

performance / J. Zhang, P. Dong // J. Struct. Engrg. – 1000. – Vol. 116, Issue 3. – P. 306-315.

7 Ham J., David Q. Payne. Surface hardening of high speed steel by carbide laser treatment / Proceeding of the International Conference on Production Engineering. – Tokio, 1974. – P. 13-19.

8 Korolev A.V., Korolev A.A. Method of relaxation of residual stresses // Patent RU No. 1478031 Bul. №1 17.05.1011.

9 Korolev A.V., Chistyakov A.M., Krivega V.A., Moiseev G.N. Method of oscillating aging of parts // Patent of the Russian Federation No. 1140841. Bul. № 8 10.03.99

### РЕЗЮМЕ

Важнейшей задачей прецизионного машиностроения на современном этапе является разработка более эффективных технологических процессов изготовления деталей, обеспечивающих не только достижение высокой точности при минимуме затрат, но и сохранение первоначальных показателей точности в течение всего срока службы изделия. В статье авторами рассматривается метод стабилизации накопленной деформации деталей, основанной на применении ультразвуковой энергии.

### ТҮЙІН

Қазіргі кезеңде прецизиондық машина жасаудың маңызды талабы болып бөлшектердің өндіру процессінің ең тиімді әдістерін әзірлеуде тек ең төменгі шығындармен дәлдікке қол жеткізуді қамтамасыз ету ғана емес, және де өнімнің барлық қызмет көрсету кезеңінде алғашқы дәл көрсеткішті сақтау. Автордың мақаласында ультрадыбыстық энергияда қолданылатын бөлшектердің жинақталған деформациясын тұрақтандыру әдісі қарастырылады.

УДК 621.43.038.772

**Елемесова А. Е.**, магистрант

**Кухта В. С.**, кандидат технических наук, доцент

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им.Жангир хана, г.Уральск, Казахстан

### ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ МАСЛА В ДВС

#### Аннотация

В данной статье рассматриваются теоретические данные и математическая модель центробежных фильтров по очистке масла. Определена необходимость повышения точности диагностирования технического состояния центробежных фильтров.

**Ключевые слова:** *Масляная центрифуга, центробежный фильтр, двигатель, масло, давление, центробежный маслоочиститель математическая модель, момент инерции, крутящий момент, фильтр тонкой очистки, механическая примесь, очистка масла, момент сопротивления.*

За последнее время в автомобильных двигателях для очистки масла получают все большее применение очистители центробежного типа. Центробежные очистители (центрифуги), в которых очистка жидкостей от твердых частиц осуществляется под действием центробежного поля. Как в отстойниках, так и в центрифугах жидкость очищается только от тех частиц, плотность которых больше плотности самой жидкости. На автомобилях и тракторах применяют центрифуги, имеющие частоту вращения от 5000 до 8000 мин<sup>-1</sup>. Скорость осаждения твердых частиц загрязнения в центробежном поле таких центрифуг от 1000 до 2000 раз выше, чем в гравитационном поле отстойников. В зависимости от характера привода центробежные очистители подразделяют на центрифуги с гидравлическим, механическим, электрическим, а также газовым (от отработавших газов) и пневматическим приводами [1]. Особенно большое распространение получили центрифуги с гидравлическим приводом.

Последние подразделяются на внешние и внутренние, а также – реактивные и активные. Очищающая способность центрифуг зависит не только от частоты вращения ротора, но и от организации в ней потока жидкости. По организации потока жидкости в работе центробежные очистители делятся на центрифуги с однокамерным, многокамерным роторами, ротором со спиральной камерой, а также ротором с пакетом конических тарелок. Во всех роторах, за исключением однокамерного, используют специальные вставки, посредством которых весь поток жидкости в роторе делится на несколько параллельно или последовательно направленных узких слоев, что значительно улучшает условия центробежной очистки жидкости.

Масляная центрифуга [3] представляет собой центробежный фильтр тонкой очистки масла от механических примесей.

В автомобильных и тракторных двигателях наибольшее распространение получили двухсопловые центрифуги с гидрореактивным приводом. Действие этого привода основано на использовании реакций струй масла, вытекающих из сопел. Отличаясь простотой устройства и обслуживания при эксплуатации, центрифуги с гидрореактивным приводом обеспечивают высокие угловые скорости вращения ротора и, следовательно, качественную очистку масла. В современных центрифугах подача масла под давлением от 0,25 до 0,6 МПа обеспечивает вращение ротора со скоростью от 5000 до 8000 мин<sup>-1</sup>.

Реактивная сила струи масла (Н), вытекающего из одного сопла при установившемся режиме вращения ротора ( $n = \text{const}$ ), определяется на основании теоремы импульсов сил [3]:

$$P = \frac{\rho_M \cdot V_{FЦ}}{2} \cdot \left( \frac{V_{FЦ}}{2 \cdot \varepsilon \cdot F_C} - \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R \right) \quad (1)$$

где:  $\rho_M$  - плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{FЦ}$  - количество масла, проходящего через сопла центрифуги, м<sup>3</sup>/с;

$\varepsilon$  - коэффициент сжатия струи масла, вытекающего через сопло;

$F_C$  - площадь отверстия сопла, м<sup>2</sup>;

$n$  - частота вращения ротора, мин<sup>-1</sup>;

$R$  - расстояние от оси сопла до оси вращения ротора, м.

Коэффициент сжатия струи масла изменяется в пределах от 0,9 до 1,1 и для наиболее распространенных форм сопел равен 0,9 [3].

Крутящий момент (Н·м) создаваемый двумя соплами:

$$M_{KF} = 2 \cdot P \cdot R \quad (2)$$

При установившемся вращении ротора крутящий момент  $M_{KF}$  уравновешивается моментом сопротивления:

$$M_{KF} = M_C \quad (3)$$

Величина  $M_C$  зависит от силы трения в подшипниках и от частоты вращения ротора:

$$M_C = a + b \cdot n \quad (4)$$

где:  $a$  – момент сопротивления в начале вращения ротора, Н·м;

$b$  – скорость нарастания момента сопротивления, (Н·м)/мин<sup>-1</sup>;

По опытным данным, [4],  $a = (5 \dots 20) \cdot 10^{-4}$  Н·м;  $b = (0,03 \dots 0,1) \cdot 10^{-4}$  (Н·м)/мин<sup>-1</sup>

Из уравнения (3) после подстановки значения  $M_{KF}$  и  $M_C$  можно определить зависимость частоты вращения ротора от основных конструктивных и гидравлических параметров центрифуги.

$$n = \frac{\rho_M \cdot V_{FЦ}^2 \cdot R}{(2 \cdot \varepsilon \cdot F_C) \cdot a} = \frac{30 \cdot \rho_M \cdot V_{FЦ}^2 \cdot R}{((2 \cdot \varepsilon \cdot F_C) \cdot a) \cdot (b + \pi \cdot \rho_M \cdot V_{FЦ} \cdot R)} \quad (5)$$

Качественная очистка масла достигается при  $n = (4500 \dots 6500)$  мин<sup>-1</sup>. Расход масла (м<sup>3</sup>/с) через два сопла:

$$V_{\text{р.ц}} = 2\alpha F_c \sqrt{\frac{p}{\rho_M}} \quad (6)$$

где:  $\alpha$  - коэффициент расхода масла через сопла  
 $p$  - давление масла перед соплом, Па.

Приведена математическая модель центробежного фильтра очистки масла.

Пусть в некотором замкнутом резервуаре содержится жидкость плотностью  $\rho$ . В резервуаре поддерживается давление  $p$ . На расстоянии  $h$  от поверхности имеется отверстие радиуса  $r$ , из которого жидкость может свободно вытекать в среду с давлением  $\Pi$ . Тогда скорость истечения и можно определить по формуле Бернулли.

$$\frac{p}{\rho} + g \cdot h = \frac{\Pi}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (7)$$

Отсюда

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{p - \Pi}{\rho} + 2 \cdot g \cdot h} \quad (8)$$

Если давление  $p$  велико по сравнению с  $\Pi$  (атмосферное), то пренебрегая  $\Pi$  и  $h$ , получим

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{p}{\rho}} \quad (9)$$

Если  $S$  – площадь поперечного сечения отверстия радиуса  $r$ , то объем жидкости, вытекающий в единицу времени будет равен

$$V = v \cdot S = v \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p}{\rho}} \quad (10)$$

Если  $\alpha$  коэффициент сжатия струи, то расход равен

$$V = \alpha \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p}{\rho}} \quad (11)$$

Если расстояние от оси вращения равно  $R$ , то момент количества движения вытекающего объема жидкости, создающего вращение центрифуги будет равен

$$M = R \cdot \rho \cdot V \cdot (v - n \cdot R) \quad (12)$$

где  $n$  – частота вращения ротора центрифуги.

Используя соотношение (6), можно записать дифференциальное уравнение движения центрифуги

$$J \cdot \frac{dn}{dt} = R \cdot \rho \cdot V \cdot (v - n \cdot R) \quad (13)$$

где  $J$ -момент инерции ротора центрифуги относительно оси вращения.

Подставив в (7) значения  $V$  и  $v$  из (5) и (3), получим

$$J \cdot \frac{dn}{dt} = R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p}{\rho}} \cdot \left( \sqrt{2 \cdot \frac{p}{\rho}} - n \cdot R \right) \quad (14)$$

Когда давление  $p$ , а следовательно и скорость  $v$  постоянны, решение уравнения выписывается в явном виде

$$n = \frac{1}{R} \cdot \left( \vartheta - (\vartheta - R \cdot n_0) \cdot e^{-\frac{R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta}{J} t} \right) \quad (15)$$

На самом деле при вращении ротора действует момент сопротивления  $M_c$ . Этот момент зависит от трения в подшипниках и от скорости вращения ротора. При расчетах принимается [3]

$$M_c = a + b \cdot n \quad (16)$$

где  $a$  – момент сопротивления в начале вращения ротора;

$b$  – скорость нарастания момента сопротивления.

В этом случае дифференциальное уравнение движения ротора будет иметь вид

$$J \cdot \frac{dn}{dt} = R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta \cdot (\vartheta - n \cdot R) - (a + b \cdot n) \quad (17)$$

Отсюда

$$\frac{dn}{(R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta^2 - a) - (R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta + b) \cdot n} = \frac{dt}{J} \quad (18)$$

Решение будет иметь вид

$$n = \frac{1}{(R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta + b)} \cdot (R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta^2 - a) - C \cdot e^{-\frac{R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta}{J} t} \quad (19)$$

При  $t=0$ ,  $n=n_0$   $C = (R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta^2 - a) - (R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta + b) \cdot n_0$  решение примет вид

$$n = \frac{(R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta^2 - a)}{(R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta + b)} - \left( \frac{(R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta^2 - a)}{(R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta + b)} - n_0 \right) \cdot e^{-\frac{R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta}{J} t} \quad (20)$$

В пределе получим угловую скорость установившегося движения

$$n = \frac{(R \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta^2 - a)}{(R^2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \vartheta + b)} \quad (21)$$

Это соотношение может быть положено в основу расчета угловой скорости вращения ротора центрифуги при стабильном режиме работы.

С течением времени фильтр засоряется, что приводит к отложению продуктов засорения на стенках центрифуги. Причем толщина отложений весьма значительная. При этом должен меняться момент инерции ротора.

$$J_{\text{ротора}} = J_{\text{корпуса}} + J_{\text{масла}} + J_{\text{загрязнений}} \quad (22)$$

где  $J_{\text{ротора}}$  - момент инерции ротора центрифуги;

$J_{\text{корпуса}}$  - момент инерции корпуса ротора;

$J_{\text{масла}}$  - момент инерции масла в роторе;

$J_{\text{загрязнений}}$  - момент инерции слоя загрязнений.

$$J_{\text{масла}} = \frac{m_M \cdot R_M^2}{2} = \frac{\pi \cdot h \cdot (R - \delta)^4 \cdot \rho}{2} \quad (23)$$

где  $m_M$  - масса масла в роторе;

$R_M$  - радиус масляного слоя;

$h$  - высота ротора;

$\delta$  - толщина слоя отложений.

$$J_{\text{масла}} = \frac{\pi \cdot h \cdot \rho_3 \cdot (R^4 - (R - \delta)^4)}{2} \quad (24)$$

где  $\rho_3$  - плотность загрязнения.

$$J_{\text{ротора}} = J_{\text{корпуса}} + \frac{\pi \cdot h \cdot (R - \delta)^4 \cdot \rho}{2} + \frac{\pi \cdot h \cdot \rho_3 \cdot (R^4 - (R - \delta)^4)}{2} \quad (25)$$

Момент инерции корпуса ротора в процессе эксплуатации не меняется. Влияние толщины слоя отложений на момент инерции ротора представлено на рисунке 1.

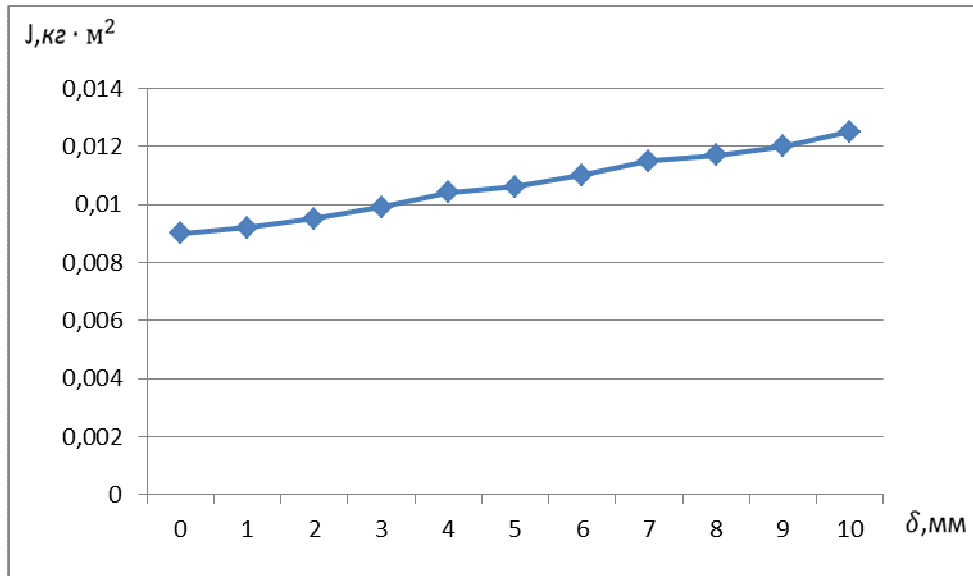


Рисунок 1— Влияние толщины отложений на момент инерции ротора

Большое влияние момент инерции ротора оказывает на время разгона ротора центрифуги от состояния покоя до номинальных оборотов. [2]

При установившемся вращении ротора крутящий момент уравновешивается моментом сопротивления. Тогда на основании закона сохранения момента импульса тела относительно оси можно записать:

$$J_{\text{ч}} \cdot \omega_{\text{ч}} = J_{\text{г}} \cdot \omega_{\text{г}} \quad (26)$$

где  $J_{\text{ч}}, J_{\text{г}}$  - соответственно момент инерции чистого и загрязненного ротора;

$\omega_{\text{ч}}, \omega_{\text{г}}$  - соответственно угловая скорость чистого и загрязненного ротора.

Отсюда

$$\omega_{\text{г}} = \frac{J_{\text{ч}} \cdot \omega_{\text{ч}}}{J_{\text{г}}} = \frac{J_{\text{ч}} \cdot \omega_{\text{ч}}}{J_{\text{ч}} + J_{\text{загрязненный}}} \quad (27)$$

Тогда можно записать:

Влияние толщины отложений на угловую скорость ротора представлено на рисунке 2.

$$\omega_{\text{г}} = \frac{\omega_{\text{ч}}}{1 + \frac{J_{\text{загрязненный}}}{J_{\text{ч}}}} = \frac{\omega_{\text{ч}}}{1 + \varepsilon} \quad (28)$$

где  $\varepsilon = \frac{J_{\text{загрязненный}}}{J_{\text{ч}}}$  - степень загрязнённости ротора центробежного фильтра очистки масла.

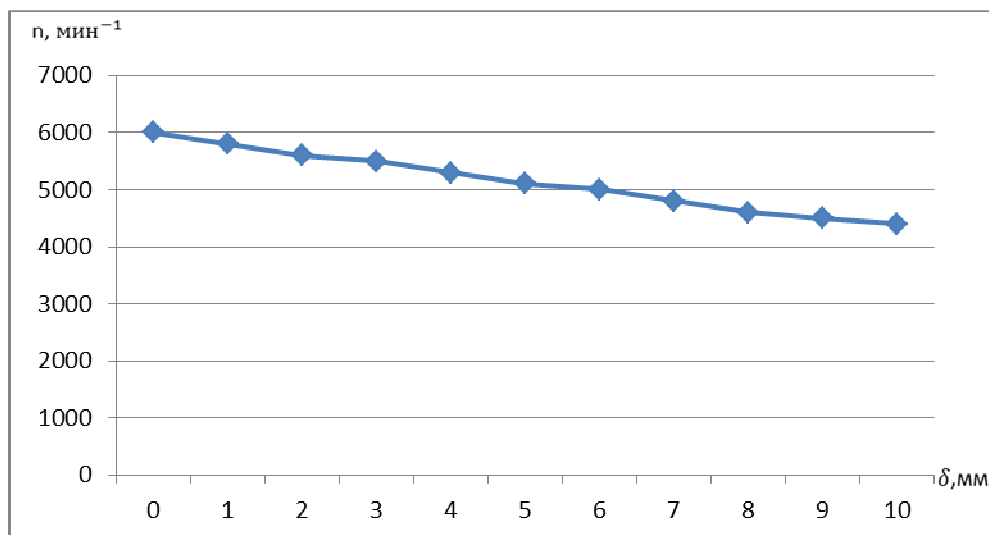


Рисунок 2— Влияние толщины отложений на частоту вращения ротора

Как следует из рисунка 2, уменьшение частоты вращения ротора центрифуги при ее загрязнении до предельного состояния составляет всего чуть больше 1500 мин<sup>-1</sup>. Поэтому определить степень загрязненности ротора центробежного фильтра очистки масла существующими методами, и в том числе по времени свободного выбега, весьма затруднительно

Таким образом, для диагностирования как общего состояния центрифуги, так и ее загрязненности необходимо точно контролировать частоту вращения ротора центробежного фильтра очистки масла на номинальном режиме работы двигателя с высокой точностью.

В элементах по очистке масла центрифуга занимает главное место и является сегодня универсальным средством по очистке масла. Определена необходимость повышения точности диагностирования технического состояния центробежных фильтров очистки масла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Григорьев М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А.Григорьев. – М.: Машиностроение, 1983. – 148 е., ил
- 2 Редреев Г.В., Ключев И.А., Сиряк А.С. Восстановление и контроль очистительной способности центробежных масляных фильтров автотракторных двигателей [Текст] // Динамика систем, механизмов и машин: Матер. VIII междуна. науч.-техн. конф. Книга II. – Омск, ОмГТУ, 2012 г. – С. 37-40.
- 3 Автомобили КАМАЗ: вопросы и ответы / П.С. Ярьско и др. – М.: Транспорт, 1989. – 286 с.
- 4 Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2003. – 496 е.: ил.

#### ТҮЙІН

Бұл мақалада ортадан тепкіш сүзгінің теориялық деректері және математикалық моделі ұсынылады. Ортадан тепкіш май тазарту сүзгілерінің техникалық күйін диагностикалау дәлдігін арттыру қажеттілігі анықталды.

#### RESUME

This article presents the theoretical information and the mathematical model of the medium filter. The necessity of increasing the accuracy of diagnosing the technical condition of centrifugal oil purification filters is determined.