

Министерство образования Украины
Киевский институт инженеров гражданской авиации

На правах рукописи

Мельник Владимир Борисович

СМАЗОЧНОЕ ДЕЙСТВИЕ МАСЕЛ С КАРБОНАТОРИДНЫМИ
ПРИСАДКАМИ ПРИ КАЧЕНИИ СО СКОЛЬЖЕНИЕМ

Специальность 05.02.04 - Трение и износ в машинах

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1992



00820012 (D)

Работа выполнена в Киевском институте инженеров гражданской авиации

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор М. В. Райко

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор И. Г. Носовский;
кандидат технических наук,
доцент Н. Н. Голего

Ведущая организация: Самарский инженерно-трибологический центр.

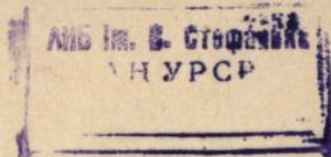
Защита диссертации состоится " ____ " _____ 1993 года
в ____ час на заседании специализированного совета К 072.04.03 по
присуждению ученой степени кандидата технических наук при Киев-
ском институте инженеров гражданской авиации по адресу: 252058,
г. Киев, проспект Космонавта Комарова, 1, КИИГА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1992г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук, доцент

В. Ф. Лабунец



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Повышение эксплуатационной надежности и долговечности пар трения с локальным контактом, таких как зубчатые передачи и подшипники качения, во многом зависит от правильного решения вопросов смазки. Граничное смазочное действие масел может быть значительно улучшено за счет легирования их присадками, которые по виду взаимодействия с поверхностью принято подразделять на поверхностно-активные (ПАВ), действие которых основано на процессах физической и химической адсорбции молекул смазочной среды на активированных трением поверхностях, и химически-активные (ХАВ), механизм действия которых основан на химических реакциях молекул масел с молекулами металла.

К существенным недостаткам применяемых присадок следует отнести то, что ПАВ уже при температурах 50...60°C десорбируют с поверхности, а химическое модифицирование поверхности присадками ХАВ чаще всего происходит при температурах около 200°C. Таким образом, в широком диапазоне температур (60...200°C), применение присадок ПАВ и ХАВ малоэффективно. В работах М. В. Райко, Г. В. Виноградова, Р. С. Файна, К. Л. Кройца, А. Ф. Аксенова, С. Б. Айнбиндера, В. П. Кидомского и др. установлено, что смазочное действие в этом диапазоне температур обеспечивается образованием на трущихся поверхностях углеводородами масла и некоторыми присадками хемосорбционных пленок, названными авторами самогенерирующимися органическими пленками (СОП).

Пленки СОП обладают высокими антифрикционными, противоизносными и противозадирными свойствами, однако не все масла способны достаточно эффективно образовывать СОП, а некоторые их вообще не образуют. В связи с этим актуальной задачей является создание присадок, способных работать в широком диапазоне температур и нагрузок, обладающих наряду с высокой адсорбционной активностью и химической реакционностью, способностью формировать на трущихся са поверхностях хемосорбционные пленки.

В последнее время особый интерес исследователей вызывают

присадки, в состав которых входят фторуглеродные соединения типа $(CF_x)_n$, способные работать как при умеренных температурах и нагрузках, так и на экстремальных режимах, близких к заеданию.

Несмотря на то, что антифрикционные и противозносные свойства карбонофторидных (КФ) присадок проверены экспериментально и подтверждены эксплуатационными испытаниями, граничные смазочные слои, образуемые этими присадками, исследованы недостаточно.

Цель и основные задачи работы. Целью работы является исследование граничного смазочного действия масел с КФ-присадками для развития представлений о его механизме и разработка рекомендаций по применению КФ-присадок в узлах трения с локальным контактом при качении со скольжением.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи.

1. Оценка влияния КФ-присадок на приработку и формирование смазочных слоев.
2. Исследование эффективности смазочного действия масел с КФ-присадками при неустановившихся режимах.
3. Оценка влияния КФ-присадок на несущую способность смазочного слоя при экстремальных условиях эксплуатации.
4. Исследование влияния приработки в КФ-содержащих средах на усталостное изнашивание.
5. Исследование механизма смазочного действия КФ-присадок.

Научная новизна. Предложен механизм смазочного действия КФ-содержащих сред. Изучены закономерности эволюции граничных смазочных слоев, сформированных КФ-присадками, их влияние на антифрикционные, противозносные и противоадириные свойства пар трения с локальным контактом.

Предложены оценочные показатели эффективности смазочного действия КФ-присадок при различных режимах трения.

Практическая значимость. Разработаны методы: оценки толщины смазочного слоя в локальном контакте; измерения толщины смазочного слоя в натуральных узлах трения; оценки смазочного действия масел при неустановившихся условиях

ения; раздельного измерения гидродинамической и граничной составляющих смазочного слоя.

В соответствии с задачами экспериментального исследования модернизирована машина трения СМЦ-1 и спроектирован узел трения для ускоренных испытаний на усталостное изнашивание.

Разработаны методики:

оценки эффективности смазочного действия на установившемся и неуставившемся режиме;

оценки влияния КФ-присадок на несущую способность смазочного слоя при экстремальных условиях;

оценки влияния приработки в КФ-содержащих средах на усталостное изнашивание трущихся пар.

Разработанные методы и узлы трения защищены авторскими свидетельствами.

А п р о б а ц и я р а б о т ы . Материалы диссертации докладывались на: международном семинаре "Трибо-90" (София, 1990), 1-й Республиканской НТК "Повышение надежности и долговечности машин и сооружений" (Киев, 1982), 4-й ВНТК "Пластичные смазки" (Бердянск, 1985), 2-й ВНТК "Проблемы повышения надежности эксплуатации смазываемых узлов трения авиационной техники" (Москва, 1986), 3-й ВНТК "Триботехника - машиностроению" (Москва, 1987), ВНТК "Обеспечение надежности узлов трения машин" (Ворошиловград, 1988), 6-й, 7-й ВНТК "Эксплуатационные свойства авиатоплив, смазочных материалов и специальных жидкостей /Вопросы авиационной химотологии/ (Киев, 1985, 1989), ВНТК "Износостойкость машин" (Брянск, 1991), 5-й ВНТК "Контактная гидродинамика" (Самара, 1991), 5-й ВНТК "Триботехника - машиностроению" (Н. Новгород, 1991), ВНТК "Системы смазки прокатного оборудования" (Краматорск, 1987).

Работа обсуждалась на расширенном заседании кафедр авиационного материаловедения; технологии ремонта и производства летательных аппаратов и авиадвигателей; технической эксплуатации спецавтотранспорта и средств механизации аэропортов; физики; химии и ГСМ КИИГА (Киев), а также на НТС по трению и износу Инженерно-трибологического центра Поволжского отделения Инженерной академии (Самара).

П у б л и к а ц и и. По материалам исследований опубликовано 18 печатных работ, в том числе 8 изобретений.

Ст р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и практических рекомендаций, списка литературы, приложений, содержит страниц машинописного текста, рисунков, таблиц, наименований литературных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о в в е д е н и и обоснована актуальность проблемы и сформулирована цель и задачи исследования.

В п е р в о й г л а в е, на основании изучения теоретических и экспериментальных исследований, установлено, что смазочное действие в локальном контакте осуществляется в более широких пределах, чем это следует из контактно-гидродинамической теории, за счет образования на металлической поверхности структурированных граничных слоев, в основе формирования которых лежат явления физической и химической адсорбции.

Проанализированы особенности смазочного действия граничных слоев, образованных поверхностно-активными и химически активными веществами, а также хемосорбционными пленками СОП, образованных в результате сложных окислительных и полимеризационных процессов составляющих масел с активным участием кислорода воздуха.

СОП обладает высокими противоизносными и противопиттинговыми свойствами, так как препятствует доступу химически агрессивных агентов к поверхности металла, и в них локализуются сдвиговые напряжения.

Известно, что наибольшие износы и наиболее частый выход из строя трущихся деталей наблюдается при неустановившемся режиме работы - пуск-остановка, изменение температуры, реверсирование. Установлено, что одной из основных причин потери работоспособности трущихся пар в этих условиях является временное ухудшение смазочного действия (ВУСД), выражающееся в уменьшении

толщины смазочного слоя. Это уменьшение может в отдельных случаях приводить к схватыванию или выкрашиванию контактных поверхностей и связано со сменой природы протекающих граничных процессов, — разрушением ранее сформировавшихся физически адсорбированных слоев и образованием хеморбционных слоев (СОП).

Известно, что присадки способны уменьшать отрицательный эффект ВУСД, однако, влияние присадок на эффективность смазочного действия на неустановившихся режимах достаточно планомерно не исследовалось.

Во второй главе приводятся методы исследований, рассматриваются некоторые методологические особенности подхода к изучению смазочного действия масляных сред с присадками при установившихся и неустановившихся режимах работы.

Отсутствие стандартных методов оценки эффективности смазочного действия масляных сред с присадками обусловило применение комплексной методики исследования и разработку экспериментальных установок и узлов трения.

В условиях локального контакта при качении со скольжением смазочное действие определяется, прежде всего, наличием гидродинамических и граничных слоев, толщиной и структурой последних. В связи с этим в качестве одного из основных методов исследования применялся метод измерения падения электрического напряжения на смазочном слое, пропорционального его толщине в режиме нормального тлеющего разряда.

Дополнительно к основному были разработаны:

методы тарировки и оценки толщины смазочного слоя (А. с. NN 10:9783, 1355909, 1388766), позволившие построить тарировочные зависимости $h-f(\Delta U)$ на различных приспособлениях для широкого спектра смазочных материалов;

методы измерения толщины в подшипниках качения (А. с. N N 1439439, 1198402), позволившие повысить точность экспериментов на натуральных подшипниковых узлах и прогнозировать наступление изнашивания;

метод оценки смазочной способности масел при неустановившихся условиях трения по глубине и продолжительности временного ухудшения смазочного действия (А. с. N 1536263);

метод отдельного измерения гидродинамической и граничной составляющих смазочного слоя при неустановившихся условиях трения (А. с. N 1718031).

Определялись также коэффициент трения, линейное изнашивание, температура смазочного материала на входе в контакт и шероховатость поверхностей.

Условия в зацеплении зубьев моделировались на машине трения при помощи цилиндрических роликов, в контакте которых воспроизводились контактные напряжения, скорости качения и скольжения, температура характерные для зубчатых передач редукторов. Управление машиной осуществлялось посредством электронного блока, позволяющего в широком диапазоне варьировать параметрами, определяющими неустановившиеся условия работы.

В третьей главе описаны результаты исследования смазочного действия масел с присадками при установившемся и неустановившемся скоростном режиме (пуски-остановки).

В ходе экспериментов подтвержден преимущественно граничный характер смазки, о чем свидетельствуют:

независимость толщины смазочного слоя от вязкости; совпадение наибольшей толщины смазочного слоя с минимальным значением коэффициента трения;

меньшие значения коэффициента трения при смазывании более вязким маслом;

увеличение толщины смазочного слоя с ростом нагрузки и температуры (рис. 1 и 2).

Исследовано влияние присадок на смазочное действие путем измерения толщины смазочного слоя. Установлено, что введение в масло присадки ОТП в области температур, являющихся рабочими для зубчатых передач, по мере увеличения ее концентрация снижает толщину смазочного слоя, а присадка ДФ-11 в тех же условиях ее увеличивает.

Для исследования эффективности смазочного действия КТ-присадок было испытано шесть марок масел (авиационных, автомобильных, промышленных) и дизельное топливо с различным содержанием (до 1%) карбонофторидных присадок типа (CF_x)_n, результаты

испытаний сравнивались с результатами, полученными при испытании тех же сред без КФ-присадок.

h , мкм

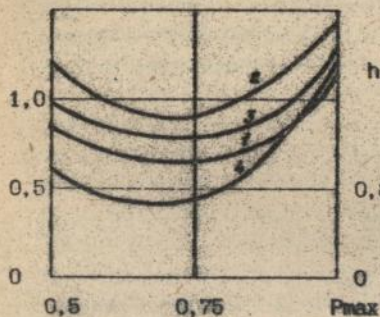


Рис. 1 Зависимость толщины смазочного слоя от изменения нагрузки

1 - ИТД-68; 2 - ИТД-100;
3 - ИТД-200; 4 - ИТД-680.

h , мкм

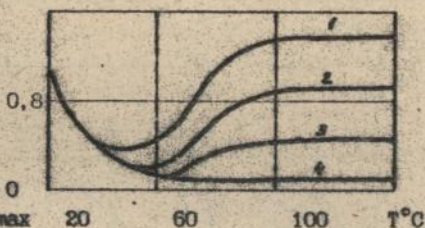


Рис. 2 Изменение толщины смазочного слоя при повышении температуры

1 - И-20А+ДФ-11; 2 - И-20А;
3 - И-20А+ЭХОТII; 4 - И-20А+5Х ОПI

Введение КФ-присадки почти не увеличило толщину смазочного слоя на маслах, хорошо формирующих на поверхности трения СОП (МС-8п, ИТМ-10), но значительно увеличило у масел, образующих без присадок слой малой толщины (М10Г2к, И-20А, ИГП-18). Одновременно снижались интенсивность износа и потери на трение.

Выявлена особенность смазочного действия при работе в неустановившемся скоростном режиме. В установившихся условиях, сформировавшиеся в процессе приработки смазочные слои сохраняют стабильную толщину (рис. 3, кривые 1, 3). При работе в неустановившемся режиме всегда наблюдается более или менее интенсивное временное снижение толщины смазочного слоя (рис. 3, кривые 2, 4). Интенсивность временного снижения разная для различных смазочных сред и может привести к выкрашиванию или схватыванию.

На масле И-20А после приработки толщина смазочного слоя составляла 0,3 мкм, при временном ухудшении смазочного действия

толщина смазочного слоя уменьшилась до 0,4 мкм. При испытании того же масла с карбонофторидной присадкой ухудшения смазочного действия не происходило, толщина смазочного слоя составляла 0,9 мкм. Исследования показали, что карбонофторидные присадки значительно снижают величину и продолжительность временного ухудшения смазочного действия и сопутствующее ему увеличение износа.

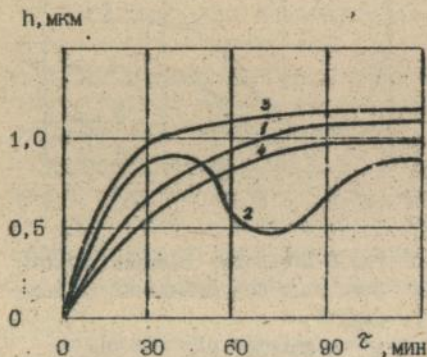


Рис. 3. Изменение толщины смазочного слоя на установившемся и неустойчивом режиме
 1, 2 - И-20А
 3, 4 - И-20А+0,5%КФ
 1, 3 - установившийся режим;
 2, 4 - неустойчивый режим

В четвертой главе исследовано влияние присадок на несущую способность смазочного слоя. Оценка масел серии ИТД (ИТД-68, 100, 220, 680) с присадками (ИХП-14А - 2%, ДФБ - 1%, ПМА "Д" - 0,2%) и без них выполнялась при одновременном увеличении нагрузки и температуры. Критерием для оценки служили нагрузка заедания и время работы под этой нагрузкой до заедания. Эксперименты показали:

увеличение вязкости приводит к увеличению нагрузки заедания; легирование масел присадками в условиях экспериментов не приводит к существенному увеличению нагрузки заедания; на всех маслах серии ИТД (за исключением ИТД-220 без присадок) несущий смазочный слой разрушался при достижении объемной температуры среды 80...100°C;

без заедания работали образцы на масле ИТД-220 без присадок, интенсивно формирующим на поверхности трения слой СОП;

введение присадок в масло ИТД-220 блокировало образование СОП и приводило к заеданию;

в условиях экспериментов определяющим несущую способность масел серии ИТД является их углеводородный состав.

Влияние КФ-присадок на несущую способность смазочного слоя показано на примере трансмиссионного масла ТАП-15. Испытания проводились в режиме частоповторяющихся пусков и остановок при одновременном нагреве. Такая методика испытаний позволила исключить изменения в поверхностном слое металла, так как схватывание происходит при нагрузках, не превышающих допустимые. Кроме того, превышение температуры испытаний над рабочей менее опасно, чем контактных напряжений, так как температуры до 200 С незначительно влияют на структуру и механические характеристики металла.

Основанием для выбора в качестве базового масла ТАП-15 послужило то, что оно плохо образует СОП, а применение карбонофторидов эффективно, как установлено, в условиях слабого образования СОП (рис. 4).

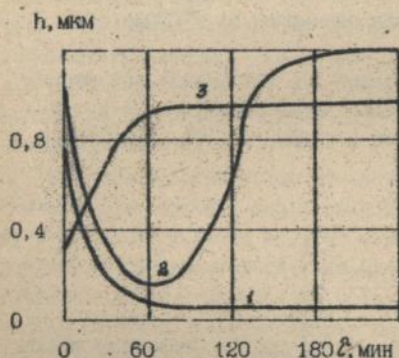


Рис. 4. Смазочное действие масла ТАП-15 с КФ-присадками при нагреве на установившемся режиме

1 - ТАП-15; 2 - ТАП-15+1%КФ;
3 - изменение температуры

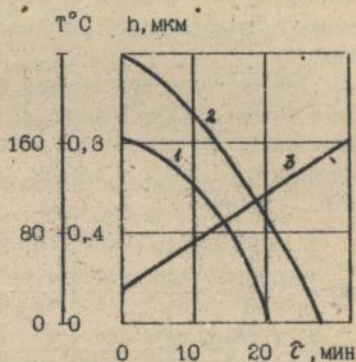


Рис. 5. Смазочное действие масла ТАП-15 с КФ-присадками при нагреве

($\Delta T=4^\circ\text{C}/\text{мин}$) при пусках-остановках
1 - ТАП-15; 2 - ТАП-15+1%КФ;
3 - изменение температуры

Масло ТАП-15 без добавки КФ-присадки в диапазоне температур 60...80°C значительно снижает уровень смазочного действия, а выше 80°C практически неработоспособно. Введение же 1% КФ-присадки расширило диапазон температурного применения масла ТАП-15 до 180°C. Следует отметить, что в этом случае диапазон температур 60...80°C наиболее неблагоприятен с точки зрения обеспечения смазочного действия и опасен по заеданию.

При совместном влиянии температурного и скоростного факторов нестационарности после довольно резкого уменьшения толщины смазочного слоя до 0, ее восстановление не происходит и уже через 20 мин наступает заедание (рис. 5).

Введение 1% КФ-присадки мало изменило и характер изменения толщины смазочного слоя, и время работы до заедания.

Причина здесь, очевидно, в том, что при таком быстром нагреве ($\Delta T=4^\circ\text{C}/\text{мин}$), превышающем скорость нагрева в реальных механизмах, скорость температурной деструкции молекул масла и присадки значительно превосходит хемосорбционные и химические процессы взаимодействия молекул смазочной среды с поверхностью трения. В связи с этим скорость нагрева была уменьшена до $1^\circ\text{C}/\text{мин}$ (рис. 6).

Так же как и при нагреве в режиме 1 ($T=4^\circ\text{C}/\text{мин}$), при нагреве в режиме 2 ($\Delta T=1^\circ\text{C}/\text{мин}$), на масле ТАП-15 без присадки наступило заедание. Температура заедания в режиме 1 - 90...100°C, при нагреве в режиме 2 - 140°C.

$T^\circ\text{C}$ $h, \text{мкм}$

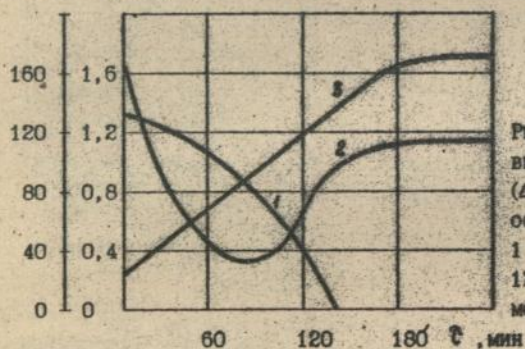


Рис. 6. Смазочное действие масла ТАП-15 ($\Delta T=1^\circ\text{C}/\text{мин}$) при пусках-остановках
 1 - ТАП-15; 2 - ТАП-15+1% КФ-присадки; 3 - изменение температуры

Введение 1% карбонофторидной присадки устранило заедание на исследуемом режиме.

В пятой главе приведены результаты исследования влияния приработки в карбонофторидсодержащих средах на устойчивое изнашивание, а также, на основании результатов металлофизических и триботехнических исследований, механизм смазочного действия карбонофторидных присадок.

По результатам исследований пяти марок масел с КФ-присадками установлено, что изменение прирабочной среды (масло + КФ-присадка), а также введение КФ-присадки после приработки снижает время до наступления выкрашивания трущихся пар в 2 ... 4 раза по сравнению с приработкой и дальнейшей работой в работе с КФ-присадкой.

Современными методами металлофизического анализа на рабочих поверхностях после трения в КФ-содержащих средах обнаружены граничные пленки, содержащие группы CF_2/CF_3 , а также металлофторидные соединения типа M_2F_3 . Причем, первые, обладая экранирующим действием, локализуют в себе сдвиговые деформации, в результате чего значительно снижаются потери на трение контактирующих поверхностей, а вторые - повышают противоизносные и противовадирные свойства при трении за счет образования химически модифицированного фтором на глубину около 5 мкм противоизносного поверхностного слоя.

Оба процесса не исключают, а, наоборот, во многих случаях дополняют друг друга: сначала происходит хемосорбция, затем, при достижении достаточно высокой температуры хемосорбированные соединения вступают в реакцию с металлом. Образование хемосорбционных пленок компонентами масла происходит в условиях конкуренции за место на поверхности между углеводородами масла и фторуглеродными соединениями КФ-присадки. В ней могут принимать участие как активные элементы присадки (прежде всего фтор), так и компоненты базового масла. Схема механизма смазочного действия масел с КФ-присадками представлена на рис. 7.

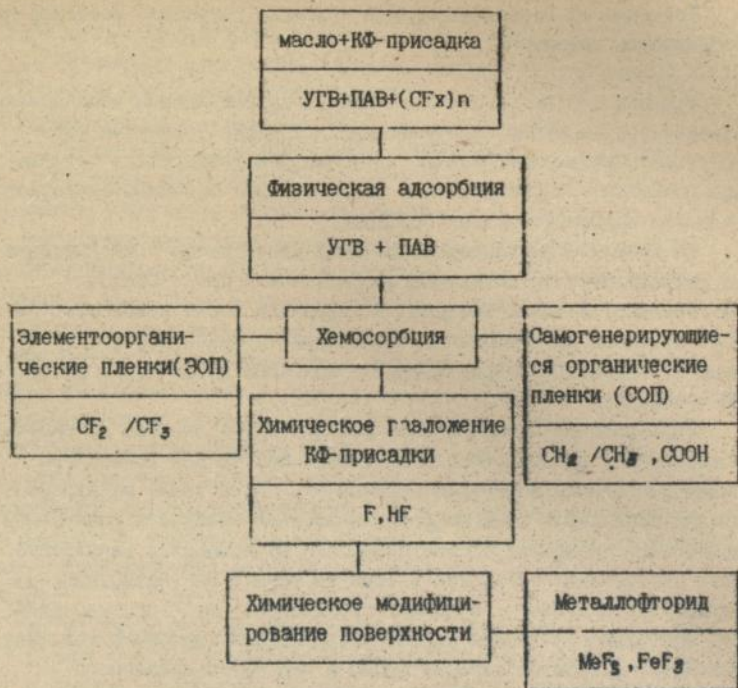


Рис. 7 Схема механизма смазочного действия масляных сред с карбофторидными добавками

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Установлено, что в широком диапазоне температур 60 ... 200 °С применение присадок ПАВ и ХАВ малоэффективно, в связи с чем в работе исследовано смазочное действие присадок принципиально нового типа - карбофторидов (CFx)n, содержащих, наряду с высокой адсорбционной активностью и химической реакционной способностью,

способность формировать на трущихся поверхностях хемосорбционные пленки, обладающие высокими противозносными и антифрикционными свойствами.

2. По предложенным показателям смазочного действия оценены шесть марок масел с КФ-присадками на установившемся и неустановившемся режимах. В результате испытаний установлено:

химически активные присадки не всегда улучшают смазочное действие, а в некоторых случаях и ухудшают его, блокируя образование хемосорбционных граничных пленок СОП;

эффективность применения КФ-присадок зависит от свойств базового масла и концентрации присадки. Для испытанных масел различного состава и назначения оптимальная концентрация КФ-присадки составила 0,25...0,5% масс.;

в связи с тем, что компоненты масел могут конкурировать с КФ-присадками при взаимодействии с поверхностью и препятствовать образованию ими твердообразных хемосорбционных пленок, целесообразно применять КФ-присадки в условиях слабого образования СОП;

введение КФ-присадок в смазочные среды значительно уменьшает, а в отдельных случаях полностью устраняет временное ухудшение смазочного действия при нестационарных режимах трения, в результате чего в этих условиях повышается износостойкость контактных поверхностей.

3. Установлено значительное повышение несущей способности смазочного слоя за счет введения в масло ТАП-15 КФ-присадок, образующих при температурах 60...80°C граничные хемосорбционные пленки ЭОП, содержащих элементоорганические соединения фтора с углеродом.

4. Исследовано влияние поверхностных пленок, сформированных после приработки, на усталостное изнашивание трущихся пар. Установлено, что изменение прирабочей среды (масло+КФ-присадка) на рабочую (масло без КФ-присадки), а также введение КФ-присадок после приработки, снижает время до наступления выкрашивания трущихся пар в 2...4 раза по сравнению с приработкой и дальнейшей работой в масле без КФ-присадки, и при постоянной работе с

КФ-присадкой. Интенсивность формирования смазочных слоев и их влияние на усталостное изнашивание пар трения после изменения прирабочей среды зависит от свойств и структуры граничных пленок, образовавшихся на поверхности в результате приработки.

5. По результатам экспериментальных исследований предложен механизм смазочного действия КФ-содержащих сред, состоящий из следующих процессов: физической адсорбции полярно-активных молекул КФ-присадки и базового масла, хемосорбции на поверхности трения фторуглеродных соединений КФ-присадки с образованием элементоорганических пленок ЭОП и хемосорбции углеводов масла с образованием на поверхности органических пленок СОП; химического разложения присадки и взаимодействия продуктов разложения с металлом поверхности трения с образованием металлофторидных соединений.

6. Полученные результаты триботехнических, металлофизических и адсорбционных исследований позволили обосновать условия правильного применения КФ-присадок типа (CF_x)_n в подшипниках качения и зубчатых передачах, что приводит к повышению их работоспособности и допускаемых контактных напряжений.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. БАВИН И. И., МЕЛЬНИК В. Б., ВАРЮХНО В. В., СВИРИД М. Н. Способ оценки толщины масляной пленки. (А. с. N 1355909). - Б. И. N 44, 1987.

2. БАВИН И. И., МЕЛЬНИК В. Б., ДЕМЬЯНОВ Д. Д., МИХАЙЛЕНКО А. П. Способ тарирования толщины масляной пленки. (А. с. N 1044985) - Б. И. N 38, 1982.

3. МЕЛЬНИК В. Б. Смазочное действие в условиях низких температур при качательном движении // Тезисы докладов 2-я ВПГК "Проблемы повышения надежности эксплуатации смазываемых узлов трения авиационной техники". - М., 1986, с. 49.

4. МЕЛЬНИК В. Б., РАЙКО М. В., ТЫРКАЕВ В. В. Способ оценки смазывающих свойств масел (А. с. N 1718031). - Б. И. N 9, 1992.

5. МЕЛЬНИК В. Б., РАЙКО М. В., ТЫРКАЕВ В. В. Смазочное действие жидких сред, содержащих карбофторидные присадки // Тезисы док-

ладов БНТК "Износостойкость машин", ч. 2. - Брянск, 1991.

6. МНАЦАКАНОВ Р. Г., МЕЛЬНИК В. В., РАЙКО М. В., ГОРДЕЙЧУК И. О., ДМИТРИЧЕНКО Н. Ф. Способ оценки смазочных свойств смазочных материалов для пары трения. (А. с. N 1536263). - Б. И. N 2, 1990.

7. РАЙКО М. В., МНАЦАКАНОВ Р. Г., ДМИТРИЧЕНКО Н. Ф., МЕЛЬНИК В. В. Смазочное действие и изнашивание в условиях частоповторяющихся пусков. //Механизация и электрификация сельского хозяйства, вып. 61. - Киев, 1985.

8. РАЙКО М. В., МНАЦАКАНОВ Р. Г., ДМИТРИЧЕНКО Н. Ф., МЕЛЬНИК В. В. Стенд для исследования работоспособности смазочных материалов в игольчатом подшипнике при возвратно-вращательном движении. //Повышение надежности деталей и узлов авиационной техники. - Киев: КНИГА, 1985. с. 69-73.

9. РАЙКО М. В., МЕЛЬНИК В. В., БАВИН И. И., МНАЦАКАНОВ Р. Г., ВОЛОШИН О. И. Способ измерения толщины смазочного слоя в подшипниках качения. (А. с. N 1198402). - Б. И. N 46, 1985.

10. РАЙКО М. В., МЕЛЬНИК В. В., ГОРДЕЙЧУК И. О., МНАЦАКАНОВ Р. Г. Формы адсорбции смазочных материалов и изнашивание материалов при нестационарных режимах трения //Тезисы 3-й БНТК "Триботехника - машиностроению". - М., 1987.

11. РАЙКО М. В., БАВИН И. И., МЕЛЬНИК В. В., МНАЦАКАНОВ Р. Г., ВОЛОШИН О. И., БЕЛОУ В. С. Узел трения для испытаний материалов на износ. (А. с. N 1283609). - Б. И. N 2, 1987.

12. РАЙКО М. В., МЕЛЬНИК В. В., ГОРДЕЙЧУК И. О., МНАЦАКАНОВ Р. Г., МАЛЕНКО В. И. Способ измерения толщины смазочного слоя в игольчатых подшипниках и устройство для его осуществления. (А. с. N 1439439). - Б. И. N 43, 1988.

13. РАЙКО М. В., БАВИН И. И., БАКУХНО В. В., ЗОРИНА В. С., МЕЛЬНИК В. В. Способ измерения толщины смазочного слоя. (А. с. N 1388766). - Б. И. N 14, 1988.

14. РАЙКО М. В., МНАЦАКАНОВ Р. Г., МЕЛЬНИК В. В. Повышение работоспособности узлов трения с локальным контактом при неустановившихся режимах работы путем оптимизации процессов смазочного действия //Тезисы докладов БНТК "Обеспечение надежности узлов трения машин". - Ворошиловград, 1988. - с. 71.

15. РАЙКО М. В., МЕЛЬНИК В. В., ТЫРКОВ В. В. Влияние карбонофторидных присадок на смазочное действие жидких сред и приработку

узлов трения при нестационарных режимах работы //В сб. "Трибо-90"-София: Технический университет, 1990.

16. РАЙКО М. В., МЕЛЬНИК В. В., МИЧНИК В. Х. О влиянии присадок на смазочное действие масел //Тезисы докладов 5-й ВНТК "Триботехника - машиностроению". - Н. Новгород, 1991.

17. РАЙКО М. В., МЕЛЬНИК В. В. Влияние смазочных сред, содержащих карбонофторидные присадки, на усталостную долговечность трущихся пар //Тезисы докладов 5-й ВНТК "Триботехника - машиностроению". - Н. Новгород, 1991.

18. РАЙКО М. В., ТРИВАЙЛО М. С., МЕЛЬНИК В. В., МИЧНИК В. Х. Реализация гидродинамического и граничного смазочных процессов в зацеплении зубьев //Тезисы докладов 5-й ВНТК "Контактная гидродинамика". - Самара, 1991.

В. В. Мельник

Подписано в печать 17. XI. 92. Формат 60x84/16. Бумага типограф.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 0,93. Уч. - изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.
Заказ № 169-1 . Цена . Изд. № 359/111

Издательство КИИГА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, 1

АНБ им. В. Стефанюк
АН УРСР

AB 26.627

AB 26.627