

УДК 665.521.5/621.431.7:63

UDC 665.521.5/621.431.7:63

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ РОТОРА
ЦЕНТРИФУГИ****OPTIMIZING THE SHAPE OF A
CENTRIFUGE ROTOR**

Кладов Дмитрий Николаевич
Магистр
E-mail: kladov95@bk.ru

Kladov Dmitry Nikolaevich
undergraduate
E-mail: kladov95@bk.ru

Нагорский Леонид Алексеевич
к.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код=1875-5381
E-mail: Nagorsky57@mail.ru

Nagorsky Leonid Alekseevich
Cand.Tech.Sci., professor
RSCI SPIN-code = 1875-5381
E-mail: Nagorsky57@mail.ru

*Азово-Черноморский инженерный институт филиал
ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрной
университет» г. Зерноград Ростовской области,
Россия*

*Azov-Black Sea engineering institute of the Don
state agrarian university, Zernograd, Rostov
region, Russian Federation*

Использование регенерированных масел сокращает расход свежих масел на доливку, а фильтрация масла в процессе работы удлиняет срок их службы и сокращает расход свежих масел на замену. Для восстановления отработанных масел применяются разнообразные технологические операции, основанные на физических, физико-химических и химических процессах и заключаются в обработке масла с целью удаления из него продуктов старения и загрязнения. Исследования показали, что наиболее эффективным средством восстановления качества отработанных масел являются малогабаритные регенерационные установки. Главной трудностью при создании малогабаритных регенерационных установок является выбор достаточно эффективного, экологически безопасного и экономически оправданного способа регенерации отработанных масел, а также его аппаратного оформления. Данная работа направлена на создание эффективного центробежного очистителя

The use of regenerated oils reduces the consumption of fresh oils for refilling, while oil filtration during the operation lengthens their service life and reduces the consumption of fresh oils for replacement. To restore waste oils, a variety of technological operations are used, based on physical, physicochemical and chemical processes. They are aimed at treating the oil in order to remove aging products and pollution from it. The studies have shown that the most effective means of recovering the quality of waste oils are small-size regeneration plants. The main difficulty in creating small-sized regeneration plants is the selection of a sufficiently effective, environmentally safe and economically justified method for the regeneration of waste oils, as well as its hardware design. This work is aimed at creating an efficient centrifugal cleaner

Ключевые слова: МОТОРНОЕ МАСЛО, ФАКТОР РАЗДЕЛЕНИЯ, РОТОР ЦЕНТРИФУГИ, ОТРАБОТАННОЕ МАСЛО, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ

Keywords: ENGINE OIL, SEPARATION FACTOR, CENTRIFUGE ROTOR, WASTE OIL, PURIFICATION EFFICIENCY

Doi: 10.21515/1990-4665-132-082

Моторные масла, широко используемые в автотракторных двигателях, при работе подвергаются так называемому «старению» - изменению эксплуатационных свойств в результате контакта с металлами (т.е. при соприкосновении масел с нагретыми частями двигателя происходит их термическое разложение (крекинг), в результате которого

образуются легкие летучие и тяжелые продукты), воздействия окружающего воздуха, высокой температуры, давления и других факторов. Под их влиянием происходит разложение, окисление, полимеризация и конденсация углеводов, неполное сгорание, разжижение горючим, загрязнение посторонними веществами и обводнение масел. В результате старения образуются такие продукты, как органические кислоты, жиры, сажа, шлам, продукты распада присадок.

При эксплуатации двигателей в маслах накапливаются асфальто-смолистые соединения, коллоидальные кокс и сажа, различные соли, кислоты, а также металлическая пыль и стружка, минеральная пыль, волокнистые вещества, вода и другие компоненты ухудшающие качество моторного масла, поэтому масла подлежат замене, в результате чего на предприятиях эксплуатирующих автомобили и тракторы скапливается значительное количество отработанных масел.

Отработанные нефтепродукты токсичны, имеют невысокую степень биоразлагаемости (10-30%). Они способны накапливаться в окружающей природной среде и могут вызвать сдвиг экологического равновесия. Содержащиеся в отработанном масле вещества, накапливаясь в почве и атмосфере, могут негативно влиять на иммунную систему человека, работу печени и почек.

Утилизация отработанных нефтепродуктов как опасных отходов производства в настоящее время регламентируется приказом министерства Топлива и энергетики Российской Федерации № 311 от 25.09.98 [1].

На практике можно выделить три пути движения отработанного масла.

Первый – это неконтролируемая утилизация. Это огромная экологическая проблема.

Очевидно, что такой путь утилизации абсолютно неприемлем, т.к. наносит огромный непоправимый ущерб окружающей среде.

Второй путь - сжигание отработанного масла или использование его в виде топлива.

Этот способ утилизации также экологически небезопасен. Выбросы продуктов сгорания не менее опасны для человека, чем само отработанное масло. Продукты сгорания оказывают нервнопаралитическое воздействие, способствуют развитию болезни сердечнососудистой системы и двигательного аппарата, вызывают кожные и онкологические заболевания.

Третий путь - регенерация отработанного масла с целью восстановления его свойств.

Отработанные масла из автотракторных двигателей, подлежащие обязательной регламентной замене при техническом обслуживании, обладают достаточным запасом эксплуатационных свойств и могут быть восстановлены и повторно использованы. Иногда достаточно удалить продукты износа двигателей, механические загрязнения, попавшие в двигатель вместе с воздухом, топливом и маслом, и продукты старения самого масла, чтобы получить базовое масло достаточно высокого качества.

Одним из путей использования отработанных масел является применение упрощенной технологии восстановления, разработанной в Азово-Черноморском инженерном институте, основанной на глубокой очистке отработанного масла от продуктов старения в центробежном поле высокой напряженности и удаления водно-топливных фракций методом испарения.

Технология заключается в следующем. В масляном баке установки отработанное масло нагревается обычно электронагревателем до рабочей температуры 85-90 °С. По достижении маслом рабочей температуры в работу включается насос и под давлением подает масло в

высокоскоростную центрифугу, где происходит очистка от загрязнений. Очищенный поток масла из центрифуги сливается в бак на имеющуюся в нем испарительную плоскость (таким образом, происходит испарение воды и топливных фракций из очищаемого масла). Очистка от примесей достигается многократным пропуском масла через высокоскоростной центробежный очиститель (частота вращения ротора порядка 10000-12000 об/мин).

Работоспособность восстановленного отработанного масла доказана многочисленными эксплуатационными испытаниями, проведенными в различных сельскохозяйственных предприятиях и на Северо-Кавказской машиноиспытательной станции. Решающим фактором для оценки состояния моторного масла и определения возможности его дальнейшего использования являются предельные значения показателей качества, таких как содержание нерастворимого осадка, вязкость, плотность, щелочное число, температура вспышки и другие. Каждый из вышеперечисленных показателей характеризует вполне определенные свойства, и общая оценка работоспособности масла может производиться при помощи предложенного в ряде работ, комплексного показателя качества CQ , величина которого определяется с учетом содержания нерастворимого осадка и щелочного числа [2].

Время достижения предельных значений комплексного показателя качества и, соответственно необходимости смены масла, зависит от величины начальных значений отдельных показателей качества, а также и от скорости изменения этих показателей качества при работе восстановленного масла в двигателе [3]. Учитывая, что начальные значения показателей качества восстановленного масла несколько отличаются от значений тех же показателей свежего моторного масла, время работы восстановленного масла до его смены получается меньше, чем у свежего. Это может привести к изменению сложившейся планово-

предупредительной системы технического обслуживания автомобилей, при которой замена моторного масла производится при втором техническом обслуживании, периодичность которого, в зависимости от условий эксплуатации, составляет 10-12 тыс. км.

Величина начальных значений показателей качества восстановленного масла в значительной мере зависит от степени очистки и, следовательно, от напряженности центробежного поля очистителя, поэтому повышение эффективности очистки отработанного моторного масла является актуальной задачей.

Для расчета гидропривода реактивных центрифуг в Азово-Черноморском инженерном институте была разработана методика, позволяющая проектировать высокоскоростные центрифуги, отличающиеся высокой сепарационной эффективностью. Расчет гидропривода центрифуг позволяет определить оптимальный радиус вылета сопла и диаметр проходного сечения сопел, обеспечивающих максимальную угловую скорость ротора и построить скоростную ($\omega = \varphi(\Delta p)$) и расходную характеристику ($Q = \varphi(\Delta p)$). Результаты расчетов в сочетании с разработанными принципами проектирования центробежных очистителей жидкостей позволяют получить высокоэффективные центрифуги, позволяющие осуществлять глубокую очистку отработанных масел от продуктов старения.

Сущность методики расчета сводится к решению системы уравнений (1), описывающих процесс работы гидропривода.

$$\begin{cases} 1. \eta_r = \varphi(M_c, \omega, \Delta p, Q) \\ 2. \Delta p = \varphi(\omega, r_c, \xi, W, U) \\ 3. d_c = \varphi(Q, \omega, r_c) \\ 4. M_c = \varphi(\omega, R, H, \nu, \rho) \\ 5. \xi = \varphi(Q, d_c, r_c, \omega, \Delta p, L_i) \end{cases} \quad (1)$$

В системе уравнений (1) фигурируют:

η_r - гидравлический коэффициент привода центрифуги, представляющий отношение мощности затрачиваемой на преодоление сил сопротивления вращению ротора к располагаемой мощности потока приводного масла;

Δp - перепад давлений приводного масла на входе и выходе центрифуги;

d_c - диаметр выходного поперечного сечения сопла реактивного гидропривода;

M_c - момент сопротивления вращению ротора при данной угловой скорости ротора, определяемый как сумма сопротивлений отдельных элементов, оказывающих сопротивление вращению (аэродинамического сопротивления, сопротивления в подшипниках, уплотнениях и т.д.);

ξ - коэффициент гидравлического сопротивления проточной части вращающегося ротора;

L_i – размеры каналов проточной части ротора;

W – абсолютная скорость истечения приводной жидкости из сопел;

U – переносная скорость выходного сечения сопел.

Каждая из этих величин, в свою очередь, является функцией линейных размеров ротора (диаметра D , высоты H , радиуса вылета сопла r_c , конфигурации и размеров проточной части), расхода приводного масла Q , угловой скорости ротора ω , показателей физических свойств – плотности ρ и вязкости ν приводной жидкости и среды (в общем случае воздуха), в которой вращается ротор.

Наиболее сложными являются зависимости момента сопротивления вращению ротора $M_c = \varphi(\omega)$ и коэффициента гидравлического сопротивления проточной части вращающегося ротора $\xi = \varphi(\omega)$. Это связано с изменениями режимов движения среды окружающей ротор при изменении размеров и угловой скорости ротора (ламинарное, ламинарное с вихрями Тейлора, турбулентное) и сложностью движения приводной

жидкости в проточной части вращающегося ротора. При вращении ротора цилиндрической формы, в зависимости от угловой скорости и диаметра могут существовать ламинарный режим движения около дисковой части и турбулентный около цилиндрической и наоборот, что требует применения другой формулы для определения сопротивления вращению. Для определения коэффициента гидравлического сопротивления вращающегося ротора получено эмпирическое уравнение, требующее опытного уточнения эмпирического коэффициента, однако имеющееся обобщенное значение позволяет произвести предварительный расчет.

Эффективность очистки отработанного масла высокоскоростными центрифугами с реактивным гидроприводом, зависит от многих факторов

[1], но определяющим является фактор разделения $F_r = \frac{\omega^2 \cdot D}{2 \cdot g}$,

где ω - угловая скорость ротора (c^{-1}),

D – диаметр поверхности осаждения ротора (м),

g – ускорение свободного падения (m/c^2).

Наибольший эффект повышения напряженности центробежного поля, и, как следствие, повышения эффективности очистки, достигается при увеличении частоты вращения ротора.

Повышения эффективности очистки отработанного масла можно достигнуть увеличением радиуса ротора, и, как следствие, увеличением разделяющего фактора центробежного поля, однако, увеличение радиуса ротора центрифуги приводит к увеличению момента сопротивления вращению и, как следствие, снижению угловой скорости ротора. Таким образом, функция фактор разделения в зависимости от радиуса ротора дважды обращается в ноль, что говорит о наличии экстремума – существовании ротора определенной формы (при постоянном объеме ротора с соотношением высоты и диаметра) при которой напряженность

центробежного поля и, следовательно, эффективность очистки будет максимальной.

Поскольку решение системы уравнений (1) в общем виде затруднено, попытаемся найти форму ротора, обеспечивающую максимальное значение фактора разделения как напряженности центробежного поля, отнесенной к ускорению свободного падения $\frac{\omega^2 \cdot D}{2 \cdot g}$ численными методами. Задаваясь при постоянном объеме ротора разными значениями диаметра и высоты ротора, определим численными методами величину угловой скорости и построим зависимость $\frac{\omega^2 \cdot D}{2 \cdot g} = \varphi\left(\frac{D}{H}\right)$.

При расчете делаем следующие допущения:

1. Постоянная мощность потока на привод центрифуги (фиксированное значение расхода приводной жидкости и перепада давлений).
2. Постоянные радиус вылета и поперечное сечение сопла;
3. Эффективность очистки определяется величиной $\frac{\omega^2 \cdot D}{2 \cdot g}$;
4. Конфигурация и размеры проточной части центрифуг не зависят от отношения $\frac{D}{H}$;

Расчет производился для трех типоразмеров роторов центрифуг установленных на шарикоподшипниках сверхлегкой серии, с уплотнением в виде коаксиальных цилиндров: с объемом ротора соответственно 0,5 л, 1,0 л, 2,0 л.

Результаты расчета для ротора объемом 2,0 л представлены на рисунке

1. Как видно из рисунка при $\frac{D}{H} = 0,26$ разделяющий фактор имеет максимальное значение равное 13982. Если учесть, что обычно центрифуги изготавливались с отношением $\frac{D}{H} = 0,5$, т.е. высота ротора

была больше диаметра в 2 раза, то изготовление ротора с отношением $\frac{D}{H} = 0,26$ позволит увеличить разделяющий фактор почти на 46 %.

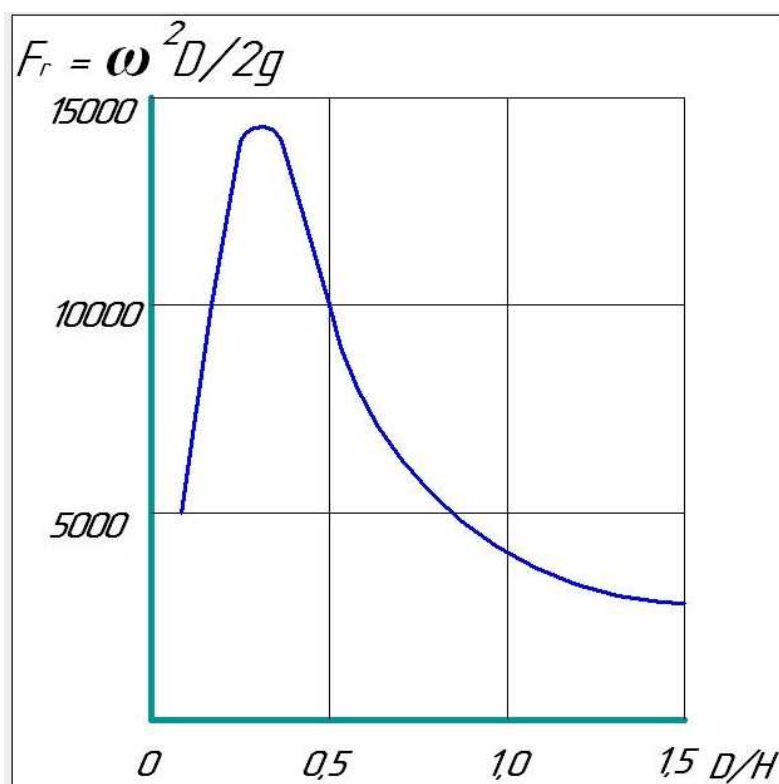


Рисунок 1 - Зависимость фактора разделения от отношения $\frac{D}{H}$

Для ротора объемом 0,5 л оптимальное отношение $\frac{D}{H} = 0,29$, а для ротора объемом 1,0 л $\frac{D}{H} = 0,23$. Следует понимать, что полученные оптимальные отношения $\frac{D}{H}$ получены при принятой мощности приводного потока, а для других значений перепада давлений и расхода приводной жидкости могут измениться.

Таким образом, можно сделать вывод, что существует оптимальная форма ротора центрифуги для очистки отработанного масла и при проектировании центрифуги необходимо определять величину $\frac{D}{H}$ обеспечивающее максимальный фактор разделения. Увеличение эффективности очистки зависит от многих факторов и, как в

рассматриваемом примере, может превышать 40%. Увеличение напряженности центробежного поля позволит более эффективно производить очистку от загрязнений отработанного моторного масла и получать восстановленное масло с более высокими значениями показателей качества, что, в свою очередь, продлит его срок службы.

Литература.

1. Инструкция об организации сбора и рационального использования отработанных нефтепродуктов в Российской Федерации № 311 утв. приказом Минтопэнерго РФ от 25 сентября 1998 г. – Москва: 2003.
2. Качанова, Л.С. Повышение эффективности очистки отработанного масла скоростными центрифугами / Л.С. Качанова, Л.А. Нагорский // Высокоэффективные технологии и технические средства в полеводстве: разработка, исследование, испытания. Сборник научных трудов. Российская академия сельскохозяйственных наук; Всероссийский научно-исследовательский проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства – зерноград, 2004, с.166-173.
3. Нагорский, Л.А. Обоснование ресурса восстановленного масла при работе в двигателе / Л.А. Нагорский, Л.Н. Годунова // – депонированная рукопись № 1039-B2005 15.07.2005.
4. Нагорский, Л.А. Определение времени достижения предельных значений показателей качества моторного масла / Л.А. Нагорский, Л.Н. Годунова // – депонированная рукопись № 1017-B2005 13.07.2005.

References

1. Instrukciya ob organizacii sbora i racional'nogo ispol'zovaniya otrabotannyh nefteproduktov v Rossijskoj Federacii № 311 utv. prikazom Mintopehnergo RF ot 25 sentyabrya 1998. – Moskva: 2003.
2. Kachanova, L.S. Povyshenie ehffektivnosti ochistki otrabotannogo masla skorostnymi centrifugami / L.S. Kachanova, L.A. Nagorskij // Vysokoehffektivnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva v polevodstve: razrabotka, issledovanie, ispytaniya. Sbornik nauchnyh trudov. Rossijskaya akademiya sel'skohozyajstvennyh nauk; Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij proektno-tekhnologicheskij institut mekhanizacii i ehlektrifikacii sel'skogo hozyajstva – Zernograd, 2004, p.166-173.
3. Nagorskij, L.A. Obosnovanie resursa vosstanovlennogo masla pri rabote v dvigatele / L.A. Nagorskij, L.N. Godunova // – deponirovannaya rukopis' № 1039-V2005 15.07.2005.
4. Nagorskij, L.A. Opredelenie vremeni dostizheniya predel'nyh znachenij pokazatelej kachestva motornogo masla / L.A. Nagorskij, L.N. Godunova // – deponirovannaya rukopis' № 1017-V2005 13.07.2005.