

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК АЧИНСКОГО НПЗ

Богатов В. Е.

научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Докшанин С. Г.

ГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

В технологических машинах нефтегазового комплекса подшипники скольжения получили широкое применение, так как они имеют такие ценные свойства, которыми не обладают подшипники качения – работоспособность в широком температурном диапазоне, стойкость в химически активной среде, виброустойчивость, бесшумность, сохранение работоспособности при недостаточной смазке.

Для эксплуатации оборудования, а также поддержания работоспособности и продления срока службы для отработавших достаточно долгий срок деталей требуются новые смазочные материалы, существенно повышающие уровень рабочих нагрузок, температур и скоростей без катастрофических последствий для узлов трения. Помимо создания абсолютно новых марок смазочного материала в последнее время находит широкое применение метод модификации существующих за счет введения в их состав различных веществ, улучшающих трибологические свойства.

Целью представленной работы является получение математической зависимости износа подшипников скольжения на основе экспериментальных данных от различных факторов для дальнейшей оптимизации условий работы опор скольжения валов центробежных насосов. Износ определялся при условии наличия базового смазочного материала, а также модифицированного твердой добавкой.

Используемый в данной работе для составления смазочных композиций в качестве добавки ультрадисперсный порошок представляет собой углеродосодержащий конденсированный продукт, полученный методом детонационного синтеза в среде углекислого газа. Порошок, используемый в смазочных композициях, представляет собой углеродную смесь, с размером частиц графита 10–40 нм. Доля графита составляет до 80 % продукта взрыва, остальная часть находится в виде высокодисперсной алмазоподобной фазы. Его хорошие адгезионные свойства способствуют прочному удержанию слоя смазочного материала на поверхности трения, локализуют участки трущихся поверхностей, образуя на них прочную пленку.

Для опор скольжения, где усталостный износ не является доминирующим, а истирание контактирующих поверхностей связано с большим количеством действующих на подшипниковый узел факторов, оценка работоспособности может выполняться по критерию износа. Процесс изнашивания рассматривается как случайная функция наработки и определяется видом [2]:

$$I(t) = a_u t^\beta + b_u.$$

Величина  $a_u$  имеет зависимость от механических свойств материала контактирующих деталей, нагруженности пары и других признаков, определяющих условия эксплуатации. Величина  $b_u$  характеризует износ деталей после окончания приработки. В связи с незначительным влиянием на износ  $U(t)$  вариациями величины  $b_u$  пренебрегают и таким образом, в окончательном варианте, износ определяется функцией

$$I(t) = a_u t^\beta.$$

Однако, все действующие на узел факторы довольно трудно объединить единственной величиной  $a_u$ , определяя возможные корреляции между нагрузкой,

материалом деталей и смазочным материалом, другими параметрами, определяющими работу подшипника.

Учитывая многофакторность, и выбрав из них наиболее значимые, выражение представляют в виде:

$$I(t) = a_u t^\beta = k_u X_1^m X_2^n X_3^p X_4^q t^\beta.$$

Параметры  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$  в этой эмпирической зависимости отражают влияние наиболее важных факторов, влияющих на конкретный вид узла. Показатели степени  $m$ ,  $n$ ,  $p$  и  $q$ , а также коэффициент пропорциональности  $k_u$  определяются на основе экспериментальных данных.

Поиск неизвестных степенных показателей сводится к решению уравнения, полученному после логарифмирования формулы критерия износа [1]:

$$\ln I_h = \ln k + m \cdot \ln X_1 + n \cdot \ln X_2 + p \cdot \ln X_3 + q \cdot \ln X_4^q.$$

Значения комплексов  $X_i$  определялись с учетом экспериментальных значений величины износа в определенный момент наработки подшипника качения. Степенные показатели определялись решением системы линейных уравнений, полученных после замены логарифмов:

$$\begin{cases} b_1 = k + m \cdot a_{11} + n \cdot a_{12} + p \cdot a_{13} + q \cdot a_{14} \\ b_2 = k + m \cdot a_{21} + n \cdot a_{22} + p \cdot a_{23} + q \cdot a_{24} \\ b_3 = k + m \cdot a_{31} + n \cdot a_{32} + p \cdot a_{33} + q \cdot a_{34} \\ b_4 = k + m \cdot a_{41} + n \cdot a_{42} + p \cdot a_{43} + q \cdot a_{44} \end{cases}.$$

Испытания выполнялись на лабораторных установках, моделирующих работу опорного узла при однонаправленном вращении вала. Прикладываемая радиальная нагрузка изменялась в диапазоне от 0,5 до 2 кН, частота вращения составляла 1200 об/мин. Приведенные ниже графики (рис. 1) представляют зависимости изменения величины износа от наработки при использовании различных смазочных материалов. Для создания смазочных композиций с ультрадисперсным алмазографитом применялись пластичные смазочные материалы марок ЦИАТИМ-203 и Солидол С (синтетический). Исследования проводились при концентрации УДПАГ 1 % от массы смазочного материала.

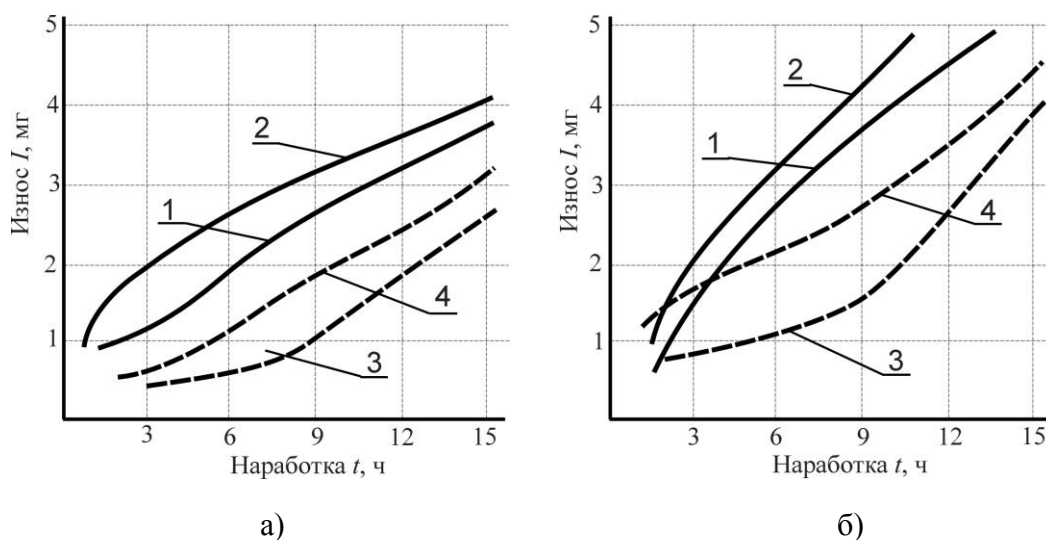


Рис.1 Зависимость величины износа от наработки для пластичной смазки Солидол С (а) и ЦИАТИМ-203 (б): 1–без добавки (0,5 кН); 2–без добавки (2 кН); 3– с добавкой УДПАГ(0,5 кН); 4– с добавкой УДПАГ (2 кН).

По данным графикам можно наблюдать, что лучшие противоизносные свойства наблюдалась у пластичных смазок с УДПАГ. Использование пластичной смазки ЦИАТИМ-203 с УДПАГ уменьшает величину износа в 1,9 – 2,3 раза, а для пластичной смазки Солидол С добавка снижает величину износа в 1,5 раза.

Из смазок-основ в условиях испытаний по всем зафиксированным параметрам лучшей является смазка Солидол С.

Для нахождения зависимости интенсивности износа подшипников скольжения, смазывающихся пластичным смазочным материалом, использовался метод факторного эксперимента с преобразованием параметра оптимизации (износа) и определяющих факторов при наличии между ними нелинейной связи. Результаты экспериментов позволили получить эмпирические закономерности, отражающие влияние таких факторов, как нагрузка, время наработки и коэффициента трения на износ подшипников скольжения, в которых применяют пластичные смазочные материалы.

Уравнение функциональной зависимости между параметром оптимизации и исследуемыми факторами имеет вид:

$$I = \varphi(P, f, t),$$

где  $I$  – износ подшипника качения;  $\varphi$  – функция отклика;  $P$  – нагрузка на подшипник;  $f$  – коэффициент трения скольжения;  $t$  – время наработки.

Окончательно уравнение примет вид:

$$I = k \cdot X_1^m \cdot X_2^n \cdot t^\beta,$$

где  $I$  – износ подшипника скольжения, являющийся параметром оптимизации;  $k$  – коэффициент уравнения, отражающий влияние неучтенных факторов;  $X_1, X_2$  – факторы;  $m, n, \beta$  – степенные коэффициенты, определяемые из эксперимента.

Полученные для смазочных материалов формулы зависимостей представлены в следующем виде:

1. Для смазочного материала ЦИАТИМ-203:

$$I = 0,108P^{0,403} f^{-0,145} t^{1,083}.$$

2. Для смазочной композиции ЦИАТИМ-203 с добавкой 1% УДПАГ:

$$I = 0,2073P^{0,3569} f^{0,1655} t^{1,0763}.$$

3. Для смазочного материала Солидол:

$$I = 0,0772P^{0,4877} f^{-0,4919} t^{0,8784}.$$

4. Для смазочной композиции Солидол с добавкой 1% УДПАГ:

$$I = 0,6443P^{0,2529} f^{1,5142} t^{0,791}.$$

#### Список литературы

1. Браун, Э. Д. Моделирование трения и изнашивание в машинах / Э. Д. Браун, Ю. А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1982. –191 с.
2. Волков, Д.П. Надежность строительных машин и оборудования. / Д.П. Волков, С.Н. Николаев. М.: Высшая школа, 1979. –400 с.