdot 2\pi r_* \cdot \Delta Z \quad (3)$$

Залежність (3) можна привести до диференціального виду

$$\frac{dQ_1}{dZ} = \frac{Q_2}{H} \quad (4)$$

Після розподілу змінних і інтегрування отримане:

$$Q_1(Z) = \frac{Q_2}{H} Z + C_1$$

Гранична умова: $Z=H$; $Q_1(Z)=Q_2+Q_1=Q$;

$$\text{Тоді } C_1 = (Q_1 + Q_2) - \frac{Q_2}{H} Z = Q_1.$$

Тут Q_1 і Q_2 - витрати потоків у вхідному пристрої, $Q(Z)$ - поточна витрата. Остаточо, залежність поточного витрати (Q_1) від висоти Z має вигляд

$$Q_1(Z) = (Q_1 + \frac{Q_2}{H} Z) \quad (5)$$

Аналогічно в зовнішньому шарі

$$Q_2(Z) = Q_2 - \frac{Q_2}{H} Z \quad (6)$$

Підстановка (5 і 6) у рівняння (2) дає значення осьових швидкостей

$$V_{Z1} = \frac{Q_1 + Q_2}{\pi r_*^2} \frac{Z}{H}; \quad r_* > r > 0 \quad (7)$$

$$V_{Z2} = \frac{Q_2 - \frac{Q_2}{H} Z}{\pi(r_0^2 - r_*^2)}; \quad r_0 > r > r_* \quad (8)$$

Радіальні складові швидкостей потоків установимо використовуючи рівняння нерозривності [4].

$$\frac{\partial(rVr)}{\partial z} + \frac{\partial(rVz)}{\partial z} + \frac{\partial V\varphi}{\partial \varphi} = 0 \quad (9)$$

Тангенціальна швидкість потоків ($V\varphi$) постійна на кожній з орбіт ($V\varphi = \text{const}$), тоді

$$\frac{\partial V\varphi}{\partial \varphi} = 0, \text{ і рівняння нерозривності з урахуванням двовимірності прийме наступний вид}$$

$$\frac{d(rVr)}{dr} + \frac{d(rVz)}{dZ} = 0 \quad (10)$$

Внутрішній шар. Підставивши в (10) значення із (7, 5) отримаємо

$$\frac{d(rVr_1)}{dr} = -\frac{d}{dz} \left(r \cdot \frac{Q_1 + \frac{Q_2}{H} Z}{\pi r_*^2} \right)$$

Після інтегрування й розподілу змінних отримане рівняння розрахунків радіальних складових швидкості у внутрішньому шарі

$$Vr_1 = \frac{Q_2}{\pi r_* H} - \frac{Q_2 r}{2\pi r_*^2 H} = \frac{Q_2}{\pi r_* H} \left(1 - \frac{r}{2r_*} \right) \quad (11)$$

Зовнішній шар

$$\frac{d(rVr_2)}{dr} = -\frac{d}{dz} \left[r \cdot \frac{Q_2 - \frac{Q_2}{H} Z}{\pi(r_0^2 - r_*^2)} \right]$$

Використовуючи граничну умову: $r = r_*$;

$$Vr_2 = \frac{Q_2}{2\pi r_* H}, \text{ і інтегруючи, отримаємо}$$

$$Vr_2 = \frac{Q_2(r^2 - r_0^2)}{2\pi r H (r_0^2 - r_*^2)}; \quad (12)$$

Фракційна ефективність виділення часток в осаджувальних центрифугах

В обортовому роторі центрифуги на тверді частки забруднень діють наступні сили [5, 6]

- відцентрова сила

$$F_y = m\omega^2 r \quad (13)$$

- сила опору середовища

$$F_c = 3\pi d\mu \left(\frac{dr}{dt} + V_r \right) \quad (14)$$

де $\frac{dr}{dt}$ - швидкість переміщення часток щодо потоку рідини; V_r - швидкість стоку периферійного потоку у внутрішній.

Рівняння руху часток щодо рідкого середовища в рухливій системі координат

$$m\omega^2 r = 3\pi d\mu \left(\frac{dr}{dt} + Vr \right) \quad (15)$$

Перетворимо (15) до виду

$$\frac{dr}{dt} = \frac{m\omega^2 r}{3\pi d\mu} - Vr \quad (16)$$

Відзначимо, що

$$m\omega^2 r = 3\pi d\mu \left(\frac{dr}{dt} + V_r \right) \quad (17)$$

Підставивши (17) в (16) отримаємо

$$V_z \frac{dz}{dt} = \frac{1/6 \pi d^3 \rho_T \omega^2 r}{3\pi d\mu} - \frac{Q_2}{\pi H} \left(\frac{1}{r} - \frac{r}{2r_*^2} \right) \quad (18)$$

Розділимо змінні в рівнянні (18), одержимо:

$$\frac{dr}{r} = \frac{d^2 \rho_T \omega^2 \pi_*^2 dr}{(Q_1 + Q_2 \frac{Z}{H}) 18\mu} + \frac{Q_2 \pi_*^2 dz}{\pi H (Q_1 + Q_2 \frac{Z}{H})} \left(\frac{1}{2r_*^2} - \frac{1}{r_{cp}^2} \right) \quad (19)$$

Дане рівняння приведені до інтегрального виду, шляхом заміни поточного радіуса r його середнім значенням

$$r_{cp} = \frac{r + r_*}{2}; \quad (20)$$

Складові рівняння (20) є інтегруєними із застосуванням табличних інтегралів. Інтегрування лівої частини розглянемо докладніше

$$\int_r^{r_*} \frac{dr}{r} = \ln \frac{r_*}{r} \quad (21)$$

У роботі американських вчених Сілліберті та Ланкастера [7] замічено, що відношення $\frac{r_*}{r} = \frac{1}{1-\eta}$, де η – ефективність уловлювання частки діаметром d або фракційна ефективність. Перетворення рівняння (21) приведе до виду $\frac{(r_* - r)}{r_*} = \eta$.

Після інтегрування рівняння (19) отримане

$$\ln \frac{1}{1-\eta} = \frac{d^2 \rho_T \omega^2 \pi_*^2 \cdot H}{Q_{\omega} \cdot 18\mu} \ln \frac{Q_{20} r Q_{10}}{Q_{10}} - \ln \frac{Q_{20} + Q_{10}}{Q_{10}} \left(\frac{1}{2r_*^2} - \frac{1}{r_{cp}^2} \right) \quad (22)$$

Тут підкреслене, що $Q_1 = Q_{10}$; $Q_2 = Q_{20}$ – витрати в момент входу в центрифугу, тобто при $Z=0$.

Позначимо:

$$A = \frac{d^2 \rho_T \omega^2 \pi_*^2 H}{18\mu Q_{20}} \ln \frac{Q_{20} + Q_{10}}{Q_{10}} - r_*^2 \left(\frac{1}{2r_*^2} - \frac{1}{r_{cp}^2} \right) \cdot \ln \frac{Q_{10} + Q_{20}}{Q_{20}}; \quad (23)$$

Замінивши в рівняння (22) рівнянням з (23), отримаємо

$$\eta_1 = \frac{\exp A - 1}{\exp A} \quad (24)$$

Рівняння (24) є залежність фракційної ефективності вловлювання часток від усіх параметрів центрифуги, що впливають на неї, рідини та твердих часток.

Для перевірки працездатності рівняння (24) були виконані перевірочні розрахунки стосовно до автотракторної центрифуги з наступними параметрами: $n = 6\,000 \text{ } ^\circ/\text{хв}$; $\omega = 628 \text{ с}^{-1}$; $H = 65 \text{ мм}$; $r_1 = 36,5 \text{ мм}$; $r_2 = 20 \text{ мм}$; $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$; $Q = Q_{20} + Q_{10} = 40 \text{ } ^\circ/\text{хв}$; $Q_2 = Q_1/Q = 4 \text{ } ^\circ/\text{хв}$; $Q_1 = 36 \text{ } ^\circ/\text{хв}$, $\rho_m = 2700 \text{ кг/м}^3$.

Були пораховані значення η при збільшенні швидкості обертання ротора центрифуги до $n = 10\,000 \text{ } ^\circ/\text{хв}$ методом вакуумування зливної порожнини.

Зведена таблиця фракційної ефективності виділення часток у внутрішньому шарі автомобільної центрифуги наведена нижче.

Таблиця 1. Фракційна ефективність η % осаджувальної автотракторної центрифуги.

$d_q, \text{мкм}$	1	10	15	20	25	30	50
$\eta_1(\omega = 628 \frac{1}{\text{с}})$	-12,6	+1,98	+17,77	+35,6	+53,0	+68,0	+96,5
$\eta_1(\omega = 1040 \frac{1}{\text{с}})$	-12,31	+23,84	+53,2	+76,3	+90,2	+96,7	+99,2

Фракційна ефективність у зовнішньому (периферійному) шарі.

Вихідне рівняння руху часток у зовнішньому шарі аналогічно внутрішньому шару (14). Підстановка значень складових швидкості периферійного шару (6, 8, 12, 17) дає залежність

$$\eta_2 = \frac{r_0 - r_{cp}}{r_0 - r_*} = d^2 \cdot \frac{\pi \rho_m \omega^2 (r_0 + r_*) r_{cp}^2 H \ln \frac{Q_{10}}{Q_{10} - Q_{20}}}{9\mu (r_0 + r_{cp}) Q_{20}} + \frac{(r_{cp} - r_0) \ln \frac{Q_{10}}{Q_{10} - Q_{20}}}{\pi (r_0 - r_*)} \quad (26)$$

Для наведеної центрифуги показники ефективності мають такі значення

Таблиця 2. Значення η_2

$d, \text{мм}$	1,0	10,0	15,0
$\eta_2 \%$	-1,36	41,96	100

Отримані показники фракційної ефективності

$$\frac{Q_2 - Q_2 \frac{Z}{H}}{\pi (r_0^2 - r_*^2)} \cdot \frac{dr}{dz} = \frac{d^2 \rho_m \omega^2 r}{18\mu} + \frac{Q_2 (r^2 - r_0^2)}{2\pi H r (r_0^2 - r_*^2)} \quad (25)$$

Після перетворення отримане рівняння фракційної ефективності

$$\eta_2 = \frac{r_0 - r_{cp}}{r_0 - r_*} = d^2 \cdot \frac{\pi \rho_m \omega^2 (r_0 + r_*) r_{cp}^2 H \ln \frac{Q_{10}}{Q_{10} - Q_{20}}}{9\mu (r_0 + r_{cp}) Q_{20}} + \frac{(r_{cp} - r_0) \ln \frac{Q_{10}}{Q_{10} - Q_{20}}}{\pi (r_0 - r_*)} \quad (26)$$

сті відповідають даним власних експериментальних досліджень і відомим даним.

У випадку, якщо відомий фракційний склад поступаючих на очищення часток, розрахунок підлягає також загальна ефективність їх уловлювання центрифугою [8].

$$\eta_{\text{обш}} = \sum \frac{\eta_{i2} f_i}{100} \frac{Q_{20}}{Q} + \sum \frac{\eta_{i1} f_i}{100} \frac{Q_i}{Q_3} \frac{\eta_{i2}}{100} \quad (27)$$

де η_{i2} , η_{i1} - фракційна ефективність уловлювання часток, що поступили відповідно з периферійним і приосьовим потоками; f_i – масовий вміст часток даної фракції в %.

Висновки. Розглянуто теоретичний метод оцінки можливостей силових відцентрових очисників, центрифуг, застосовуваних у сучасних ав-

томобілях і сільськогосподарських машинах. Були порашовані значення η (фракційна ефективність) при збільшенні швидкості обертання ротора центрифуги до $n=10\,000$ об/хв методом вакуумування зливної порожнини. Отримані показники фракційної ефективності відповідають даним власних експериментальних досліджень і відомим даним

Список використаної літератури:

1. Лившиц В.П. Устройство и основы эксплуатации автомобилей. Сб. заданий / В.П. Лившиц - М.: Транспорт, 1991. – 318 с.
2. Белякин П.Н. Промышленная чистота машин. / П.Н. Белякин, В.М. Данилов – М.: Машиностроение, 1982. – с. 224.
3. Соколов В.И. Центрифугирование. / В.И. Соколов – М.: Химия, 1976. – с. 408.
4. Романков Л.Г. Гидромеханические процессы химической технологи. / Л.Г. Романков, М.И. Курочкина – Л.: Химия, 1982. – с. 288.
5. Пирунов А.И. Обеспыливание воздуха./А.И. Пирунов – М.: Стройиздат, 1981. –с.296.
6. Калашников А.Н. Расчет характеристик прямоточных каплеуловителей для компрессорных станций попутного нефтяного газа./ А.Н. Калашников, А.Р. Якуба - Вісник СумДУ, №9(42), 2002. – с. 67 – 73.
7. Ciliberti D.F., Lancaster B.B. Performance of rotary flow Cyclones. Alche journal, Val. 22, №2, 1976. p.394 – 399.
8. Герасимов В.М. Расчет фракционной эффективности аппаратов со встречными закрученными потоками./ В.М. Герасимов, А.Р Якуба - Вісник СумДУ, №9, 2002. – с. 60 – 67.

Горовий М.В. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ.

Проанализирован процесс очистки смазочных масел в автотракторной осадительной центрифуге, разработана физическая модель очистки от твердых включений. Получены уравнения расчета поля скоростей и фракционной эффективности в различных участках центрифуги. Показатели фракционной эффективности соответствуют полученным данным собственных и извештных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: моторное масло, центрифуга, ,скорость, механические примеси.

Horovyi M.V. EFFICIENCY CENTRIFUGAL CLEANING ENGINE OILS.

Improved quality and machine reliability resource can be successfully solved only in conditions of high purity fluids in the cavities of the working units, assemblies and systems.

Thorough cleaning of the workers, especially lubricants, fluids, prevents premature wear of parts, components and assemblies and increases the operational reliability of all kinds of vehicles, road - building, agricultural and other machinery.

Industrial machinery reliability problem is currently being addressed through the application in their production and operation of specialized techniques and oil purification equipment. It uses fine filters, and high-performance cleaners, based on the use of force fields. Analysis shows that by using power cleaners can achieve a high degree of purification (equal to 3.2 microns and below), the wiper resource many times longer than that of the most effective filters.

The theoretical method for assessing the capacity of power of centrifugal cleaners, centrifugal precipitation type used in today's cars and agricultural machinery for separating oil from fine particles of solid pollutants

The equations for calculating the velocity field and the fractional efficiency in different parts of the centrifuge. Indicators fractional efficiency correspond to the data obtained and their own well-known experimental studies.

Keywords: motor oil, centrifuge, speed, mechanical impurities.

Стаття надійшла в редакцію: 27.08.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Павлюченко А.М.