

40.72-092

Л 33

112.8899



О. В. Лебедев

**ХИММОТОЛОГИЯ
АВТОТРАКТОРНЫХ
СМАЗОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ
И СПЕЦИАЛЬНЫХ
ЖИДКОСТЕЙ**

О ВАСХНИЛ

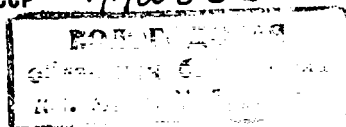
**едрнеазиатский научно-исследовательский институт
хаиизации и электрификации сельского хозяйства**

О. В. ЛЕБЕДЕВ

ХИММОТОЛОГИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

**Под редакцией академика ВАСХНИЛ
Г. М. РУДАКОВА**

**ТАШКЕНТ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ФАН· УЗБЕКСКОЙ ССР
1989**



Лебедев О. В. Химмотология автотракторных смазочных материалов и специальных жидкостей. Ташкент: Фан, 1989. 104.

В монографии излагаются основные положения, вытекающие из гидродинамической теории смазки, на основе которых раскрываются особенности смазочных материалов. Анализируются вязкостные и противозадирные свойства, термическая стабильность, особенности старения и другие показатели масел. Описываются способы проведения анализа смазочных материалов и их поведение в узлах трения, рассматривается механизм действия присадок, уделяется внимание созданию масел с широким диапазоном применения, совершенствованию их абсолютных показателей. Работа имеет большое народнохозяйственное значение, поскольку изложенные в ней материалы позволяют прогнозировать характеристики трения (включая и температурный эффект) в зависимости от качества смазочных материалов и определять надежность слоя смазки, основанную на общих понятиях надежности.

Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами трения, износа машин и применения смазочных материалов в автотракторной промышленности.

Табл. 15, ил. 11, библи. 26 назв.

Рецензенты:

профессор М. И. Ландсман, с. н. с. С. М. Базаров

Л $\frac{280402}{355(04)}$ 200—4094 146—8) © Издательство «Фан» Узбекской ССР, 1989 г.
ISBN 5—648—00229—7

ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ ЛЕБЕДЕВ

ХИММОТОЛОГИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

*Утверждено к печати Научным советом секции
механизации и электрификации САО ВАСХНИЛ
и Бюро отделения САО ВАСХНИЛ*

Редактор *И. Н. Боева*
Художник *И. А. Цыганов*
Технический редактор *А. Т. Шепельков*
Корректор *О. В. Гуз*

ИБ № 4654

Сдано в набор 10.08.89. Подписано к печати 15.09.89. P08933. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,04. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 1000. Заказ 187. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Фан» УзССР: 700047. Ташкент, ул. Гоголя, 70.
Типография Издательства «Фан» УзССР: 700170. Ташкент, проспект М. Горького, 79.

ВВЕДЕНИЕ

Принятые на XXVII съезде КПСС «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года» предусматривают решительный поворот науки и техники на более эффективное использование и экономию материальных ресурсов. В условиях научно-технического прогресса непрерывно возрастает значение горюче-смазочных материалов, в частности, при решении задач повышения надежности и экономичности эксплуатации тракторных гидросистем, двигателей внутреннего сгорания и др. [1, 2, 11].

По мере совершенствования двигателей внутреннего сгорания создаются все более жесткие условия работы моторных масел. Это требует от применяемых масел более высоких и разнообразных качеств, достигаемых присадками.

Расход смазочных материалов по сравнению с расходом топлива значительно меньше и колеблется в пределах 1—6% в зависимости от типа двигателя, условий работы и технического состояния, однако их производство дороже производства топлив в 5 и более раз. Поэтому очень важно сделать правильный выбор масла, которое должно соответствовать действительным рабочим условиям двигателя, гидросистемы, обеспечивая их бесперебойную работу в течение всего цикла до капитального ремонта при минимальном расходе.

Машинно-тракторный парк сельского хозяйства является массовым потребителем горюче-смазочных материалов (ГСМ), поэтому снижение качества ГСМ или их повышенный расход наносят народному хозяйству большой экономический ущерб. Например, применение на тракторах высокосернистого дизельного топлива приводит к дополнительным затратам на каждую израсходованную тонну топлива: на запасные части — 1,3 руб.; моторные масла — 1,6 руб.; на техническое обслуживание — 1,2 руб.; на ремонт — 5,8 руб. [7].

Улучшение качества и рациональное использование масел является одним из решающих факторов повышения надежности и эффективности работы тракторов.

Одна из возможностей экономии горюче-смазочных материалов — увеличение периодичности регламентированных замен масел в гидроприводах и трансмиссиях сельскохозяйственных

тракторов, на которые приходится до 70% всего расхода масел в этих системах.

Увеличение продолжительности работы масел в двигателях, гидроприводах и трансмиссиях тракторов достигается различными методами, но обусловлено химмотологией автотракторных смазочных материалов и специальных жидкостей. В решении вопроса об увеличении продолжительности работы масел по сравнению со сроками, установленными инструкциями по эксплуатации тракторов и автомобилей, необходим анализ показателей качества масел, изменение которых влияет на технико-экономические данные работы, безотказность и ресурс двигателей, гидроприводов и трансмиссий.

Периодичность замены масел устанавливают заводы-изготовители тракторов и автомобилей, но нередко делается это без анализа химмотологии. Восполнению этих знаний и способствуют предлагаемые материалы.

ВОПРОСЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЖИДКОСТНОЙ СМАЗКИ

При разделении трущихся пар слоем масла специфические свойства поверхности не проявляются и коэффициент трения зависит в основном от гидродинамических свойств масла.

Наиболее полно сущность процессов, протекающих в узлах трения в этих условиях, изучена Н. П. Петровым и получила отражение в разработанной им теории жидкостного трения, которая ввиду подчинения законам гидравлики названа гидродинамической теорией смазки. Основной частью этой теории является вывод формулы для определения величины трения, возникающего при работе подшипника. Н. П. Петров, основываясь на законе Ньютона о трении жидких тел и на большом экспериментальном материале, математически выразил закон жидкостного трения и предложил для практического использования упрощенную формулу

$$F = \frac{\eta s v}{h},$$

где F — сила жидкостного трения, кг;
 η — абсолютная (динамическая) вязкость масла, кг·с/м²;
 s — площадь соприкосновения трущихся пар, м²;
 v — скорость скольжения трущихся поверхностей, м/с;
 h — толщина масляного слоя, м.

Жидкостная смазка проявляется при образовании масляного клина между трущимися поверхностями. В пределах жидкостного режима смазки сдвиг полностью локализуется в пленке жидкости, а ее толщина и устойчивость зависят от вязкости и условий трения — контактного давления, скорости сдвига, геометрии сопряженных поверхностей.

Законы гидродинамики остаются в силе для пленок жидкости толщиной более 0,0006 мм. Поскольку при идеальной гидродинамической смазке движущиеся детали друг с другом не соприкасаются, возможность абразивного изнашивания не исключается.

Уравнение Рейнольдса для гидродинамической смазки контакта двух жестких тел, разделенных несжимаемой смазочной пленкой с постоянной вязкостью, имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 12\eta_0 U_S \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) + 12\eta_0 U_N, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= x/R_x; & Y &= y/R_y; & H &= h'R_x; & P &= pR_x/\eta_0 U_S; \\ \alpha &= R_y/R_x; \\ U_S &= 1/2(U_A + U_B); & \bar{U}_N &= U_N/U_S. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Уравнение (1) можно представить в безразмерном виде

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(H^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(H^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right) = 12 \left[\left(\frac{\partial H}{\partial X} \right) + \bar{U}_N \right] \quad (3)$$

и преобразовать:

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(H^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(H^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right) = 12 \left(\frac{\partial H}{\partial X} + \sqrt{2H_0 q} \right), \quad (4)$$

где

$$q = \bar{U}_N / \sqrt{2H_0}.$$

Граничные условия для уравнения (4) имеют вид $P=0$ для входной границы (т. е. $H=H_{\min}$):

$$P = \frac{\partial P}{\partial N} = 0 \quad (5)$$

для границы зоны кавитации (граничное условие Рейнольдса), где N — нормаль к границе.

Толщину гидродинамической пленки, возникающей при качении двух жестких тел, можно представить в виде суммы

$$h = h_0 + S(x, y), \quad (6)$$

где h_0 — минимальная (центральная) толщина пленки; $S(x, y)$ — увеличение зазора, обусловленное геометрией твердых тел.

Толщина пленки составляет 30% глубины прогрева пограничного слоя. Толщина «пограничного слоя» уменьшается с возрастанием скорости и примерно в три раза превышает толщину пленки окисла. Термические сопротивления неподвижных пятен контакта обратно пропорциональны значениям коэффициента теплопроводности и равны 0,95 Вт/м·град для окислов и 46 Вт/м·град для стали.

Для движения поверхностей относительно друг друга необходима энергия. При контакте гребней возникает тепло, которое может расплавить материал, вызывая его задиры или износ.

При использовании соответствующей смазки на трущихся поверхностях образуется пленка, которая разделяет материалы, поддерживая их на некотором расстоянии и предохраняя от кон-

такта между наивысшими точками. Сопротивление движению при этом уменьшается.

Из двух типов смазок — обильной жидкой пленки и граничной смазки — первый тип соответствует условию, когда смазочная масляная пленка такая толстая, что наивысшие точки трущихся поверхностей не соприкасаются; граничная смазка наблюдается там, где подача смазки пульсирующая и ограниченная.

Смазочная способность масел — способность обуславливать малое сопротивление контактирующих деталей тангенциальным силам сдвига и высокое сопротивление сближению поверхностей под действием нормальной нагрузки. Чем меньше первая составляющая и больше вторая, тем выше смазывающая способность масла.

Уменьшение силы или коэффициента трения основано на объемном или граничном эффектах. Первичным фактором гидродинамической смазки является граничная пленка, так как без прилипания жидкости к трущейся поверхности не может образоваться масляный клин. Как правило, толщина молекул масла, составляющих граничную пленку, имеет несколько долей микрона.

Лучшими смазочными свойствами обладают граничные пленки, имеющие сильные связи между молекулярными цепями, хорошую адгезию с поверхностью в широком интервале температур, повышенную термостойкость и малое сопротивление сдвигу. Под граничным трением понимается такой вид трения, когда контактирующие поверхности разделены смазочным слоем толщиной в несколько молекул и закономерности трения зависят от физико-механических свойств поверхности и химического состава смазочного материала. Вязкость смазочного материала существенного значения не имеет. При граничном трении нагрузка воспринимается не только смазочной пленкой, но и отдельными металлическими выступами в местах разрушения пленки. Коэффициент трения уменьшается с ростом длины цепи или молекулярной массы соединения.

Ф. Боуден показал, что фрикционные свойства обусловлены наличием на контактирующих поверхностях металлического мыла — продукта химической реакции между металлом (окислом) и жирной кислотой. Жирные кислоты обеспечивают хорошее смазывание до относительно высоких температур, вплоть до температуры их плавления. Если жирная кислота не реагирует с материалом поверхности, то она не обладает хорошей смазывающей способностью. Уменьшение силы трения под воздействием смазочного материала объясняется образованием граничных фаз, пластифицирующим действием поверхностных слоев металла и разделением поверхности, что препятствует схватыванию. Увеличение числа монослоев смазочного материала бла-

гоприятно сказывается на несущей способности масляной пленки.

Молекулы поверхностно-активных веществ стремятся покрыть всю доступную им поверхность адсорбционной пленкой, проникают в микротрещины, микропоры, мельчайшие раковинки. Адсорбированный слой, понижая поверхностную энергию материала, облегчает пластическое течение в зернах, расположенных в поверхностном слое. Адсорбционное разупрочнение материала является следствием физического взаимодействия материала с адсорбированной граничной пленкой. Это явление известно под названием адсорбционной пластификации и составляет первое проявление эффекта П. А. Ребиндера. Активные молекулы, стремящиеся покрыть всю поверхность тела, проникают в ультрамикроскопические трещины. В этом случае адсорбированная пленка стремится своим давлением расклинить трещину. Возникает адсорбционно-расклинивающий эффект — второе проявление эффекта П. А. Ребиндера.

Исследования М. М. Хрущова и Р. М. Матвеевского показали существенное влияние температуры тел на смазывающую способность граничных пленок. На критическую температуру разрушения граничной пленки влияет пластическая деформация поверхностей. С увеличением нагрузки в опытах с шарами низкой твердости критическая температура смазочного материала уменьшалась. Г. В. Виноградов с сотрудниками установили, что в условиях граничного трения стальных поверхностей большое значение имеют окислительная активность газовой среды, склонность к окислению смазочного материала и условия транспортировки молекулярного кислорода к зонам трения.

Если смазочное действие не обеспечивает гидродинамический эффект, то решающее значение приобретают граничные слои смазочного материала, химически модифицированные поверхностные и приповерхностные слои материала, а также поверхностные пленки, полимеры трения или самогенерирующиеся органические пленки (СОП).

М. В. Райко исследовал различные виды смазочного действия — гидродинамический, адсорбционный и за счет самогенерирующихся органических пленок. С увеличением температуры толщина смазочного слоя для маловязкого, средневязкого, высоковязкого минеральных масел при малых скоростях качения и скольжения изменялась по-разному. В зависимости от природы смазочных слоев полученные эффекты также значительно различались, например, толщина гидродинамического и адсорбционного слоя с ростом температуры уменьшалась. При формировании СОП (при смазывании роликов маловязким маслом — во всем диапазоне температур 30—150°C, для очень вязких масел — при 80—150°C, для масел средней вязкости — 50—150°C) толщина смазочного слоя с ростом температуры росла. Увеличение температуры и от-

носительного скольжения приводит к увеличению интенсивности образования СОП. При кинематическом качении СОП не возникают [5, 6].

Граничная пленка вследствие упорядоченного расположения молекул не может рассматриваться как жидкая среда. Эта квазикристаллическая система и ее антифрикционные и противоизносные свойства не всегда совпадают. При наличии прочной граничной пленки износ деталей отсутствует, но ввиду высокой вязкости такой пленки потери на трение будут значительными и в целом смазывающая способность масла будет невысокой.

Образование мощной граничной пленки в зазорах между неподвижными деталями может привести к «заращиванию» (облитерации) этих зазоров и прекращению доступа смазки к узлу трения. Для повышения смазывающей способности масел в них вводят противоизносные и антизадирные присадки. Механизм действия противоизносных присадок связан с физической адсорбцией поверхностно-активных веществ (ПАВ) на металлической поверхности. При этом толщина и устойчивость образующихся пленок зависит от состава и строения молекул присадок природы контактирующих поверхностей, а также от условий трения.

При работе тракторного гидропривода на определенном температурном режиме с постоянной скоростью поступления механических примесей в масло интенсивность расхода присадок снижается по мере уменьшения ее содержания в масле. В общем виде данный процесс можно выразить равенством

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{q}{G} C,$$

где q — расход присадки в единицу времени, отнесенный ко всему количеству масла в гидросистеме G ;

C — концентрация присадки в масле в момент времени t .

Наиболее существенной причиной снижения содержания присадки в масле является ее адсорбция на поверхностях деталей и механических примесей, поэтому обычно принимается

$$q = \alpha S,$$

где α — коэффициент, выражающий расход присадки на единицу площади (зависит от свойств присадки, поверхностной активности материала, на который адсорбируется присадка и температуры);

S — общая поверхность, на которую адсорбируется присадка.

Для обслуживания двигателя в эксплуатации требуется прежде всего смазочное масло, оно снижает сопротивление при трении и износ деталей. Когда две металлические поверхности находятся в контакте и движутся относительно друг друга, возникает со-

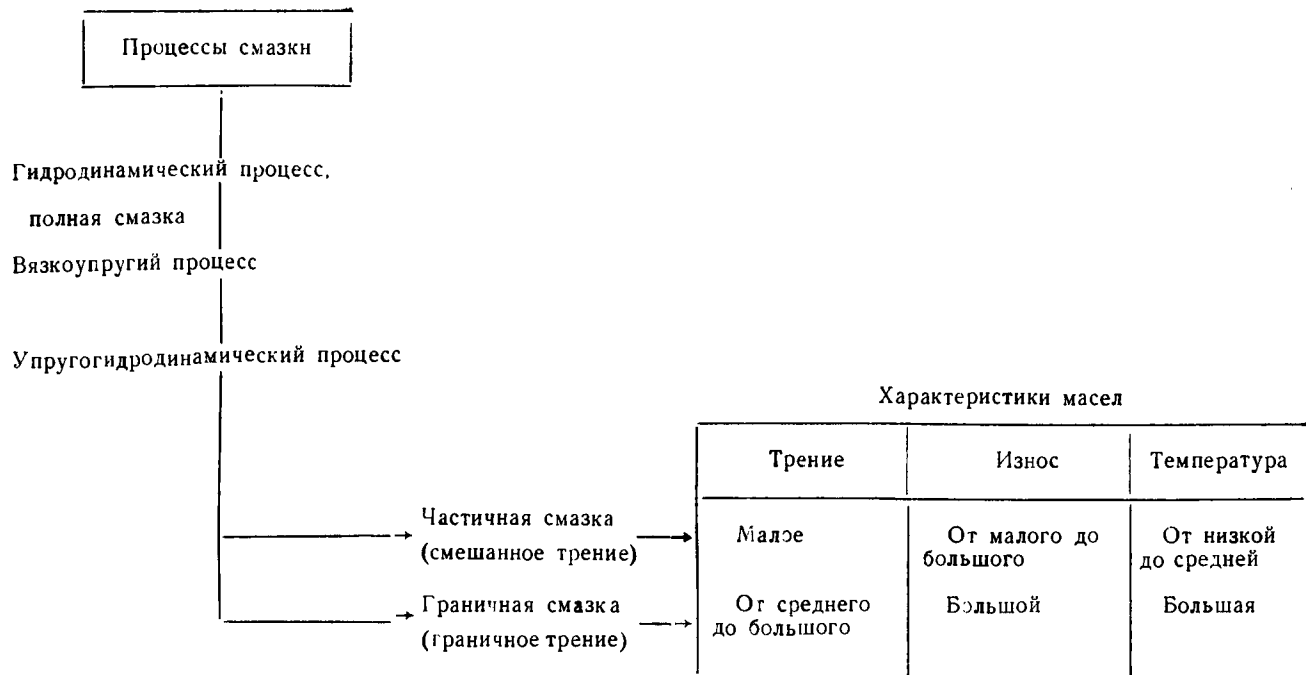


Рис. 1. Возможности масел без присадок

сопротивление движению, так как металлические поверхности имеют острые выступы и впадины, которые местами срезаются, местами происходят спайки и затем разрывы. Эти явления происходят независимо от того, какое движение их вызвало — скольжение кольца уплотнения и цилиндра, качение (шариковый или роликовый подшипник) или комбинация движений скольжения и качения. Если между движущимися поверхностями ввести вещество, снижающее сопротивление движению, мы одновременно уменьшим износ и произведем смазку (рис. 1).

В качестве смазочных материалов для двигателей хорошо подходят и экономичны в эксплуатации минеральные масла. Для обеспечения эксплуатационных свойств для двигателей к маслам предъявляют следующие основные требования: а) высокая устойчивость к старению; б) благоприятные характеристики вязкости и температуры, чтобы по возможности ограничить количество применения присадок; в) удовлетворительная термостойкость и малая испаряемость; г) хорошие характеристики охлаждения.

Смазанные маслом трущиеся поверхности детали полностью

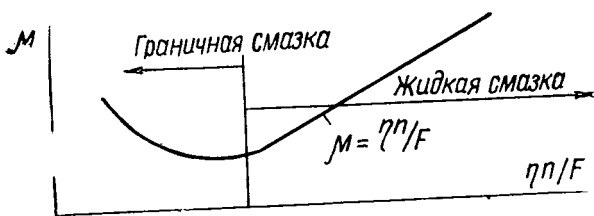


Рис. 2. Коэффициент трения в различных условиях смазки

разделяются тонкой масляной пленкой и контакта между ними не происходит. При известной нагрузке, коэффициенте вязкости, геометрическом профиле поверхностей трущихся деталей можно установить коэффициент трения, который в данном случае будет определяться лишь вязкостью смазочного масла. При этом истирания поверхностей трения, а также их прихватывания не происходит. Однако, если состояние смазки ухудшается, то масляная пленка разрушается под действием высокой температуры, либо в результате механического воздействия выпуклые части поверхности трения начинают взаимно контактировать и наступает граничное (тонкопленочное) состояние смазки, сопровождающееся увеличением трения или истирания поверхностей деталей. Если состояние смазки будет еще больше ухудшаться, то могут образоваться задиры или сварка поверхностей (рис. 2). Задыр происходит, когда толщина смазочной пленки становится сопоставимой с величиной шероховатости поверхности.

Смазочные свойства веществ снижаются, когда их неустойчивый состав впитывает кислород из воздуха и образует окись. При высокой температуре или большой влажности и особенно при наличии меди, железа, свинца и их окисей ухудшение качества масел резко ускоряется из-за их каталитического действия. Ухудшение качества смазочных масел из-за окисления зависит от того, насколько часто смазочные масла соприкасаются с воздухом. Примесями, способствующими окислению и ухудшению качества масел, являются вода и металлический порошок, играющий роль катализатора.

Кислотное число смазочных масел будет в 2 раза больше, когда температура поднимается на каждые 10°C . Следовательно, чтобы предотвратить ускорение окисления, температура масла не должна превышать $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$. Окисление смазочных масел можно предотвратить и путем добавления противокислителя [3, 9].

При высокой скорости скольжения температура трения может подниматься так высоко, что в граничных зонах могут происходить структурные превращения (образование мартенсита трения, аустенита трения).

Быстрая аустенизация и последующее резкое охлаждение за счет отвода тепла в холодный основной материал обуславливают образование относительно твердого и хрупкого граничного слоя. При последующем нагружении этот слой выкрашивается под действием внутренних напряжений.

На практике, не прибегая к сложным математическим расчетам, можно пользоваться основными положениями, вытекающими из гидродинамической теории смазки:

1. При жидкостном трении потери мощности на трение возрастают с увеличением вязкости масла, скорости скольжения трущихся пар и площади их соприкосновения.

2. Надежность жидкостной смазки возрастает с увеличением скорости скольжения, вязкости масла и уменьшением нагрузки на подшипник.

3. Чем выше скорость скольжения, тем менее вязкое масло должно применяться в узлах трения и наоборот.

4. Чем больше зазоры между деталями, тем выше должна быть вязкость смазочного материала.

5. Чем выше постоянная нагрузка на трущиеся детали, тем более вязкое масло следует применять для смазки узлов.

МАСЛА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИНАХ

При обслуживании и эксплуатации сельскохозяйственных машин используются нефтепродукты и специальные препараты, выпускаемые нефтеперерабатывающей промышленностью. Эти продукты применяются для приведения в движение машин (топливо), для снижения сопротивления при работе, а также износа (смазочные средства), для защиты наружных и внутренних деталей от коррозии (антикоррозионные средства), для предотвращения размораживания системы охлаждения и защиты ее от коррозии (жидкость охлаждения), для передачи усилий (рабочие жидкости, гидравлические масла и жидкости автоматических трансмиссий) и, наконец, для очистки внешних поверхностей (растворяющие и моющие средства).

Смазочные масла для сельскохозяйственных машин должны способствовать снижению трения, износа, уплотнению, гашению вибраций, приработке деталей, предотвращению коррозии, теплопередаче, переносу нагрузок.

Долговечность большей части машин и механизмов в значительной степени зависит от смазочных масел и присадок к ним. Выбор масла является таким же важным фактором, как и выбор материала и термообработки для деталей машин, поэтому смазочное масло следует считать неотъемлемым элементом конструкции машин и механизмов.

Масла разбиваются на четыре группы в соответствии со своим происхождением: животные, растительные, минеральные и синтетические. И животные и растительные масла нельзя дистиллировать, так как они имеют тенденцию к разрушению.

Качество высортных смазочных масел зависит от выбора вводимых в них присадок, однако в обеспечении такими присадками испытываются значительные трудности, так как часть присадок загрязняет окружающую среду, поэтому их использование ограничено стандартами; кроме того, такие трудности обусловлены нехваткой исходного сырья и другими факторами.

Количество масла в системах поддерживается за счет доливок. Переоценивать роль доливок свежего масла не следует, поскольку они приносят в смазочную систему не только присадки в их исходном состоянии, но и свежее масло, склонное в начальном периоде к относительно бурному окислению в связи с на-

личием в нем легко окисляющихся компонентов, отсутствующих в работавшем масле. Частая же смена масла невыгодна не только экономически, но и технически, поскольку масло приобретает оптимум эксплуатационных свойств, в частности противозносных, только после определенной наработки.

Исходным сырьем для получения смазочных масел служат малосмолистые парафинистые и беспарафинистые масляные нефти. В зависимости от способов переработки нефтяного сырья минеральные масла делятся на дистилляты, рафинаты, остаточные и концентраты.

Дистилляты — масла, полученные при перегонке масляного мазута, и для использования должны быть дополнительно обработаны.

Рафинаты — это дистилляты, очищенные различными способами.

Остаточные масла — остаток отгонки части масляных фракций результатов переработки нефти (мазута масляного, полугудрона).

Концентраты — результат сгущения минеральных масел.

Минеральные масла применяют для смазывания приборов, механизмов, двигателей, станков и машин, используемых в различных отраслях народного хозяйства.

В зависимости от рабочей температуры жидкие минеральные масла подразделяют на следующие группы:

— индустриальные масла, работающие при низкой и нормальной температуре, не выше 50°C ;

— специального назначения или специальные минеральные масла, работающие при температуре в пределах $50\text{—}250^{\circ}\text{C}$;

— масла для двигателей внутреннего сгорания, моторные масла, работающие при температуре свыше 250°C или даже в условиях открытого огня;

— трансмиссионные масла, работающие в широком интервале температур и подвергающиеся высокой нагрузке.

Основным сырьем для производства минеральных масел служат мазуты — остатки от прямой перегонки нефти. Мазуты — это смеси углеводородов, кипящих при температуре $300\text{—}700^{\circ}\text{C}$. Для избежания крекинга и осмоления высокомолекулярных углеводородов перегонку мазутов проводят в условиях вакуума с перегретым паром, который ускоряет испарение за счет создания большой поверхности.

Мазут нагревается в вакуумных трубчатых печах до температуры 425°C и направляется на разгонку. Вначале из мазута отгоняются дистилляты, идущие на изготовление маловязких (дистиллятных) масел. Из остатков после отгона из мазута маловязких масел — полугудронов и гудронов — изготавливают высоковязкие (остаточные) масла.

В маслянистых дистиллятах содержатся парафиновые углеводороды нормального и изостроения (C_nH_{2n+2}), нафтеновые углеводороды, содержащие пяти-, шестичленные циклы с парафиновыми боковыми цепями разной длины, ароматические углеводороды (поли- и моноциклические), а также нафтоароматические (с парафиновыми боковыми цепями), смолисто-асфальтеновые вещества, серу-, азот- и кислородсодержащие органические соединения.

Нафтеновые и изопарафиновые углеводороды являются основой нефтяных масел, и их содержание в зависимости от характера нефти и температурных пределов выкипания нефтяных масляных фракций составляет от 50 до 75% массы масла.

Отдельные компоненты нефти различаются между собой количеством атомов углерода в молекуле и, с другой стороны, принадлежностью к группе парафинов, нафтенов и ароматических соединений.

Каждое соединение обладает, естественно, различными физическими и химическими свойствами, причем с точки зрения разложения нефти особое значение имеет точка кипения. Сырые масла классифицируются по основаниям: парафиновому, нафтеновому и смешанному. Из них минеральные масла изготавливают по стадиям:

а) дистилляция — извлечение фракций, которые имеют соответствующую вязкость и характеристики, необходимые для образования основы ряда масел;

б) рафинирование — удаление включений для придания маслу устойчивости и цвета;

в) добавка присадок — улучшение качества масел и повышение срока службы.

Синтетические жидкости с низкой воспламеняемостью начали использоваться в годы второй мировой войны в гидросистемах самолетов и в катапультирующих устройствах. В середине 50-х годов японская промышленность начала широко применять импортные гидросмеси типа сложных эфиров фосфорной кислоты и на основе системы воды — гликоля, смазочные масла для турбин самолетов — на основе диэфиров; тормозную жидкость — на основе полигликоля.

Использование синтетических масел было обусловлено не только техническими характеристиками оборудования, но и потребностями в сырье. Смазочное масло для турбин самолетов, которое в конце 50-х годов делалось на основе диэфира, с 1963 г. стали вырабатывать на основе сложных полиэфиров нефти, а затем на более долговечном полифенилэфире.

После разработки «модели 1» на основе полиальфаолефина (1977 г.) синтетические масла стали широко применяться в качестве обычного масла для автомобильных двигателей.

В настоящее время синтетические масла для отечественных турбореактивных двигателей получают на основе диэтоктилового эфира себаценовой кислоты и содержат антиокислительную и загущающую присадки. Масла (ВНИИ НП-7, ВНИИ НП 50-1-4Ф и др.) характеризуются хорошими противозносными и низкотемпературными свойствами, обеспечивают холодный запуск двигателя до температуры минус 35°C и работоспособны до температуры плюс 140°C. Синтетическое масло Б-3В для вертолетов производят на основе сложных эфиров пентаэритрита и жирных кислот.

Таблица 1

Сравнительные данные для различных синтетических смазочных масел
оценка качества масел: 1—неудовлетворительно, 2—удовлетворительно, 3 — хорошо, 4 — очень хорошо).

| Классификация масел | Индекс вязкости | Подвижность при низких температурах | Легучесть | Термостабильность | Стойкость к окислению | Стойкость к гидролизу | Огнестойкость | Стойкость к нагрузкам | Стойкость к излучению | Эффективность присадок | Растворимость в минеральных маслах | Совместимость с маслами и пластмассами |
|---|-----------------|-------------------------------------|-----------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------------|--|
| Минеральные масла | 2 | 2—3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 3 | 3 | 2—3 | 4 | 2—3 |
| Минеральные масла после высокотемпературной обработки и полиолефины | 2—3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| Полиалкиленгликоли | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Сложные диэфиры | 4 | | 2—3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 |
| Неопентилполиоловый эфир | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 |
| Силан | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Силикаты | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Силиконы | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| Полифенилэфиры | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 |
| Фторированный углерод | 1 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 |

Дальнейшее расширение сфер применения синтетических смазочных масел связано с вопросом о том, сможет ли высокий уровень характеристик этого масла компенсировать более высокую его стоимость по сравнению с минеральным маслом. Например, на полифениловых эфирах могут работать гидросистемы с рабочей температурой порядка 400—500°C, но стоят они приблизительно в 200 раз дороже минеральных масел.

Синтетические смазочные масла иногда получают с использованием животных и растительных продуктов в качестве исходного сырья, однако в большинстве случаев таким исходным

сырьем является нефть. Как правило, нефть подвергают газификации, превращая ее в этилен, пропилен и другие виды олефинов, из которых затем химическим путем синтезируют целевые продукты.

Свойства синтетических смазочных масел, содержащих кремний, зависят от вида химических связей и подразделяются на следующие классы: силикаты при наличии связей кремний — кислород — углерод и кремний — кислород — кремний; силиконы при наличии связей кремний — углерод и кремний — кислород — кремний; силаны при наличии связей кремний — углерод (табл. 1).

Таблица 2

Пределъ измѣненія температуры работы синтетическихъ смазочныхъ масел, °С

| Смазочные масла | Время работы, ч | | |
|---|-----------------|---------|-----------|
| | 500—1000 | 10—100 | Менее 1 ч |
| Минеральные масла | 90—120 | 135—150 | 165—190 |
| Минеральное масло после высокотемпературной обработки | 150—230 | 290 | 370 |
| Полиолефины | 150—230 | 290 | 370 |
| Полиалкиленгликоли | 165—175 | 190—205 | 230—250 |
| Сложные эфиры | 175 | 205 | 220 |
| Неопентилполиоловые эфиры (ароматические) | 190 | 220 | 230 |
| Фосфаты (ароматические) | 205 | 275 | 300 |
| Силаны | 150—230 | 200 | 370 |
| Силикаты | 130—205 | 245—275 | 300 |
| Кремниорганические (силиконовые) | 220—290 | 230—330 | 370 |
| Полифенилэфирные | 315 | 425 | 480 |

Свойства синтетических смазочных масел даже одного и того же класса довольно различны. Например, температура подвижности полиалкиленгликолей у низкомолекулярных смазок составляет ниже — 60°С, а у смазок с большим молекулярным весом — близка к комнатной.

В настоящее время основное направление в исследованиях синтетических масел — разработка масел, обладающих высокой термостабильностью и превосходными физическими свойствами. В табл. 2 приведены данные для случая введения в смазочные масла добавок соответствующих антиоксидантов.

Сложные эфиры, фосфаты, силикаты, неопентилполиоловые эфиры синтезируют из спиртов или фенолов и кислот реакций конденсации с дегидрированием, поэтому при контакте с водой возможен процесс гидролиза, особенно нестабильные в этом отношении силикаты.

1128899

Фосфаты, имеющие эфирные связи, вполне устойчивы к нагрузкам, тогда как силан, кремнийорганические силикаты и другие смазочные масла, содержащие кремний, а также полифениловые эфиры, имеющие ароматическое ядро, менее стабильны к нагрузкам.

Диэфирные масла имеют значительно более высокую удельную теплоемкость и теплопроводность по сравнению с минеральными маслами, благодаря чему они являются хорошими переносчиками теплоты. По смазывающим свойствам они равны или немного лучше минеральных масел. Хлорированные масла получают непосредственным хлорированием углеводородов: парафинов, нафталина, дифенила. Эти продукты имеют высокий коэффициент вязкости и их применяют в качестве пленки, а также в электротехнической промышленности для пропитки конденсаторов.

Базовое масло в зависимости от химической структуры углеводородов в большей или меньшей степени подвергается разложению. Легко разлагаются высокомолекулярные углеводороды с длинными боковыми цепями, против разложения устойчивее насыщенные алифатические соединения. При разложении парафиновых и ароматических углеводородов образуются непредельные соединения. Молекулы углеводородов окисляются при взаимодействии их с кислородом воздуха или с соединениями, содержащимися в масле.

Интенсивность окисления углеводородов зависит от особенностей их структуры, рабочей температуры масла, скорости и характера движения воздуха, каталитического действия металлов и других факторов. При окислении нафтеновых углеводородов образуются нафтеновые кислоты и оксикислоты, повышающие органическую кислотность масла. Ароматические углеводороды окисляются с образованием смол.

Полимеризация углеводородов заключается в соединении нескольких простых молекул в одну более сложную, происходит увеличение плотности углеводородов по схеме смолы—асфальтены—карбены—карбоиды.

Смолы образуются при полимеризации парафиновых и нафтеновых углеводородов и находятся в масле в молекулярно-дисперсном состоянии. Асфальтены являются продуктами полимеризации смол, они образуют с маслом коллоидный раствор. Дальнейшее уплотнение асфальтенов приводит к образованию крупных нерастворимых частиц карбенов и карбоидов с размерами 0,5 мкм и более.

При трении контактирующих поверхностей микронеровности способствуют разогреву и отделению частиц износа, которые вызывают резкий нагрев и окисление окружающего микрообъема масла. Вязкость масла в окружающей частицу пространстве так-

же резко снижается. Масло, заполняющее внешнее пространство, имеет повышенную вязкость и изолирует микрообъем, поэтому продукты локального окисления не рассеиваются.

В процессе трения повышается адсорбционная активность частицы, что связано с деформацией ее кристаллической решетки. Одновременно на поверхности частицы возникает микрочаряд статического электричества, притягивающий продукты окисления. В результате поверхность частицы покрывается слоем полярно-активных углеводородов.

Высокой адсорбционной активностью обладают продукты окисления и полимеризации, которые будут покрываться также слоем полярно-активных углеводородов. Частицы, проникающие в масло извне, обладают высокими удельными поверхностями и способны адсорбировать органические компоненты. Описанные процессы приводят к образованию сложных комплексных агрегатов из частиц органического и неорганического происхождения.

На разрыв молекулярных связей при диспергировании частиц затрачивается энергия, которая оценивается удельной работой диспергирования и определяется из выражения

$$H = \frac{\sigma \Delta S + q}{\Delta S},$$

где σ — поверхностное натяжение диспергирующего вещества; q — работа упругих деформаций; ΔS — вновь образованная поверхность. Считается, что в маслах возможно также адсорбционное диспергирование, подобное процессам пептизации.

Магнитные жидкости на масляной основе расширяют перспективы применения магнитных материалов в машиностроении. Под действием магнитного поля можно изменять оптические, электрические и теплофизические свойства. В неоднородном магнитном поле можно изменить кажущийся удельный вес и эффективную вязкость.

На основе учета данных свойств магнитные жидкости позволяют эффективно решать такие практические задачи как уплотнение валов, разделение материалов по плотности, смазка и герметизация подшипников и др. при намагниченности до 75 КА/М и вязкости 0,2—30 Па.с.

Проблема создания магнитожидкостных уплотнений успешно решается в Ивановском энергетическом институте им. В. И. Ленина. Созданные там уплотнения исключают износ контактирующих с уплотнителем поверхностей; имеют минимальные потери на трение, высокую долговечность; обладают самовосстановлением в случае прорыва уплотняемой среды при линейной скорости вала до 50 м/с и компенсируемом перепаде давлений до 0,5 МПа.

По данным наших исследований, применение комбинированных магнитожидкостных уплотнений на строительно-дорожных машинах позволяет обеспечить ресурс работы не менее 3000 ч.

СВОЙСТВА МАСЕЛ И МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

Присадки к смазочным маслам — вещества, при добавлении которых улучшаются свойства масел, а также возникают новые свойства, что приводит к улучшению рабочих характеристик. Кроме того, при их использовании уменьшается скорость нежелательного старения масел.

От применяемых в настоящее время смазочных масел требуется полуфункциональность, переход к многоцелевым маслам определяется также стремлением к удлинению срока службы и снижению вязкости с целью экономии энергии.

При переходе к многоцелевым маслам возникает потребность в повышении характеристик по следующим параметрам: 1) высокотемпературной стабильности; 2) низкому давлению паров при низкой вязкости; 3) широкому интервалу вязкостей и устойчивости добавляемого полимера к сдвигу; 4) окислительной стабильности; 5) диспергирующим и моющим свойствам по отношению к отложениям при низкой и высокой температурах; 6) противозносным свойствам; 7) антикоррозионным свойствам; 8) свойствам ингибитора коррозии.

Первые два параметра обусловлены свойствами самого базового масла, а остальные зависят от применяемых присадок.

Известно, что присадки, улучшающие качество масла в одном направлении, в большинстве случаев отрицательно воздействуют на его свойства в другом направлении. Любое универсальное масло должно быть хорошо сбалансированным смазочным материалом, который благодаря сумме своих свойств должен отвечать предъявляемым требованиям.

Благодаря тяжелым ароматическим углеводородам масла имеют хорошие смазочные характеристики: лишь 2% их может в значительной степени уменьшить износ и трение, увеличить несущую способность парафинов. Смеси тяжелых углеводородов и парафинов намного лучше, чем каждый компонент в отдельности.

Тяжелые ароматические углеводороды с конденсированными ароматическими кольцами имеют второе необычное свойство: при отсутствии воды и кислорода они будут вызывать износ при очень низких нагрузках. Такое свойство тяжелых ароматических углеводородов относится к плохо изученной реакции разложения на

трущейся поверхности, а не к окислению или реакции с металлом. Чем меньше в маслах содержание ароматических углеводородов и смол, тем ниже склонность к нагарообразованию масел. В образовании нагарного остатка масел содержание смол имеет решающее значение.

Ароматические углеводороды дают меньший износ, чем парафины той же вязкости. Смеси ароматических углеводородов и парафинов обладают лучшими свойствами, чем каждый компонент в отдельности. Всего 1% ароматического углеводорода значительно улучшает свойства парафинов. Должное внимание следует уделять выбору оптимального типа масла в зависимости от сильно нагруженных металлических компонентов в системе. Выбор необходимых вязкостных свойств гарантирует соответствующую смазку и эксплуатацию при желаемом температурном диапазоне.

В процессе экспериментальных исследований найдены два неожиданных явления, касающихся антифрикционных и антиизносных характеристик ароматических углеводородов. Во-первых, в отсутствие кислорода и воды чистые ароматические углеводороды даже при очень низких нагрузках приводят к задиру. Добавление кислорода или паров воды, или того и другого вместе значительно снижает тенденцию к задиру. Совсем обратное наблюдается в свойствах парафинов, которые имеют отличные свойства в инертной атмосфере, но в присутствии кислорода и воды влияют на образование задира. Во-вторых, смеси ароматических углеводородов и парафинов имеют намного лучшую смазывающую способность, чем ароматические углеводороды и парафины в отдельности. Всего 1% ароматического углеводорода значительно улучшает свойства парафинов.

Количество присадок в маслах уменьшается при их хранении, что вызывает необходимость в создании смазочных композиций с определенным запасом присадок. Например, при хранении масел с присадками в железных бочках в течение 1,5 лет термоокислительная стабильность их ухудшается на 20—30%, а моющих потенциал убывает в случае бариевых присадок с 20% до 0, а в случае кальциевых — с 60 до 50%. Вместе с тем стоимость некоторых присадок в десятки раз превышает стоимость базовых масел.

Эффективность нужных соединений следует оценивать с учетом теоретических и экспериментальных данных, многообразия условий применения (табл. 3). Большое значение имело использование соответствующего подбора различных добавок. Дополнительные возможности скрыты в синтетических продуктах и суперпарафинах на базе нефти. Благодаря химическому синтезу можно изменять свойства смазочных масел посредством изменения молекулярной структуры.

Повышенная термическая стабильность и стойкость к окислению до высоких температур, с другой стороны, достаточная реакционная способность в области смешанного трения являются противоположными требованиями, которые не допускают идеального решения в единственном структурном типе даже синтетических масел. Целевое применение добавок дает возможность получить как достаточную активность граничной поверхности в области смешанного трения, так и усилить или изменить определенные свойства синтетического смазочного материала.

Таблица 3

Компоненты присадок, применяемые для получения многофункциональных моторных масел

| Компонент присадки | Дизельный двигатель | Карбюраторный двигатель |
|---|---|--|
| Компоненты, обеспечивающие дисперсию зольности | Чистота поршней | Контроль осадкообразования и лакового нагара |
| Моющие компоненты — селфонаты и карбоксилаты металлов | Чистота поршней | Контроль окисления |
| Феноляты металлов | Контроль углеродного нагара | Ингибирование окисления |
| Дитиофосфаты цинка | Контроль окисления и износа | |
| Ингибиторы зольности | Контроль высокотемпературного окисления | |

Большинство синтетических масел имеют хорошую вязкостно-температурную характеристику и лучше по сравнению с минеральными маслами (полиалкиленгликоли, силиконы и эфиркремниевые кислоты) свойства при низких температурах. Полимерные добавки в эфирах дикарбоновых кислот, фосфатов и их смесях с углеводородными маслами действуют также, как в чистых минеральных маслах.

Стойкость синтетических масел к окислению также имеет пределы, так как они применяются при температурах более высоких, чем обычные углеводородные смазочные масла. Воздействие кислорода происходит как радикальная цепная реакция, поэтому антиокислители должны действовать как прерыватели цепей. Для эфирных масел и полиалкиленгликолей особенно целесообразно использовать феномиазин и замещенные ароматические амины; в этих жидкостях очень эффективны добавки, увеличивающие износостойкость.

Фосфатные эфиры уменьшают износ даже без особых добавок, хорошо совместимы с присадками, улучшающими свойства при смешанном трении.

Действие кислорода как присадки для высоких давлений проявится благодаря оксидной пленке, образующейся в контактной области. Если затруднить теплообмен и нарушить взаимодействие масла с пленкой, эффект от взаимодействия кислорода в условиях высокого давления пропадает и возникает пережог. Действие смазки становится невозможным. Эта критическая температура составляет 199—232°C и соответствует моменту начала распада активизированного смазкой кислорода. Можно предположить, что эффективность смазки при граничном трении определяется скоростью активизации кислорода, содержащегося в смазке.

Основной причиной ухудшения качества масла с присадками является образование оксикислот, которые приводят к образованию нагара и выпадению осадка из масла. Выпадение осадка в моторных маслах начинается при содержании оксикислот выше 1,3%. Интенсивность накопления оксикислот в масле может быть уменьшена путем улучшения качества масла, выбором оптимальной рабочей температуры масла, а также фильтрацией при пониженной температуре.

Как правило, универсальные масла, применяемые в зубчатых передачах тракторов и автомобилей, изготавливаются с помощью добавления некоторых присадок к легкому основному маслу. При этом главное значение имеют присадки, улучшающие индекс вязкости. В качестве указанных присадок обычно используются полимеры с высоким молекулярным весом, величина которого выбирается для каждого частного случая применения масла с учетом эффективности смешивания его компонентов и их устойчивости к сдвигу. Например, широко используется в виде присадок, уменьшающих индекс вязкости, полиметакрилат или полиизобутилен. Однако полимеры повышают чувствительность масла к механическому сдвигу, что снижает индекс вязкости и универсальный характер масла.

Основным компонентом присадки для повышения маслянистости являются жирные кислоты, они эффективно работают до температуры порядка 150°C. При повышении этой температуры эффект адсорбции резко падает.

С другой стороны, эффект действия антифрикционных присадок сохраняется до довольно высоких температур, поскольку он определяется появлением пленки твердой смазки в результате взаимодействия присадки с поверхностью металла. Наоборот, в зоне низких температур эффект действия антифрикционных присадок обычно ухудшается. Высокая эффективность присадок в зоне от низких до высоких температур может быть обеспечена при одновременном введении в рабочую жидкость обеих присадок. Однако отметим, что поскольку жирные кислоты, обладающие таким эффектом, как средство повышения маслянистости, недостаточно стабильны, для гидравлических рабочих жидкостей они практически не применяются.

Типичные образцы маслянистых средств

| Маслянистые вещества | Химическое соединение | Химическая формула соединения |
|-----------------------|---------------------------------|--|
| Высшие жирные кислоты | Олеиновая кислота | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\overset{\text{H}}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{C}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ |
| | Стеариновая кислота | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ |
| | Пальмитиновая кислота | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ |
| Высшие спирты | Лауриловый спирт | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OH}$ |
| | Олеиновый спирт | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\overset{\text{H}}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{C}(\text{CH}_2)_7\text{CH}_2\text{OH}$ |
| | Цетиловый спирт | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_2\text{OH}$ |
| Эфиры (глицериды) | Эфир олеиновой кислоты | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\overset{\text{H}}{\underset{ }{\text{C}}}=\text{C}(\text{CH}_2)_7\text{COOC}_2\text{H}_5$ |
| | Сорбитан моностеарат | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} \quad \text{O} \quad \text{CH} \cdot \text{CH}_2\text{CCC} \cdot \text{C}_{17}\text{H}_{35} \\ \quad \quad \\ \text{HONC} \quad \text{C} \quad \text{CHON} \\ \quad \quad \\ \text{HON} \quad \quad \text{HON} \end{array}$ |
| | Моноглицерид олеиновой кислоты | $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OOC} \cdot \text{C}_{17}\text{H}_{33} \\ \\ \text{CHON} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$ |
| Амин | Цетиламин | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_2\text{NH}_2$ |
| | Октадециламин | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_2\text{NH}_2$ |
| Металлическое мыло | Соль железа и олеиновой кислоты | $(\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COO})_2\text{Fe}$ |
| | Соль меди и нафтенной кислоты | $\left\{ \begin{array}{c} \text{R} \quad \quad \text{R} \\ \quad \quad \\ \text{---} \quad \text{---} \\ \quad \quad \\ \text{R} \quad \quad \text{R} \end{array} \right\} (\text{CH}_2)_n \text{COO} \text{---} \text{Cu}$ |

Типичные образцы маслянистых средств представлены в табл. 4.

Для обеспечения условий смазки в зоне граничной смазки нередко используют присадки, повышающие смазывающие свойства рабочей жидкости. Существует множество разновидностей присадок. Для повышения смазывающей способности жидкости применяются присадки, повышающие маслянистость и антифрикционные присадки.

Эффект присадок для повышения маслянистости состоит в снижении трения между металлами и достигается в результате адсорбции на их поверхности полярных органических соединений. Эффект антифрикционных присадок состоит в снижении трения между металлами и достигается в результате образования твердого слоя смазки при взаимодействии присадки с поверхностью металла. Для сравнения присадок, повышающих маслянистость, и антифрикционных присадок на рис. 3 показана в общем виде зависимость их эффективности от температуры.

Пена представляет собой неустойчивую систему. Стабильная структура требует минимальной площади поверхности, которая соответствует минимальной энергии поверхности. В пене протекают три процесса: перераспределение размеров пузырьков, уменьшение толщины пленки пузырьков и деструкция пузырьков.

К физическим свойствам, влияющим на вспенивание масел из нефти, относятся прежде всего поверхностное натяжение, вязкость и упругость поверхностного слоя. Из химических свойств на пенообразование влияют в основном состав масла и содержание поверхностно-активных веществ (смолы, органические кислоты и их производные, высшие спирты и т. д.), которые уменьшают поверхностное натяжение масел и тем самым способствуют образованию пены.

Степень старения масла в значительной мере зависит от пенообразования и устойчивости пены. При его старении образуются ПАВ, увеличивающие пенообразование. Вспениванию масла способствуют также резкие изменения скорости его потока, подсос воздуха за счет негерметичности системы и т. д. В самом

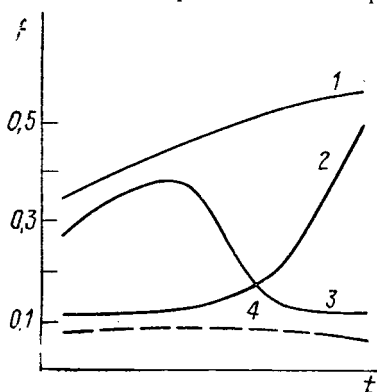


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от температуры эффективности присадки для повышения маслянистости и присадки для обеспечения смазки при высоком давлении:

1 — рабочая жидкость на парафиновом основании; 2 — присадка для обеспечения смазки при высоком давлении (антифрикционная); 3 — комбинация двух присадок (для повышения маслянистости и антифрикционная)

нефтяном масле бывает растворено от 5 до 10 об.% воздуха, который вследствие кавитации может вызвать вспенивание.

В качестве веществ, хорошо подавляющих пену, лучше всего зарекомендовали себя различные полисилоксаны, а также производные жирных кислот, содержащие полярные группы. Чаще всего для этого используются полисилоксаны молекулярного веса от 20000 до 50000 и вязкостью от 1000 до 60000 сСт при 25°C. При этом эффективная дозировка колеблется от 1 до 100 млн. долей.

Минимальным пенообразованием отличаются масла из рафинатов селективной очистки, облагороженные только антиокислительной присадкой.

Группа азотсодержащих соединений относится к наименее изученной и представлена в маслах в основном производными пиридина и хинолина. Влияние азотистых соединений сводится главным образом к образованию в маслах смол и отложений на деталях конструкции, а потому их присутствие в маслах является нежелательным.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ

Вязкость, важнейший показатель физико-химических и эксплуатационных свойств масел, определяет надежность режима смазки в условиях гидродинамического трения и существенно влияет на охлаждающую способность масел, их утечку через уплотнения. Движение жидкости существенно зависит от ее вязкости, т. е. от внутреннего трения, которое проявляется при относительном движении соседних слоев жидкости и зависит от сил сцепления между отдельными молекулами.

По закону Ньютона сила внутреннего трения, сила, проявляющаяся при перемещении одного слоя жидкости относительно другого, пропорциональна относительной скорости перемещения и величине поверхности соприкосновения слоев жидкости.

Физическую картину причин возникновения вязкости при движении жидкости на молекулярном уровне можно интерпретировать следующим образом:

а) молекулы, находящиеся на одном уровне, испытывают действие межмолекулярных сил от молекул, находящихся на другом уровне и, чтобы преодолеть эти взаимодействия и вызвать относительное движение слоев жидкости, необходимо преодолеть эти силы;

б) случайное кинетическое движение молекул приводит к их перемещению из одного слоя в другой, при перемещении передается количество движения, которое стремится замедлить движение слоя жидкости, движущегося с большой скоростью и ускорить более медленный слой. Поэтому, чтобы сохранить прежний градиент скорости, необходимо преодолеть эту силу.

Вязкость настолько велика, что ее значение положено в основу классификации и маркировки масел.

Выбор соответствующего градиента вязкости зависит от трех факторов: диапазона рабочей температуры, максимальной и минимальной вязкости, которую способно выдержать оборудование.

Проследим пределы вязкости для насосов тракторных гидросистем, сСт:

| Тип насоса | Минимальная | Рекомендуемая | Максимальная |
|--------------|-------------|---------------|--------------|
| Шестеренный | 25 | 25 | 1000 |
| Лопастной | 13 | 25 | 850 |
| Винтовой | 25 | 75 | 500 |
| Поршеньковый | 15 | 20 | 450 |

Классификация различных типов вискозиметров

| Тип прибора | Тип движения жидкости в приборе | Реологические среды | Наблюдаемый эффект |
|---|---------------------------------|--|---|
| Вискозиметр капиллярный | Прямолинейное течение | Ньютоновские, неньютоновские, линейные, вязкоупругие | Концевой эффект, стабилизированное течение |
| ротационный осевой цилиндрический | Вращение | Ньютоновские, неньютоновские, линейные, вязкоупругие | Стабилизированное и нестабилизированное течение |
| качающийся осевой цилиндрический | Вынужденные колебания | Линейные, вязкоупругие | Нестабилизованное течение |
| качающийся осевой цилиндрический | Свободное колебание | Линейные вязкоупругие, неньютоновские | Стабилизированные течения |
| ротационный дисковый | Вращение | Ньютоновские | Краевой эффект, концевой эффект, эффект стенки |
| качающийся дисковый | Свободное колебание | Ньютоновские | Краевой эффект концевой эффект, эффект стенки |
| ротационный коаксиальный цилиндрический | Вращение | Ньютоновские | Эффект стенки |
| качающийся коаксиальный | Вынужденное колебание | Прямолинейные вязкоупругие, неньютоновские | " |
| качающийся коаксиальный сферический | Свободное колебание | Прямолинейные вязкоупругие ньютоновские | " |
| конический дисковый | Вращение | Ньютоновские, неньютоновские, линейные вязкоупругие | Некраевой эффект |
| типа конус — конус | Вращение | Ньютоновские, неньютоновские линейные вязкоупругие | Некраевой эффект, неугловой |
| качающийся дисковый | Вынужденное вращение | Ньютоновские, линейные вязкоупругие | Краевой эффект эффект стенки |

| Тип прибора | Тип движения жидкости в приборе | Реологические среды | Наблюдаемый эффект |
|-------------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|
| Вискозиметр | Прямолинейное движение | Ньютоновские | Эффект стенки, концевой эффект |
| | Прямолинейное движение | Ньютоновские, линейные вязкоупругие | Неконцевой эффект |
| | Прямолинейное движение | Ньютоновские | . |
| капающий | Осевое колебание | Линейные вязкоупругие, ньютоновские | . |
| параллельно-плоский эластомер | Сжатие | Ньютоновские, неньютоновские, линейные вязкоупругие | Некраевой эффект |

Оптимальная для гидросистемы вязкость рабочей жидкости часто близка к минимальной, поскольку работа на маслах с низкой вязкостью сводит до минимума потери. Вязкость ниже установленной минимальной величины может понижать объемный к. п. д., вызвать утечку масла.

Допустимое снижение максимальной вязкости для насосов можно применять равным 30%, но если износ устанавливается ниже уровня жидкости в резервуаре, то допустимо снижение только на 10—15%. Значительное снижение вязкости масла при повышенных температурах приводит к резкому уменьшению несущей способности масляного клина.

Уменьшение вязкости при высокой температуре считается нормальным явлением для жидкостей.

В исследованиях по разработке различного типа вискозиметров для определения вязкости достаточно полно представлены конструкции и принцип действия подобных приборов. По нашему мнению, весьма удачной является классификация подобных приборов, предложенная в реологии Ф. Эйрихом (табл. 5).

Вязкость масел характеризуется сопротивлением при взаимном перемещении слоев жидкости. С увеличением вязкости уменьшаются текучесть и подвижность масла, возрастают потери мощности на трение.

Жидкостные свойства масел часто выражают кинематической вязкостью ν , которую определяют по времени перетекания некоторого объема масла через капилляр вискозиметра под действием силы тяжести (без внешнего давления, которое создается при

определении динамической вязкости). Единица кинематической вязкости сантистокс ($1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$) соответствует вязкости дистиллированной воды при температуре $20,2^\circ$.

Динамическая и кинематическая вязкости связаны зависимостью

$$\nu = \eta / \rho,$$

где ρ — плотность жидкости.

Вязкость масел очень чувствительна к изменению температуры и в зимнее время может увеличиться в тысячи раз до потери подвижности при температуре застывания. Чем сильнее и круче зависимость вязкости от температуры и выше температура застывания масел, тем хуже вязкостные свойства и труднее применять масла в условиях зимней эксплуатации и, наоборот, масла с полной температурно-вязкостной характеристикой повышают эффективность зимней эксплуатации автотракторных двигателей.

Температурно-вязкостные свойства масел оценивают индексом вязкости (ИВ). У масел с более высоким ИВ меньше зависимость вязкости от температуры, их пусковые свойства лучше.

Индекс вязкости масла определяют путем сравнения проверяемого масла двумя эталонными по формуле

$$\text{ИВ} = \frac{L - M}{L - H},$$

где M — вязкость проверяемого масла при $37,8^\circ\text{C}$; L и H — вязкость эталонных масел с ИВ, соответственно равными 0 и 100. Причем вязкость проверяемого и эталонных масел при $98,9^\circ\text{C}$ одинакова.

Определение ИВ по формуле связано с большими трудностями, поэтому используют специальные номограммы и данные о вязкости проверяемого масла при температурах 50 и 100°C .

В зависимости от температуры застывания и температурно-вязкостной характеристики моторные масла подразделяют на летние (более вязкие) и зимние (менее вязкие). Зимние масла для карбюраторных двигателей имеют вязкость 6—8 сСт при 100°C , для дизельных — 8 сСт. Поскольку ИВ дает представление о вязкостных свойствах масел в основном при положительных температурах, для характеристики зимних масел дополнительно указывают вязкость при температурах — 18°C и ниже.

Повышение вязкости масел при низких температурах связано с выпадением кристаллов парафина, которые при температуре застывания образуют сплошной каркас, заполненный масляной основой, в результате масло полностью теряет подвижность. Предельно низкая температура применения масел должна быть на 8— 12°C выше температуры застывания. Для снижения температуры застывания применяют депрессорные присадки (АзНИИ-ЦИАТИМ-1, АФК, ПМА-Д и др.)

Загущенные масла с высоким ИВ (100—140), предназначенные для эксплуатации двигателей в условиях низких температур, изготавливают из маловязкой основы ($\nu=2-3$ сСт) путем добавления специальных присадок-загустителей (полиизобутилен КП-20, полиметакрилаты ПМА-В и т. д.).

Установлено, что при холодном пуске двигателей ЗИЛ-130, ЗИЛ-375, ГАЗ-53, ЯМЗ-236 предельно допустимая вязкость моторных масел должна быть не более 120—130 сСт, а для двигателей с худшими пусковыми свойствами еще меньше (70—80 сСт), при большей вязкости сопротивление прокручиванию коленчатого вала возрастает настолько, что пусковые устройства не обеспечивают необходимую частоту вращения вала и пуск двигателя становится невозможным (без специальных мер снижения вязкости моторного масла). Исходя из предельно допустимой вязкости холодного пуска, по температурно-вязкостной характеристике применяемого масла можно определить минимальную температуру окружающей среды, при которой возможен пуск холодного двигателя.

В условиях более низких температур наружного воздуха (ниже температуры застывания масла) допускают разбавление моторных масел неэтилированным бензином или зимним дизельным топливом (временная мера на период похолодания). Добавление 19% бензина в масло снижает минимальную температуру пуска на 15—20°C. Обычно бензин добавляют непосредственно в картер двигателя за 3—5 мин. до его остановки в конце рабочей смены. За это время бензин полностью перемешивается с моторным маслом, маловязкая разбавленная смесь поступает во все сопряжения и снижает сопротивление прокручиванию двигателя при пуске в начале следующей смены. В течение 1,0—1,5 ч после пуска бензин испаряется, двигатель работает на моторном масле обычной вязкости, что предотвращает интенсивный износ деталей. Однако разбавление моторного масла бензином связано со значительными потерями бензина, с повышенной пожароопасностью и требует отвода легковоспламеняющихся паров бензина из картера. Невыполнение требований противопожарной безопасности приводит иногда к взрыву паров в картере двигателя. Поэтому более экономичным и безопасным является разбавление моторных масел зимним дизельным топливом (до 20%). В этом случае на время низких температур систему смазки двигателя заправляют разбавленным маслом, на пусковых и номинальных режимах двигатель работает на масле пониженной вязкости, причем износ двигателя на разбавленном масле меньше, чем на неразбавленном, что объясняется меньшей продолжительностью задержки давления масла в главной масляной магистрали, более быстрым и обильным поступлением смазки в подшипники коленчатого вала и на зеркало гильз цилиндров по сравнению с пуском на вязких маслах.

При малых скоростях скольжения даже при разрушении масляной пленки задиры возникают после перехода к условиям тяжелого контакта. При больших скоростях скольжения разрушение

Таблица 6

Применение противозносных и противозадирных присадок в смазочных маслах

| Смазочное масло | Вид присадок | Особенности присадок |
|--|--|---|
| Для коробок | Сера—фосфор, сера—фосфор—хлор—цинк | Обладает способностью выдерживать высокие скорости, быстрое вращение, имеет хорошую антикоррозийность |
| Масло для шестерен в металлообрабатывающих станках | Свинцовое масло—йод—сера—фосфор | Устойчиво к окислению, обладает хорошей дисмульгируемостью |
| Масло для червячных шестерен | Масла, свинцовое мыло | Обладает хорошей адсорбирующей способностью на поверхности меди |
| Смазочно-охлаждающая жидкость | Активный йод, активный хлор | Обладает хорошей химической активностью |
| Эмульсия для смазки поверхности валков (при холодной прокатке) | Жирные кислоты, эфиры, присадки фосфорного ряда | Относится к маслянистым присадкам |
| Машинное масло | Цинкдиалкилдитиофосфат, трикризилфосфат, цинкдителиакарбомат | Обладает хорошей износостойкостью |
| Масло для автоматических коробок скоростей | Эфир фосфорной кислоты, дитиофосфат, сульфированное масло | Обладает хорошей износостойкостью, хорошей технической нормой трения |
| Турбинное масло | Эфир фосфорной кислоты, сера—фосфор, триквизил—фосфат | Хорошая устойчивость, антикоррозийность, хорошая способность к истиранию |
| Масло для гидравлических систем | Эфир фосфорной кислоты, эфир фосфористой кислоты, цинкдиалкилдителиакарбомат | Хорошая износостойкость |
| Консистентная смазка | Сульфированное масло, трикризилфосфат, нафтенат свинца, твердая смазка | Смягчает консистентную смазку и не разрушает ее структуру |

масляной пленки непосредственно связано с возникновением задиры [9, 10].

Предел критического произведения $(v\bar{F}v)_{кр}$ (F — нагрузка; v — скорость скольжения) определяется толщиной масляной пленки при упругой гидродинамической смазке. При достижении этого предела возникает задира. При увеличении толщины упругой гидродинамической пленки условия контакта облегчаются, поэтому произведение $(vFv)_{кр}$ увеличивается.

С ростом скорости скольжения устойчивость к задире с увеличением вязкости масла повышается. Однако при чрезмерном увеличении скорости скольжения условия работы трущейся пары ужесточаются и устойчивость к задире при повышении вязкости становится менее выраженной.

Таблица 7

Способы проведения анализа смазочных масел
и содержание диагноза

| Вид анализа | Аппаратура | Содержание диагноза |
|--|---|---|
| Содержание металла износа | Эмиссионный спектрограф | Большой износ |
| Содержание металла, внесенного пылью и т. д. | Адсорбционный спектрограф | Плохое состояние воздушных фильтров |
| Содержание металла, внесенного присадками | . | Проверка уровня масла |
| Кинематическая вязкость | Капиллярный вискозиметр | Разделение масла по вязкости |
| Анализ нерастворимых компонентов | Вращающийся вискозиметр | Определение времени смены масла |
| Щелочный показатель | Центробежный сепаратор, тонкослойный хроматограф, мембранный фильтр | Ненормальный износ масляного фильтра. Указание срока смены масла, неполное сгорание топлива |
| Степень разжижения масла топливом | Автоматическое капельное устройство | Указание сроков замены масла |
| Содержание окислов | Газохроматограф, сублимационное устройство | Неисправности топливного насоса, топливной системы |
| | Инфракрасный спектрометр | Повышенная температура масла, проникновение воды из системы охлаждения |

При эксплуатации гидросистем присадки срабатываются, а масла имеют тенденцию к старению.

Противозадирные свойства масел особенно необходимы для ответственных узлов трения, когда при высоких и продолжительных нагрузках граничный слой разрушается. Трущиеся поверхности в этом случае не защищены и в условиях сухого трения возможно «схватывание» значительных участков поверхности.

Трение без «задира» и «схватывания» характеризуется антизадируемыми свойствами, которые обеспечиваются при химическом модифицировании тонкого поверхностного слоя металла. Противозадирующие компоненты масел или антизадирующие присадки содержат в своем составе молекулы с полярными группами — атомами P, S, Cl, N, осерненные жиры, а также металлоорганические соединения, которые при высоких температурах разлагаются, образуя с металлом поверхности сульфидов, фосфидов, хлоридов и т. д. Эти соединения имеют слоистую структуру, следовательно, более низкое значение сопротивления сдвигу или срезу.

Недостатком антизадирующих присадок является их способность разлагаться при достаточно высокой температуре не в точках контакта, а в объеме масла, что приводит к снижению эффективности действия этих присадок (табл. 6). Кроме того, присадки могут оказывать коррозионное воздействие на детали. Коррозия в этом случае сопровождается отложениями на поверхностях деталей углеродисто-смолистых осадков.

К контрольным показателям масел относятся плотность, температура вспышки, температура застывания, зольность, коксуемость, иодное число, кислотное число, механические примеси и вода, водорастворимые кислоты и щелочи, цвет и флуоресценция (табл. 7).

Плотность определяется нефтенсиметром. Определение плотности высоковязких масел проводится при разбавлении бензином или керосином с известной плотностью навески масла.

Температура вспышки для дистиллятных масел определяется в приборах закрытого типа, для высоковязких — в приборах открытого типа. В этих приборах температура вспышки на 20—30° выше температуры вспышки, полученной в приборе закрытого типа. Температура застывания характеризует температуру, при которой масло теряет подвижность из-за увеличения вязкости.

Зольность характеризует остаток, полученный после выпаривания и прокаливания навески масла и выраженный в процентах. Зольность характеризует наличие в масле солей и других примесей, которое должно быть минимальным.

Коксуемость представляет углеродистый остаток, полученный после нагревания и испарения масла без доступа воздуха и выраженный в процентах к навеске масла.

Механические примеси и вода должны отсутствовать в масле. Определение механических примесей проводится фильтрацией 100 г масла, разбавленного бензином. Определение воды проводится перегонкой ее или химическими методами.

Старение масла складывается из двух противоположных процессов: окисление масла, загрязнение его различными продуктами и срабатывание присадок изменяют его состав и свойства, а

доливы, восполняющие угар, и фильтрация тормозят это изменение.

Изменение содержания продуктов в масле описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dx}{d\tau} = a - \frac{x}{v} g - \frac{x}{v} Q_{\varphi},$$

где τ — время;

x — количество исследуемого вещества в масле;

v — количество масла в двигателе;

a — скорость образования, поступления или расходования продукта;

Q — пропускная способность фильтров;

G — коэффициент очистки масла фильтрами;

g — скорость расходования смеси масла с исследуемым продуктом.

Интегрирование уравнения позволяет получить уравнения изменения концентрации продукта по времени.

Если количество масла в картере поддерживается неизменным путем непрерывного долива, концентрация продукта в масле равняется

$$C = C_0 e^{-\frac{g+Q_{\varphi}}{v} \tau} + \frac{a}{g+Q_{\varphi}} \left(1 - e^{-\frac{g+Q_{\varphi}}{v} \tau} \right),$$

где C_0 — концентрация продукта в масле в начале опыта.

Уравнение показывает, что благодаря фильтрации и доливу состав масла изменяется с убывающей интенсивностью, и концентрация любого продукта со временем приближается к пределу:

$$C_{\text{пред.}} = \frac{a}{g+Q_{\varphi}}.$$

При этом не имеет значения, была ли начальная концентрация меньше или больше предельной.

При оценке ожидаемого уровня загрязнения масла и для определения необходимой эффективности и грязеемкости фильтров скорость загрязнения масла нерастворимыми продуктами следует выбирать в пределах 0,006—0,015 для двухтактных и 0,010—0,030 для четырехтактных дизелей.

Коррозионность масел обусловлена действием на детали органических и водорастворимых кислот, количество которых увеличивается в процессе работы масел. Различают коррозию черных и цветных металлов. Коррозия черных металлов вызвана в основном водорастворимыми кислотами, образующимися из сернистых соединений, и возрастает с понижением температуры двигателя, особенно при работе на сернистом топливе. Коррозия цветных металлов обусловлена также действием органических

кислот и увеличивается с повышением температуры масла. Коррозия цветных металлов заметно снижает долговечность подшипников коленчатого вала, материал которых содержит свинец. Свинец интенсивно вымывается из подшипникового сплава, структура антифрикционного слоя становится пористой и рыхлой, разрушающейся при малых механических нагрузках с образованием коррозионных раковин на поверхности подшипника.

Коррозионность масел обычно оценивают кислотным числом, которое обозначает количество щелочи (в мг КОН на 1 г масла), необходимое для нейтрализации образовавшихся в масле кислот. Антикоррозионные свойства масел повышают добавлением антикоррозионных щелочных присадок (ПМС, Я, МАСК и др.) и выражают щелочным числом (в мг КОН на 1 масла). Чем выше щелочное число, тем меньше коррозионность масел. У высококачественных моторных масел щелочное число достигает 6—10,5 мг КОН на 1 г масла.

Коррозионную агрессивность моторных масел по отношению к цветным подшипниковым сплавам оценивают по потере массы свинцовой пластинки, выдерживаемой определенное время в нагретом масле. Интенсивность коррозии свинца растет с повышением содержания противоизносных и противозадирных присадок в масле. Для улучшения антикоррозионных свойств масел применяют также до 1% присадок ДФ-1, ДФ-11, ВНИИ ИП-360. В процессе работы двигателя антикоррозионные присадки срабатываются и скорость коррозии деталей возрастает.

Для повышения антикоррозионных свойств масел в них вводятся антикоррозионные присадки, действие которых заключается в образовании адсорбированных и хемосорбированных пленок на поверхности металла. Улучшению антикоррозионных свойств масел способствуют также некоторые антиокислительные присадки, уменьшающие образование коррозионно-агрессивных веществ.

Коррозионные свойства масел определяют в специальной установке на пластинах свинца, серебра, меди и некоторых других металлов и сплавов. Коррозионная агрессивность масла устанавливается по изменению веса пластинки металла после 50 испытаний в масле, нагретом до 140°C и выше.

О коррозионных свойствах масла судят также по количеству нефтяных кислот, которое оценивается кислотным числом, необходимым для нейтрализации этих кислот, содержащихся в 1 г масла. Кислотное число масла определяется титрованием спиртового раствора навески масла спиртовым раствором едкого калия.

Стабильность масла — способность сохранять свойства в процессе работы, хранения и транспортировки — определяет срок службы его до замены. Одной из основных причин замены масел является их окисление.

Исключительно тяжелые условия работы моторных масел приводят к неизбежности процесса их окисления. Реакции окисления масел кислородом воздуха протекают особенно интенсивно на деталях ЦПГ (нагревающихся до температуры 200—300°C), на которых масло находится в виде тонких слоев с воздухом. В этих условиях в маслах довольно быстро образуются и накапливаются различные продукты реакций окисления, полимеризации крекинга в виде кислот, смол и других вредных веществ, вызывающих интенсивную коррозию деталей, нагаро- и лакообразование, выпадение высоко- и низкотемпературных осадков и загрязнений, забивание шламом фильтров очистки масла и маслопроводов.

Высокотемпературные отложения (лак, нагар) появляются на сильно нагретых поверхностях деталей — поршнях, поршневых кольцах, в канавках, смазываемых тонким слоем масла. Лаковые загрязнения ухудшают теплопроводность и вызывают перегрев деталей, пригорание, потерю упругости и закоксование поршневых колец, интенсивное изнашивание и заклинивание поршней.

Склонность масел к лакообразованию оценивают по их термоокислительной стабильности — способностью не окисляться в тонком поверхностном слое при высокой температуре (250°C) и выражают временем образования лаковой пленки. У более стабильных масел это время больше. Кроме того, воздействие кислорода воздуха и высоких температур в течение определенного времени вызывает испарение и повышение вязкости масла, появление углеродистых отложений в виде осадка. Чем меньше количество осадка и возрастание вязкости, тем стабильнее масло.

Для снижения скорости окисления масла применяют специально антиокислительные присадки (ДФ-П, ВНИИ НП-360, а также антипенные ПМС-200А, уменьшающие поверхность контактирования масла с воздухом и т. д.). Несмотря на введение антиокислительных присадок, предотвратить окисление масел не удается, поэтому необходимо уменьшить вредные последствия окисления: снизить коррозию и загрязнение деталей с помощью антикоррозионных и моющих присадок.

Основными факторами, влияющими на изменение свойств смазочных материалов в двигателях, являются рабочая температура масел, продолжительность работы при высоких температурах, количество воздуха, контактирующего с маслом во время работы, толщина слоя масла, катализирующая действие металлической поверхности.

Поведение масла в двигателе обычно характеризуется склонностью его к образованию осадков, загрязняющих детали и забивающих фильтры и зазоры, кислотностью, которая вызывает коррозию металлов, испаряемостью масла и ее влиянием на изменение вязкости при низкой температуре.

Вследствие сильного каталитического влияния металлов масло в тонком слое на деталях подвергается окислительной полимеризации, приводящей к образованию на металлической поверхности прочной, не растворимой в масле лаковой пленки.

Откладываясь на сепараторах подшипников, лаковые пленки уменьшают прокачку масла через подшипники качения, вызывая тем самым их перегрев и разрушение. Лаковые пленки, образовавшиеся в канавках поршневых колец, вызывают их пригорание и поломку, а как следствие — разрушение двигателя.

Под воздействием высоких температур лаковая пленка превращается в коксообразный нагар. В связи с этим необходимо заранее знать изменение свойств масла при высоких температурах, чтобы предупредить поломку. Показателями термической стабильности масел являются термоокислительная стабильность, моющие свойства масла, моторная испаряемость, рабочая фракция и склонность к образованию лака. Каждый из указанных методов оценки позволяет судить только об одном свойстве, имеющем так или иначе отношение к процессу лакообразования в двигателе.

Термоокислительная стабильность масел характеризует способность масла, находящегося на металлической поверхности в виде тонкого слоя, сопротивляться превращению в лакоподобную пленку под действием кислорода и температуры. Устойчивость масел к окислению в объеме часто называют химической стабильностью.

При нагревании масла в атмосфере воздуха уже при сравнительно невысокой температуре в масле протекают процессы окислительной полимеризации и накапливаются продукты окисления. В начале окисления образуются перекиси, которые затем превращаются в спирты, кислоты, смолы. Смолы под воздействием повышенных температур и кислорода переходят в более уплотненные вещества — асфальтены.

Дальнейшая окислительная полимеризация приводит к образованию твердых карбенов, не растворимых в масле.

Карбены, карбоиды, а также продукты износа деталей находятся в начале в коллоидном состоянии. Образование этих веществ может происходить в объеме масла при жидкостной смазке. Однако как полярно-активные вещества они укрупняются и концентрируются в граничных слоях, образуя лаковые отложения при сравнительно низких температурах.

При граничной смазке процессы окисления протекают более интенсивно, поскольку в микрообъемах около точек контакта температура масла выше средней температуры смазочного материала. Кроме того, при граничном течении на окисление более эффективно влияют металлы.

Термоокислительная стабильность нефтяных масел обуслов-

лена их разным групповым химическим составом, особенностями структурного строения составляющих компонентов.

Моющие свойства масел характеризуются способностью предотвращать отложения или удалять загрязнения с деталей (нагар, лак, смолы) путем диспергирования и переноса загрязнений в мелкодисперсном состоянии в систему очистки масла.

Значительную долю загрязнений двигателя составляют низкотемпературные мазеобразные загрязнения, осаждающиеся в полостях шеек коленчатого вала, фильтрах, клапанных коробках, поддоне и маслопроводах. Количество этих отложений зависит не только от стабильности моторных масел, но и от температурных режимов работы двигателя, присутствия воды в масле. Попадание воды в масло через неплотности системы охлаждения или путем конденсации водяных паров в процессе работы двигателя на низкотемпературном режиме (40—50°C) приводит к образованию устойчивой водомасляной эмульсии и интенсивному загрязнению двигателя, ухудшению условий смазки и охлаждению деталей.

Моющие свойства масел проверяют на специальной установке ПЭВ в виде макета одноцилиндрового двигателя с приводом от электродвигателя и электронагревом деталей и выражают в баллах от 0 до 6: чем меньше загрязнений остается на деталях установки, тем лучше моющие свойства масла и тем меньше балл.

Для повышения моющих свойств моторных масел вводят до 3—5% присадков (СБ-3, СК-3, ПМС, АКС, АСБ и др.), что снижает лакообразование на поршнях с 3,5—5,5 до 0,5—1,5 балла. В присутствии воды из масла в виде осадка быстро выпадают присадки, повышающие качество масла, поэтому содержание воды в маслах с присадками не допускается (только следы).

Спектральный анализ отложений из фильтров тонкой очистки масла показывает, что при обводнении масла содержание в нем железа, меди, свинца возрастает в 1,5—10 раз вследствие износа основных деталей двигателя по сравнению с износом на необводненном масле.

Появление воды в картерном масле в условиях эксплуатации можно обнаружить отстаиванием (если исключено ее замерзание), сжиганием полоски фильтровальной бумаги, пропитанной в течение 3—5 мин, в проверенном масле, или нагреванием пробы масла в пробирке над спиртовкой. В присутствии воды в масле бумага сгорает с шипением, протрескиванием и разбрызгиванием пламени, а в пробирке наблюдается треск и вспенивание масла.

Моющую способность и загрязненность моторного масла можно проверить по методу пятна, предложенному Н. С. Пасечниковым и Н. М. Хмелевым. Из картера двигателя, прогретого до

температуры не ниже 60°C, измерительным щупом наносят четыре капли масла на предварительно подогретую фильтровальную бумагу, которую устанавливают горизонтально на головке блока. Через 10 мин. измеряют диаметры образовавшихся на бумаге концентрических колец: d_2 — диаметр наименьшего кольца (ядра) сплошных загрязнений; d_1 — диаметр среднего кольца рассредоточенных загрязнений; D — диаметр наибольшего масляного кольца. По средним значениям диаметров D , d_1 , d_2 находят коэффициенты годности масла по наличию моющей присадки:

$$K_1 = D/d_1$$

и по загрязненности механическими примесями —

$$K_2 = d_1/d_2.$$

Значение $K_1 \geq 1,3$ показывает отсутствие или низкую концентрацию моющей присадки и слабую моющую (диспергирующую) способность масла, так как под действием присадки частицы загрязнений в дисперсном состоянии распространяются по масляному пятну, увеличивая его диаметр. Коэффициент K_1 должен быть меньше 1,3.

Коэффициент K_2 , характеризующий загрязненность моторного масла, уменьшается с повышением количества загрязнений и кислотного числа масла (диаметр d_2 возрастает). Его значение должно быть больше 1,4. Если ядро капельной пробы черного цвета, масло необходимо заменить. Нельзя судить о загрязненности масел по потемнению их цвета, поскольку под действием моющих присадок их цвет изменяется в первые часы работы двигателя. В случае срабатывания присадки ($K_1 \geq 1,3$) в незагрязненном масле ($K_2 > 1,4$) рекомендуется добавить масло присадки ЦИАТИМ-339, ВНИИ НП-360, АзНИИ-7.

Воду в масле, накапливающуюся вследствие конденсации на холодных поверхностях деталей, удаляют испарением в процессе эксплуатации двигателей на оптимальном температурном режиме (75—85°C). В моторных маслах не допускают механические примеси в виде песка, абразива, обладающих интенсивной режущей способностью. Для снижения скорости изнашивания деталей в масле вводят специальные противозносные присадки, активные элементы которых указаны в ГОСТе.

При работе двигателей в зимнее время часть топлива проникает через уплотнительный пояс поршневых колец и попадает в картер двигателя, в результате чего изменяется не только вязкость, но и температура вспышки масла. Снижение температуры вспышки масла указывает на попадание топлива и повышенную огнеопасность моторного масла.

Таким образом, определенные свойства моторных масел улучшаются с помощью различных присадок, количество которых

высококачественных масел (группа Г) может достигать более 10%. При этом с увеличением количества присадок в большинстве случаев увеличивается зольность масла. Поэтому иногда (при качественной очистке масла, топлива и воздуха от механических абразивных загрязнений, например, внедрения бумажных воздухоочистителей) износ деталей ЦПГ на высококачественных маслах с высокозольными присадками увеличивается по сравнению с износом на маслах без присадок, так как большее количество золы, образующееся при сгорании этих масел, вызывает более интенсивное абразивное изнашивание деталей.

Наименование и количество (композиция) присадок, а также основные свойства моторных масел указывают в паспорте на масло, который является официальным документом, подтверждающим соответствие основных показателей масла действующему стандарту.

Содержание в маслах значительного количества ароматических, главным образом, бициклических углеводородов с короткими боковыми цепями заметно улучшает их термоокислительную стабильность, хотя обуславливает крутую вязкостно-температурную кривую и плохие низкотемпературные свойства масел. Тяжелые конденсированные ароматические углеводороды являются естественными ингибиторами процессов окисления.

Из методов определения термоокислительной стабильности масел в зависимости от температурных режимов применения смазочного материала наиболее распространен метод, по которому определяется время превращения масла при заданной температуре в эластичную лаковую пленку, удерживающую металлическое кольцо при отрыве его с силой 10 Н, выраженное в минутах.

Образующиеся в процессе окислительной полимеризации твердые частицы, будучи полярно-активными веществами, коагулируют и, осаждаясь на деталях, образуют лаковую пленку.

Смазочные масла в зависимости от природы, несмотря на одинаковое количество твердых частиц в объеме масла, различаются способностью образовывать лаковые пленки, что объясняется неодинаковой способностью масел удерживать эти частицы во взвешенном состоянии. Поэтому моющие свойства масла характеризуют способность масла удерживать во взвешенном состоянии образующиеся твердые частицы процессов окислительной полимеризации.

Оценка моющих свойств масел заключается в испытании масла на специальной установке, включающей одноцилиндровый двигатель, и сравнении образовавшейся на боковой поверхности поршня лаковой пленки с эталонами, степень покрытия которых отложениями выражена в баллах — от 0 до 6.

МОДИФИКАТОРЫ ТРЕНИЯ

Большое значение в износе трущихся поверхностей и уменьшении коэффициента трения имеют модификаторы трения. Чтобы обеспечить небольшой коэффициент трения при малой скорости скольжения, возникла необходимость в добавлении агентов, повышающих маслянистость. Для этого применяются высшие жирные кислоты, например, олеиновая кислота, сульфированный спермацет, другие сложные эфиры, а также соединения органической фосфорной кислоты, обладающие способностью модифицировать трение (рис. 4).

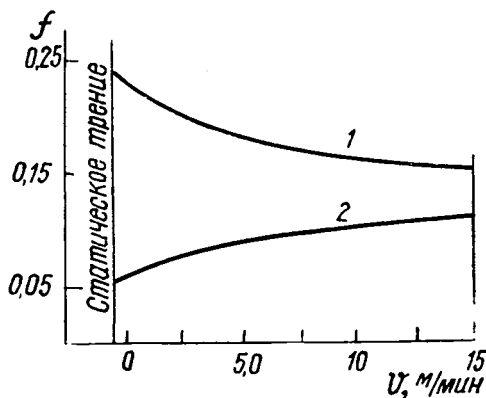


Рис. 4. Работа модификаторов трения:
1—перед добавлением модификатора; 2—после добавления

Модифицирование трения — это процесс, осуществляемый при граничной смазке. Обычно при граничном трении снижение износа и предотвращение задиров эффективно обеспечиваются противозадирными и противозадирными присадками, которые образуют на трущихся поверхностях прочные пленки из химически активных компонентов присадки и металла.

Пленки, образуемые модификаторами трения, состоят из упорядоченных плотно упакованных полимолекулярных множественных рядов «пружинок», легко сдвигающихся относительно друг друга. Наружные слои пленок характеризуются малым сопро-

тивлением сдвигу, что обеспечивает низкий коэффициент трения. Такой механизм действия модификаторов трения является, очевидно, основной отличительной особенностью по сравнению с антифрикционными присадками первого поколения.

Маслорастворимые присадки, содержащие в своем составе серу, фосфор, молибден и т. д. и образующие соединения с металлом на поверхности трения, работают по обычному механизму противоизносных присадок, и несмотря на то, что некоторые из них обеспечивают эффективное антифрикционное действие, называться исключительно модификаторами трения не могут.

В настоящее время в качестве модификаторов трения используются различные химические соединения, в том числе карбоновые кислоты с длинными цепями или их производные, включая соли; производные фосфорной и фосфоновой кислот с длинными цепями; замещенные нитрилы; комплексы, содержащие молибден, и другие соединения с гетероатомами или полярными группами, обеспечивающими хорошую адсорбцию молекул на поверхности металла. По элементному составу предлагается использовать фосфор-, серо-, бор- и металлсодержащие соединения.

Некоторые химические соединения, используемые в качестве антифрикционных присадок, способны одновременно снижать износ трущихся поверхностей. Состав поверхностного модифицированного слоя зависит не только от состава соединения, но и от его химического строения. В настоящее время среди применяемых сортов масел много таких, в которых содержится около 1% золы в расчете на серноокислый остаток. Однако даже такие масла не предупреждают износ.

Изготовление общего для всех автомобилей или тракторов масла, предупреждающего износ седла выхлопного клапана, является сложной задачей. Эффективное применение в составе горючего добавок соединений фосфора пока маловероятно, так как их использование связано с теми же проблемами, что и применение свинца. Дальнейшие исследования должны быть направлены на получение беззольного моторного масла.

Высокая температура моторного масла в условиях жаркого климата вызывает его омыление. Поскольку это связано с окислением масла, увеличением добавок антиоксиданта окисления можно избежать.

Большое внимание уделяется разработкам масел с широким диапазоном применения. Основные характеристики многосортных многоцелевых масел следующие: 1) применение в широком диапазоне температур; 2) небольшой расход; 3) незначительный износ.

Даже при повышенных температурах добавки усиливают пленку масла и препятствуют ее разрушению, что приводит к уменьшению износа.

В условиях гидродинамической смазки, когда масляная пленка способна полностью выдерживать нагрузку, трение зависит от вязкости смазочного масла. Поэтому уменьшение вязкости в условиях гидродинамической смазки является очень эффективным способом уменьшения трения и вносит непосредственный вклад в экономию энергии. Если толщина масляной пленки приближается к размерам неровностей на поверхности трения, в зоне смешанной смазки начинается непосредственное соприкосновение выступающих участков трущихся поверхностей, сопровождаемое резким увеличением коэффициента трения. В этом случае для смягчения ударов выступающих участков с помощью защитной пленки увеличивают скольжение выступающих участков, участки впадин заполняют твердым смазочным материалом. Увеличением скольжения поверхности снижают коэффициент трения.

В настоящее время распространено три типа модификаторов трения: увеличивающие маслянистость, твердый смазочный материал (двусернистый молибден, графит и др.), растворимые в масле органические соединения молибдена. Механизм их действия различный. Так, первый тип модификаторов создает защитную пленку, химически или физически адсорбируемую трущимися поверхностями. Третий тип образует в зависимости от трения продукты разложения, заполняющие участки впадин и превращающиеся в защитную пленку.

Эффект модификатора трения проявляется после разложения или адгезии, поэтому он в большой степени зависит от температуры, а также от неровностей трущихся поверхностей, но не проявляется до завершения в определенной степени первоначальной обкатки (для автомобилей около 4000 км). Кроме того, необходимо учитывать и остаточный эффект, выражающийся в том, что влияние модификатора трения сохраняется даже при замене масла с его добавлением в масло, не содержащее модификаторы.

Поскольку с уменьшением вязкости увеличивается доля, приходящаяся на смазку на границе раздела, применение модификаторов трения параллельно с уменьшением вязкости повышает экономический эффект, и наоборот, в условиях гидродинамической смазки эффект модификаторов трения не проявляется.

Сочетание модификаторов трения и снижение вязкости в отношении наиболее разработанных к настоящему времени машинных масел позволяет рассчитывать на уменьшение расхода горючего на 3—5%.

МОТОРНЫЕ МАСЛА, ИХ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Масла по вязкости разделены на летние, зимние и всесезонные загущенные. Летние и зимние моторные масла включают семь классов по уровню вязкости 6, 8, 10, 12, 14, 16 и 20 сСт при 100°C, всесезонные загущенные масла — четыре класса 4_з/6, 4_з/8, 4_з/10 и 6_з/10 (первая цифра означает допустимый интервал вязкости масла при минус 18°C, для 4_з он равен 1300—2600 сСт, а для 6_з — 2600—10400 сСт) (табл. 8).

По условиям работы масла делятся на 6 групп (А, Б, В, Г, Д, Е) и предназначены для нефорсированных двигателей (А), малофорсированных двигателей (Б), двигателей средней форсировки (В), высокофорсированных двигателей (Г), высокофорсированных двигателей, работающих в тяжелых условиях (Д), для дизельных малооборотных двигателей с малым расходом масла, работающим на топливе с содержанием серы до 3,5% (Е). Каждая из групп Б, В и Г разбита на две группы — для карбюраторных и для дизельных двигателей. Подгруппы маркируются цифровым индексом при буквенном обозначении группы, например, Г₁ обозначается масло Г для автомобильных двигателей и Г₂ — для дизельных двигателей [11, 12].

Масла для двигателей тракторов и автомобилей, работающих в сельском хозяйстве, по степени форсировки и требованиям, предъявляемым к ним, делятся на группы А, Б, В и Г.

Основное отличие моторных масел различных групп состоит в содержании присадок, сообщающих им соответствующие эксплуатационные свойства. К группе А относятся масла без присадок или с их небольшим содержанием. Масла группы Б содержат до 3—4% присадок, группы В — 4—7%, группы Г — 7—12%.

Моторные масла группы Б₂, применяющиеся на малофорсированных двигателях, не смогли обеспечить нормальную работу современных форсированных двигателей типа СМД-14, Д-50, А-01 и др., что потребовало создания новых сортов масел группы В₂ с высокоэффективными компонентами присадок.

Преимуществом новых масел группы В₂ перед группой Б₂ является меньшая склонность к отложению нагара на деталях поршневой группы и больший срок службы в двигателе. При работе двигателей типа СМД-14 на масле группы В₂ со сменой

Классификация моторных масел

| Класс вязкости | Предельные вязкости, сСт (мм ² /с) | | Индекс вязкости | Группы масел по эксплуатационным качествам | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------|-----------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|
| | при 100°С | при 18°С | | А | Б ₁ | Б ₂ | В ₁ | В ₂ | Г ₁ | Г ₂ | Д | Е |
| 6 | 6±0,5 | — | Не менее 90 | — | М-6Б ₁ | — | М-6В ₁ | — | М-6Г ₁ | М-6Г ₂ | | |
| 8 | 8±0,5 | — | То же | М-8А | М-8Б ₁ | М-8Б ₂ | М-8В ₁ | М-8В ₂ | М-8Г ₁ | М-8Г ₂ | М-8Д | |
| 10 | 10±1 | — | " | М-10А | М-10Б ₁ | М-10Б ₂ | М-10В ₁ | М-10В ₂ | М-10Г ₁ | М-10Г ₂ | М-10Д | |
| 12 | 12±0,5 | — | " | — | — | М-12Б ₂ | — | М-12В ₂ | | М-12Г ₂ | М-12Д | М-12Е |
| 14 | 14±1 | — | " | — | — | М-14Б ₂ | — | М-14В ₂ | | М-14Г ₂ | М-14Д | М-14Е |
| 16 | 16±1 | — | " | — | — | М-16Б ₂ | — | М-16В ₂ | | М-16Г ₂ | М-16Д | М-16Е |
| 20 | 20±2 | — | " | — | — | М-20Б ₂ | — | М-20В ₂ | | М-20Г ₂ | М-20Д | М-20Е |
| 4 ₃ /6 | 6±0,5 | 1300—2600 | Не менее 125 | — | М-4 ₃ /6Б ₁ | — | М-4 ₃ /6В ₁ | — | | | | |
| 4 ₃ /8 | 8±0,5 | 1200—2600 | " | — | М-4 ₃ /8Б ₁ | М-4 ₃ /8Б ₂ | М-4 ₃ /8В ₁ | М-4 ₃ /8В ₂ | | | | |
| 4 ₃ /10 | 10±0,5 | 1300—2600 | " | — | М-4 ₃ /10Б ₁ | М-4 ₃ /10Б ₂ | М-4 ₃ /10В ₁ | М-4 ₃ /10В ₂ | | | | |
| 6 ₃ /10 | 10±0,5 | 2600—10400 | " | — | — | — | М-6 ₃ /10В ₁ | М-6 ₃ /10В ₂ | М-6 ₃ /10Г ₁ | М-6 ₃ /10Г ₂ | | |

Примечание. Масла группы А применяют в нефорсированных карбюраторах и дизельных двигателях; масла группы Б₁— в малофорсированных карбюраторных двигателях ГАЗ-51, ЗИЛ-14, М-20; масла группы Б₂— в малофорсированных дизельных двигателях ЯАЗ-204М, ЯАЗ-206М, масла группы В₁— в среднефорсированных карбюраторных двигателях ГАЗ-53, ЗИЛ-130, ЯАЗ-21; масла группы В₂— в среднефорсированных дизельных двигателях ЯМЗ-233; масла группы Г₁— в высокофорсированных карбюраторных двигателях ГАЗ-24, ВАЗ-2101 412Э; масла группы Г₂— в высокофорсированных дизельных двигателях ЯМЗ-740, ЯМЗ-238НБ; масла группы Д— в высокофорсированных дизельных двигателях, работающих в тяжелых условиях, масла группы Е— в дизельных малооборотных двигателях с лубрикаторной системой смазки, работающих на тяжелом топливе с содержанием серы до 3,5%.

его через 240 ч загрязненность поршней двигателя, оцениваемая по ГОСТ 11637-65, за 2000 ч работы находится в пределах 25—30 баллов и наблюдается закоксовывание поршневых колец. При тех же условиях работы двигателя на маслах группы В₂ загрязненность не превышает 15 баллов, а поршневые кольца свободно перемещаются в канавках поршня.

Двигатели с турбонаддувом ЯМЗ-238НБ, Д-130, СМД-17к и др. потребовали создания новых масел, способных обеспечить срок его службы в двигателе не менее 240 ч, так как масла групп В₂ и В₂ не удовлетворяют этому требованию. Проведенные исследования показали, что загрязненность поршней двигателя ЯМЗ-238НБ при использовании масла группы В₂ составляет более 60 баллов, группы В₂ — 33 и группы Г₂ — 19—22 балла.

Особенностью масел с присадками, определяющей срок их службы, является снижение эффективности действия присадок в процессе работы двигателя (обрабатывание). Наиболее интенсивно присадки срабатываются в течение первых 60—80 ч работы после замены, затем наступает процесс стабилизации.

Для обеспечения нормальной длительной работы двигателя средней форсировки необходимо, чтобы щелочность масла в конце срока службы была не менее 0,5—0,8 мг КОН на 1 г масла. Для выполнения этого условия начальная щелочность масла должна быть не менее 3 мг КОН на 1 г масла. Такому требованию отвечают масла группы В₂. В маслах же группы В₂ при работе их в теплонапряженных двигателях присадка срабатывается уже к 100—120 ч.

В высокофорсированных двигателях типа ЯМЗ-238НБ (с турбонаддувом) уровень щелочности должен быть в конце срока службы 1,5—2 мг КОН на 1 г масла, что обеспечивается применением масла группы Г₂, имеющего начальную щелочность 6—7 мг КОН на 1 г масла.

Внедрение высокощелочных масел с эффективными комплексными присадками создавало предпосылки для повышения срока службы масел в двигателях. Использование масла более высокой группы по определенной степени повышает надежность и долговечность двигателей, позволяет увеличить срок службы. Однако это не означает, что применение высококачественного масла целесообразно во всех случаях.

Как показали исследования, работа с маслами группы Г₂ на тракторных двигателях средней форсировки (СМД-14) не дает ощутимого эффекта по сравнению с маслом группы В₂. То же можно сказать и по автомобильным сортам масел. Это объясняется тем, что присадки к маслам подбираются из конкретных условий работы в двигателе. Например, увеличение содержания противонагарных присадок для высокофорсированных двигателей, как правило, снижает нагароотложение, но повышает износ,

Основные свойства масел моторных

| Показатели | | | | |
|--|---|---|---|---|
| Вязкость кинематическая, м ² /с (сСт) | | | | |
| при 100°С не более | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ |
| при 0°С, не более | $(8 \pm 0,5)$ $1200 \cdot 10^{-6}$ (1200) | $(8 \pm 0,5)$ $1200 \cdot 10^{-6}$ (1200) | $(8 \pm 0,5)$ $1200 \cdot 10^{-6}$ (1200) | $(8 \pm 0,5)$ $1200 \cdot 10^{-6}$ (1200) |
| Индекс вязкости, не менее | 90 | 90 | 95 | 90 |
| Массовая доля механических примесей, %, не более | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| Массовая доля воды | | Следы | | |
| Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Температура застывания, °С, не выше | -25 | -25 | -30 | -25 |
| Коррозионность на пластинках из свинца марок С1 или С2 по ГОСТ 3778-74 г/м ² , не более | 10 | 20 | Отсутствует | 8 |
| Мощные свойства по ПЗВ, баллы, не более | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 1,5 |
| Термоокислительная стабильность при 250°С, мин, не менее | 50 | 60 | — | — |
| Щелочное число, мг КОН на 1 г масла, не менее | 3,5 | 6,0 | 6,0 | 1,2 |
| кальций | 0,08 | 0,15 | 0,19 | — |
| барий | 0,18 | 0,45 | — | 0,27 |
| цинк | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,02 |
| фосфор | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,026 |
| Плотность при 20°С, г/см ³ , не более | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |

зимних для автотракторных двигателей.

| Дизельные двигатели ГОСТ 8581-78 | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| М-8В | М-8Г ₁ | М-8Г ₂ | М-8А |
| $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ |
| $(8 \pm 0,5)$ | $(8 \pm 0,5)$ | $(8 \pm 0,5)$ | $(8 \pm 0,5)$ |
| $1200 \cdot 10^{-6}$ | $1200 \cdot 10^{-6}$ | $1200 \cdot 10^{-6}$ | $1200 \cdot 10^{-6}$ |
| (1200) | (1200) | (1200) | (1200) |
| 90 | 90 | 95 | 90 |
| 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| | Следы | | |
| 200 | 200 | 200 | 200 |
| -25 | -25 | -30 | -25 |
| 10 | 20 | Отсутствует | 8 |
| 1,0 | 1,0 | 0,5 | 1,5 |
| 50 | 60 | — | — |
| 3,5 | 6,0 | 6,0 | 1,2 |
| 0,08 | 0,15 | 0,19 | — |
| 0,18 | 0,45 | — | 0,27 |
| 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,02 |
| 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,026 |
| 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |

Продолжение таблицы 9

| Показатели | | | | |
|--|---|---|-----------------------------|---|
| Вязкость кинематическая, м ² /с (сСт) | | | | |
| при 100°С, не более | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(10 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ |
| при 0°С, не более | $(8 \pm 0,5)$ $1200 \cdot 10^{-6}$ (1200) | $(8 \pm 0,5)$ $1200 \cdot 10^{-6}$ (1200) | $(8 \pm 0,5)$ | $(10 \pm 0,5)$ $1000 \cdot 10^{-6}$ (1000) при -18°С (10400) |
| Индекс вязкости, не менее | 90 | 90 | 100 | 125 |
| Массовая доля механических примесей, % не более | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| Массовая доля воды, не более | | Следы | | |
| Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже | 200 | 200 | 210 | 210 |
| Температура застывания, °С, не выше | -25 | -25 | -30 | -32 |
| Коррозионность на пластинках из свинца марок С1 или С2 по ГОСТ 3778-74 г/м ² , не более | 10 | 10 | Отсутствие | Отсутствие |
| Мощные свойства по ПЗВ, баллы, не более | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Термоокислительная стабильность при 250°С, мин, не менее | | | 50 | 40 |
| Щелочное число, мг КОН на 1 г масла, не менее | | | | |
| Кальций | 0,06 | 0,16 | 0,23 | 0,30 |
| барий | 0,27 | | | |
| цинк | 0,05 | 0,09 | 0,10 | 0,10 |
| фосфор | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,10 |
| Плотность при 20°С, г/см ³ , не более | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |

Карбюраторные двигатели ГОСТ 10541-78

| М-8Б ₁ | М-8В ₁ | М-8Г ₁ | М-6 ₁ /10Г ₁ |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(8 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ | $(10 \pm 0,5) \cdot 10^{-6}$ |
| $(8 \pm 0,5)$ | $(8 \pm 0,5)$ | $(8 \pm 0,5)$ | $(10 \pm 0,5)$ |
| $1200 \cdot 10^{-6}$ | $1200 \cdot 10^{-6}$ | | $1000 \cdot 10^{-6}$ |
| (1200) | (1200) | | (1000) при -18°С (10400) |
| 90 | 90 | 100 | 125 |
| 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| | Следы | | |
| 200 | 200 | 210 | 210 |
| -25 | -25 | -30 | -32 |
| 10 | 10 | Отсутствие | Отсутствие |
| 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | | 50 | 40 |
| | | | |
| 0,06 | 0,16 | 0,23 | 0,30 |
| 0,27 | | | |
| 0,05 | 0,09 | 0,10 | 0,10 |
| 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,10 |
| 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |

и применение их в менее форсированном двигателе целесообразно.

Необходимо отметить недостаточную стабильность выпускаемых масел. При наличии воды присадка выпадает из масла в течение 20—30 суток, и оно становится равным по качеству маслу без присадки.

Тенденция к увеличению срока замены масла обусловлена необходимостью регенерации отработанного масла. Для достижения этой цели необходимо увеличение дисперсности и повышение моющей способности масла. Постепенно внедряются масла с добавками синтетического смазочного масла. Однако при небольшом количестве добавок синтетических масел к минеральному маслу больших результатов ожидать нельзя. Кроме того, в настоящее время применяемые синтетические масла мало соответствуют необходимым требованиям. Безусловно, потребуется совершенствование абсолютных показателей моторных масел.

Характеристика и основные свойства применяемых в настоящее время моторных масел приведены в табл. 9.

Транспортировка масла с баз нефтеснаба в хозяйство должна предотвращать возможность его обводнения. Недопустимо также смешение различных сортов дизельных масел, так как масла разных групп после смешения могут быть использованы как масла более низкого качества.

Особое внимание следует обратить на недопустимость смешения масел одной группы, но предназначенных для карбюраторных и дизельных двигателей, так как масла для карбюраторных двигателей содержат в большинстве своем меньшее количество присадок, кроме того, в ряде масел присадки отличаются по природе и составу.

Параметры, влияющие на сроки замены моторного масла: 1) конструктивный расчет карбюраторного двигателя; 2) удельный расход циркулирующего масла в двигателе; 3) нагрузка по маслу (температуре); 4) расход масла и его дополнительные доливки; 5) масляный фильтр — работа/уход; 6) воздушный фильтр; 7) рабочие условия: городской транспорт, стройка, перевозка на большие расстояния; 8) ужесточающие свойства горючего топлива (содержание серы); 9) разбавление горючим топливом.

Действие факторов, связанных с эксплуатационными свойствами моторных масел, общеизвестно. Улучшенные эксплуатационные свойства масел могут компенсировать отрицательное влияние многих режимных факторов и даже повысить общие эксплуатационные показатели автотракторных двигателей. Такими качествами отличаются различные группы масел согласно принятой классификации (ГОСТ 17479—72), например, группа Г₂ выгодно отличается от группы В₂ и т. д. Кроме того, возможно освоение марок с улучшенными эксплуатационными, в том числе проти-

возносными свойствами, за счет применения более эффективных присадок, улучшенной очистки и т. д. Примером являются масла, специально освоенные для дизелей автомобиля КАМАЗ М-8Г₂К и М-10Г₂К (ГОСТ 8581-78). Большое влияние на работу смазки может оказать выбор масла по величине рабочей вязкости, а также вязкостно-температурная зависимость применяемого масла, что особенно важно в условиях сухого жаркого климата [7, 8, 10].

Главным фактором, определяющим применение масла для каждого класса двигателей, является тип топлива, на котором работают дизели. Например, для высокооборотных дизелей, работающих на топливе, содержащем более 0,5% серы, необходимо масло более высокого качества. Класс среднеоборотных дизелей включает в себя двух- и четырехтактные двигатели. Масла для этого класса дизелей должны обладать достаточной термоокислительной стабильностью и высокой диспергирующей способностью, чтобы не вызывать закоксовывания колец и отложений на поршне, защищать от коррозии подшипники, предотвращать задиры в двигателе, обладать повышенным сроком службы, быть влагостойкими и т. д. Более мощные дизели с турбонаддувом требуют масел, содержащих зольные детергенты и беззольные дисперсанты. Эти масла имели щелочное число в пределах 5—7 мг КОН на 1 г и уровень сульфатной золы 0,5—0,8 мас.%. Наряду с ними широко применяются и более совершенные масла с характеристиками: индексом вязкости 75, щелочным числом 10 мг КОН на 1 г, уровнем сульфатной золы 1,1%. Результаты испытаний таких масел указали на их преимущества в отношении снижения износа двигателя и уменьшения образования отложений на его деталях.

В настоящее время в разработке масел для дизелей прослеживаются три направления: создание всесезонных, универсальных и долгорботающих масел.

Увеличение межсменного периода работы масла в двигателе достигается в основном повышением исходных качественных характеристик и оптимизацией способов его применения. Первый путь является более сложным и дорогостоящим, поскольку связан с созданием новых технологических процессов, да и повышение качества исходного сырья имеет реальные пределы. В то же время наблюдается тенденция к унификации смазочных материалов. Второй путь представляется более рациональным, так как повышает эффективность применения существующих сортов смазочных масел, обладающих достаточно высокими эксплуатационными свойствами.

В настоящее время рекомендуется несколько методов использования моторных масел:

1) масло меняется через стабильные сроки в течение всего

периода работы двигателя. Метод рекомендуется всеми отечественными заводами и большинством зарубежных фирм;

2) масло меняется по фактическому состоянию, которое определяется путем проб и систематических анализов;

3) масло не меняется в течение всего межремонтного цикла работы двигателя;

4) масло не меняется, но в него периодически вводятся присадки по мере их срабатывания.

В промышленности наиболее распространен первый метод, однако он и менее экономичен, поскольку не учитывает изменяющихся условий эксплуатации ДВС.

Второй метод ввиду отсутствия достаточно оперативных и точных методов контроля качественного состояния масла требует больших затрат времени и широкой сети химических лабораторий, что значительно затрудняет его применение.

Третий метод предполагает доливку свежего масла взамен сгоревшего, в результате чего стабилизируются текущие параметры масла на определенном уровне. Этот метод оспаривается авторами, которые считают, что когда начинается окисление масел, оно развивается как цепная реакция, и ухудшение качества масла резко возрастает. Авторы заключают, что дозаправка нового масла в отработанное не дает никакого срока продления. Следует как можно лучше убрать остатки отработанного масла, промыть систему и залить новое масло.

Для машин, эксплуатируемых в тяжелых условиях, перспективен четвертый метод. В особенности это касается масел с присадками, процесс срабатывания которых подчиняется закономерностям реакций первого порядка, поскольку есть возможность прогнозирования скорости их срабатывания. Однако незначительное использование этого метода связано с отсутствием простых и практических устройств для его реализации. Предлагаются и другие способы повышения эффективности применения моторных масел.

Авторы работ [7, 9, 17] предлагают восстанавливать свойства масла за счет доливки взамен израсходованного — масла с повышенным содержанием присадок. Хотя данный способ увеличивает ресурс присадок, авторы считают, что эффективность применения таких масел не повышается, а в отдельных случаях имеет место ухудшение свойств масла. С другой стороны, применение этого метода связано с технологическими трудностями. Следует учитывать, что при эксплуатации увеличивается и количество металла в моторном масле.

Свойства моторных масел: уменьшение трения, противоизносные свойства; прочность на разрыв масляной пленки; термическая стабильность; устойчивость против окисления; высокотемпературная вязкость; изменение вязкости в зависимости от тем-

пературы; вязкость при низкой температуре; сопротивление сдвигу, определенные температуры реакций; детергентное действие; диспергирующая способность; уменьшение высокотемпературного осадка; устранение высокотемпературного осадка; устранение калильного закипания; образование осадка; способность нейтрализации; защита от коррозии; совместимость с металлами; совместимость с уплотнительными материалами; предотвращение пенообразования; деарирующая способность; охлаждение (отвод тепла); уплотняющая способность; расход масла, независимый

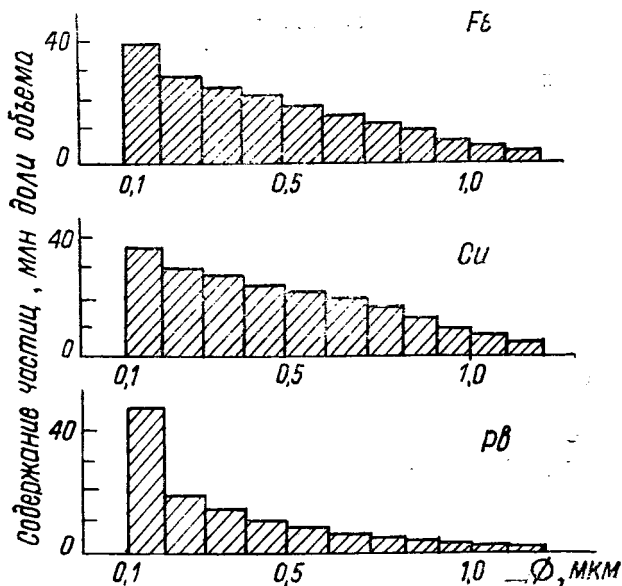


Рис. 5. Диаметр металлических частиц износа

от качества масла; смешиваемость; стабильность при хранении.

Важнейшие свойства, на которые обращается внимание при установлении сроков замены масла, это предотвращение или устранение износа, а также предотвращение и уменьшение осадений.

Зависимость между временем работы двигателя (или пробега машины) и скоростью образования металла в масле может быть представлена в виде формулы

$$\tau_m = \gamma \left[(m_2 - m_1) + \frac{Q}{L} (m_2 + m_1) \right] \frac{L}{T}, \text{ мГ/км,}$$

где v_m — скорость образования частичек металла в масле, мг/км;
 γ — удельный вес масла;
 m_1 — содержание металла при последнем измерении, млн⁻¹;
 m_2 — содержание металла при данном измерении, млн⁻¹;
 L — емкость масляного поддона картера, л;
 Q — общее количество доливок масла между двумя анализами, л;
 T — величина пробега между двумя пробегами (между двумя соседними анализами замена масла не должна проводиться), км.

Диаметр частичек очень маленький (менее 1 мкм) и определяется видами трущихся металлов. Частички могут быть в масле в растворенном состоянии. Содержание в масле частичек от износа трущихся металлических поверхностей показано на рис. 5.

Объем содержащихся в масле частиц износа увеличивается в зависимости от степени износа механизма. Измерение содержания частиц в масле позволяет по величине этого содержания судить о степени износа механизма и об отсутствии или наличии ненормального образования частиц.

Для контроля моторных масел широко применяется спектральный анализ. Пробы масла из смазочных систем отбирают через 50—100 мото-ч работы двигателя. Контролируемые параметры не должны превышать предельно допустимых значений, г/т.

| Марка двигателя | Железо | Кремний | Алюминий | Медь | Хром |
|---|--------|---------|----------|------|------|
| ЯМЗ-240Б, ЯМЗ-238НБ | 150 | 70 | 60 | 40 | 10 |
| СМД-62, Д-130, Д-108 А-01, А-01М, А-41 | 130 | 70 | 40 | 30 | 10 |
| Д-240, СМД-14, Д-65Н, Д-54, Д-50, Д-48М, Д-37М, Д-37Е | 110 | 70 | 30 | 10 | 10 |

Примечание: Допустимое содержание воды в масле 0,1%, предельное—0,5%. Температура вспышки масла номинальная—200°С, а при наличии в нем топлива—не ниже 175°С.

Серьезной проблемой, возникающей при смазке деталей тракторов и автомобилей, является передача смазочного материала из резервуара в рабочую зону. Эта проблема в значительной степени решается при использовании нового класса смазочных материалов микропористых полимерных смазок (МПС), которые существенно упрощают конструкцию узлов трения и обеспечивают высокую надежность и эффективность смазки. Следует заметить, что МПС не обеспечивают полной замены жидких и пластичных смазок во всех случаях.

МПС содержит полимерную губку с мельчайшими взаимнопересекающимися каналами, которые заполнены смазочным мас-

лом. Для изготовления губки используется технология, которая не требует пропитки маслом материала перед его применением: размеры пор обеспечивают удержание смазки в нормальных условиях хранения. Внешне материал выглядит как обычный кусок пластика, поверхность которого покрыта тонким слоем смазки. Для изготовления МПС обычно используются термопластичные материалы: полиэтилен, полипропилен и полиметил метакрилат, а также терморезактивные материалы типа эпоксидной или полиуретановой смолы. В качестве смазочных масел применяются практически любые масла, используемые в тракторах и автомобилях в настоящее время.

Особые смазочные свойства МПС определяются их способностью сохранять смазку и подавать ее в рабочую зону с управляемым расходом. Примерно 80% по весу МПС составляет смазочное масло, удерживаемое в полимерной губке за счет сил поверхностного натяжения и выделяемое из нее под воздействием трех внешних факторов: давления, нагрева, капиллярного действия. Под воздействием нагрузки масло выделяется из губки. Через небольшое время после снятия нагрузки масло вновь поглощается МПС. При движении за счет капиллярного действия на рабочей поверхности остается тонкая смазочная пленка. При нагреве МПС масло расширяется больше, чем полимерный материал, создавая повышенное давление внутри МПС. За счет этого давления масло выходит на рабочую поверхность, а после охлаждения поглощается полимером.

В качестве преимуществ, получаемых при использовании МПС, отмечается существенное упрощение обслуживания (замена масла, добавление смазки и др.), а также экономия смазочных материалов. Регулирование количества подаваемой смазки за счет нагрева МПС может обеспечиваться подбором соответствующих материалов.

Характеристики МПС определяются соотношениями между внутренним давлением в материале, эффектом поверхностного натяжения и вязкостными характеристиками смазки.

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ

Гидравлическая жидкость должна удовлетворять максимальным проектным мощностям гидросистем: иметь высокие давление, скорость, температуру и огнестойкость. К достоинствам сельскохозяйственного гидропривода следует отнести большую мощность при малых габаритах. Вероятным решением вопроса является уменьшение количества жидкости при увеличении давления. Вследствие уменьшения габаритов гидросистем возникает недостаток в теплоотдающих поверхностях.

Повышение температуры рабочей жидкости связано с трудностями. Высокая температура снижает качество жидкости, так как образуются смолистые вещества и выпадает осадок, забивающий поры фильтров, кроме того, ухудшается смазывающая способность жидкости из-за уменьшения вязкости (табл. 10). С увеличением скорости и давления происходит разложение смазывающего агента и разрушение пленки. Это является причиной засорения гидросистемы. К явлениям, ухудшающим работу гидросистемы, следует также отнести неравномерность теплового расширения и нагрева трущихся частей, а также кавитацию вследствие повышения давления паров жидкости и уменьшения разрежения во всасывающей магистрали насоса.

Скорость окисления рабочей жидкости постоянна до 60—70°C, но с повышением температуры на каждые 10°C она возрастает примерно в 2 раза, поэтому для удлинения срока службы жидкости и гидросистемы в целом температуру следует поддерживать в пределах не выше 70°C.

За счет того, что в условиях жаркого климата температура тракторных гидросистем составляет порядка 90—100°C, возникают отказы и аварии, 75% отказов и аварий можно отнести за счет неправильного подбора и использования рабочих жидкостей.

В гидроприводах эффективно используется около 50% потребляемой энергии: основные составляющие потерь энергии — потери давления и потери на трение.

Следовательно, основные направления разработок по экономии энергии в гидравлических приводах состоят в уменьшении коэффициента потерь в насосах и двигателях, сопротивления протеканию рабочей жидкости, потерь давления в регулирующих клапанах, силы трения ведущих элементов. Поскольку гидрав-

лическая рабочая жидкость в гидроприводах работает как среда, передающая энергию, и как смазочное средство, мероприятия по экономии энергии с помощью рабочих жидкостей следует рассматривать в двух аспектах: повышение эффективности передачи энергии и уменьшение потерь на трение.

Проблема экономии энергии и ресурсов в гидросистемах заключается в повышении эффективности гидравлических уст-

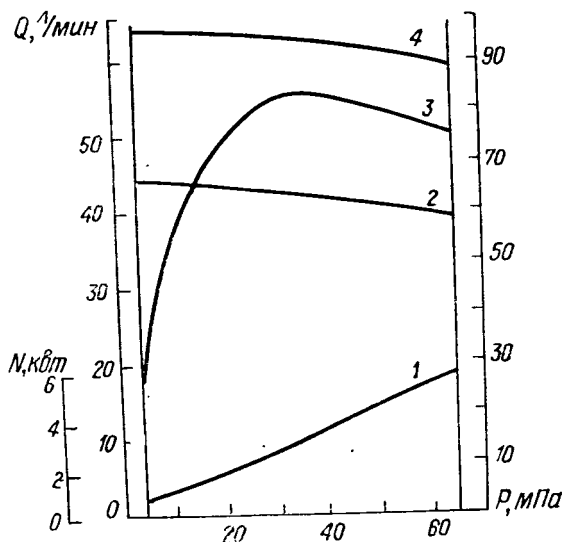


Рис. 6. Пример характеристик насоса с постоянным выпуском (золотниковый насос)

1 — энергия, получаемая маслом; 2 — расход масла на выходе; 3 — полный к. п. д.; 4 — объемный к. п. д.

ройств и систем; правильном применении рабочих жидкостей; повышении надежности за счет надлежащего технического обслуживания и контроля.

При повышении давления расход на выходе уменьшается и падает объемный к. п. д. (рис. 6). Сравнение экономии расхода энергии в гидравлических насосах различных типов (шестеренных, золотниковых, поршневых) можно выполнить путем сопоставления их к. п. д., определяемых по выражениям

$$\text{Объемный к. п. д. } (\eta_{об}) = \frac{\text{Реальный расход на выходе}}{\text{Теоретическая величина расхода}} \times 100\%,$$

Механический к. п. д. (η_m) = $\frac{\text{Мощность, переданная рабочей жидкостью}}{\text{Входная мощность на валу}} \times 100\%$;

Полный к. п. д. (η) = Объемный к. п. д. (η_{05}) \times механический к. п. д. (η_m).

Показателем расхода рабочей жидкости может служить индекс гидравлической жидкости:

Индекс гидравлической жидкости = $\frac{\text{Количество рабочей жидкости, поданной в систему за год}}{\text{Количество рабочей жидкости, залитой в систему}}$

Все потери энергии преобразуются в тепло, в результате происходит излучение тепла от различных элементов гидравлической системы и повышение температуры гидравлической рабочей жидкости.

Для снижения общих потерь энергии гидравлических систем следует уменьшать трение в гидронасосах, цилиндрах и двигателях. Кроме того, необходима гидравлическая жидкость, снижающая трение в гидронасосах даже при граничной смазке.

Рабочие жидкости АМГ-10 и АМГ-10Б представляют собой смесь деароматизированной фракции нефти, загущающей, антиокислительной присадок и красителя.

Информационно-справочные данные по свойствам жидкостей АМГ-10 и АМГ-10Б: вязкость кинематическая при температуре -40°C — 400—500 мм²/с, при 20°C — 20—23, при 50°C — 10,0—11,3, при 100°C — 4,4—4,6, при 125°C — 3,33—3,48, при 150°C — 2,53—2,80. Температура самовоспламенения 285 — 310°C . Поверхностное натяжение при 20°C — 28,90 мН/м; содержание растворенного воздуха при нормальном условии 10—11% об; диэлектрическая проницаемость при частоте 100 Гц — 2,05; удельное объемное электрическое сопротивление $6,8 \cdot 10^{12}$; коэффициент объемного расширения $\beta \cdot 10^5$ при $p=0,1$ МПа и 60 — 120°C — 92,4 1/град.

Температурный интервал использования рабочей жидкости АМГ-10 от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$ в контакте с воздухом или азотом (ГОСТ 9293-74) с непродолжительными перегревами до 150°C в контакте только с азотом при номинальном давлении в системе до 28 МПа (280 кгс/см²). Температурный интервал использования АМГ-10Б от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$. Рабочие жидкости АМГ-10 и АМГ-10Б вызывают коррозию свинца с потерей ее массы значительно больше допустимых норм.

В качестве уплотнителей материалов при работе с жидкостями АМГ-10 и АМГ-10Б при температуре 100°C с перегревами до 120°C могут быть использованы резины на основе бутадиеннитрильных каучуков марок В-14-1, ИРП-1078, ИРП-1353, а при

температуре 150°C — на основе фтороорганических каучуков типа ИРП-1287, ИРП-1316.

Неметаллические материалы, применяемые в конструкции гидроагрегатов и гидросистем, должны быть стойки к действию жидкостей АМГ-10 и АМГ-10Б. Запрещается заливать эти жидкости в гидроагрегаты и гидросистемы, ранее работавшие на другой жидкости, без предварительной переработки и промывки.

В процессе эксплуатации необходимо подвергать жидкость периодическому контролю по следующим показателям: кинематической вязкости при 50°C (по ГОСТ 33—82); кислотному числу (по ГОСТ 5985-79); содержанию воды (по ГОСТ 2477-65); температуре вспышки (по ГОСТ 4333-48); степени загрязнения механическими примесями.

Работа жидкости может быть продолжена при условии, если кинематическая вязкость при 50°C не ниже 7 мм²/с (7 сСт), кислотное число не более 0,15 мГ КОН на 1 кг жидкости, содержание воды не более 0,03%, температура вспышки не ниже 90°C, а загрязненность превышает требования, предъявляемые к чистоте жидкости в агрегате или системе.

Гарантийный срок хранения жидкостей АМГ-10 и АМГ-10Б 10 лет со дня изготовления. Они малотоксичны, по ГОСТ 12.1.007-76 относятся к 4-му классу опасности.

Существуют два способа уменьшения потерь от трения, связанных с машинным маслом, во-первых, уменьшение вязкости масла, во-вторых, добавление к маслу модификатора трения, возможно сочетание обоих способов.

Тенденция применения маловязких масел, хотя и привлекательна, но следует не забывать, что чрезмерное уменьшение вязкости сопровождается переходом из зоны жидкой смазки в зону смешанной и граничной смазки, что влечет за собой опасность возрастания трения, увеличения износа и пригорания. При достижении зоны тонкопленочной смазки в максимальной степени проявляется эффективность модификаторов трения, когда в связи с повышением температуры происходит уменьшение вязкости и толщины пленки масла [21, 23, 24].

РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

Агропромышленный комплекс является одним из наиболее крупных потребителей ГСМ. При эксплуатации значительно снижается качество смазочных масел, что объясняется главным образом загрязнением и попаданием в них воды. Ухудшение эксплуатационных свойств моторных, гидравлических и трансмиссионных масел при работе тракторов в хлопководстве обусловлено окислением и загрязнением абразивом в условиях повышенной запыленности воздуха при высоких температурах. Все это делает необходимой периодическую смену масла в узлах и агрегатах трактора.

В решении проблемы экономии моторного масла в двигателях тракторов определяющее значение имеет и снижение расхода на угар. Именно от этого теряется 75—80% масла, в то время как доля на периодическую замену составляет лишь 20—25%. В этом заключается большой резерв для сокращения расхода нефтепродуктов в сельском хозяйстве. Экономия может быть достигнута и за счет повышения рационального использования парка сельскохозяйственной техники. Однако одним из наиболее реальных источников сохранения материальных ресурсов остается восстановление качества отработанных нефтепродуктов (смазочных масел) и вторичное их использование в производстве.

Регенерация отработанных смазочных масел имеет важное значение в решении проблемы охраны окружающей среды, рационального использования и структуры потребления (баланса) нефтепродуктов.

В настоящее время основным видом сберегающих технологических приемов является создание стационарных промышленных регенерационных установок и переработка масел (или их смесей) на нефтеперерабатывающих предприятиях. Однако очистку можно произвести и на местах потребления с использованием простых в технологическом отношении процессов. В этом случае отпадает необходимость транспортировки отработанных масел к местам переработки и потребления, появляется возможность рациональной организации сбора и полной утилизации отработанных ГСМ, улучшается хранение и качество отработанных нефтепродуктов, подготовленных для регенерации, значительно расширяется об-

ласть применения восстановленных масел в соответствии с нуждами хозяйств.

Безусловно, эффективность технологии по восстановлению и вторичному использованию смазочных масел будет оправдана в том случае, если не вызовет значительных дополнительных затрат в создании и эксплуатации установок и не приведет к ухудшению показателей надежности узлов и агрегатов тракторов. Основной трудностью повторного использования восстановленных легированных (с присадками) моторных масел по прямому назначению в двигателях является необходимость добавления композиций присадок, что в большинстве случаев у потребителей на данном этапе труднодоступно. Однако даже при вторичном использовании восстановленных моторных масел в гидросистемах и трансмиссиях тракторов и самоходных машин можно получить солидную экономию топливно-смазочных материалов. Таким образом, другим направлением использования восстановленных масел следует считать применение их в менее нагруженных системах. При этом общая потребность в смазочных маслах уменьшается на 30—40%. Предварительные расчеты показывают совокупную экономическую эффективность от процессов восстановления — 0,5—2,0 руб. на 1 га посевной площади в год.

Регенерация отработанных масел в последнее время вызывает все больший интерес. Если отделить регенерацию отработанного масла, проводимую таким простым способом как фильтрация, с его последующим использованием, от регенерации специального дорогостоящего масла, проводимой наиболее простыми способами, то проблема повторной очистки смазочных масел в общем смысле не вызовет особого интереса. Это связано с тем, что большая часть нефти пока еще используется как топливо и только сравнительно небольшая ее часть подвергается очистке и используется в качестве смазочных масел.

Регенерация заключается в обработке масла обычно вне цикла его использования по возможности для глубокой очистки. Регенерация ограничивает износ и увеличивает надежность работы, позволяет легче решать проблемы хранения масла, так как заметно уменьшается его количество, циркулирующего в системе. Выход обработанной жидкости при фильтрации обычно изменяется в пределах 75—90%, поэтому из 1 т загрязненного масла можно получить 750—900 кг жидкости, которая может использоваться повторно.

Автотракторные масла, фильтруемые в прямом цикле с полным расходом, обычно требуют тонкости фильтрации 10—20 мкм, а при двухпроходной фильтрации отбираемого частичного потока — 5—10 мкм. Для масел систем гидравлического привода — насосов, распределителей, клапанов — предусматривается тонкость фильтрации 1—15 мкм.

Регенератор представляет собой экономически более полную систему, поскольку он позволяет удалить из масла все нерастворимые и растворимые примеси; дополняет стационарные установки, системы смазки которых требуют циркуляций большого количества масел.

В принципе установка регенерации отработанных масел представляет собой миниатюрный нефтеперерабатывающий завод, на котором масла нагревают последовательно в теплообменнике и в электрическом нагревателе, подвергаются тонкой фильтрации для удаления примесей и перегоняют в системе испаритель—конденсатор.

В зависимости от природы масла регенерация осуществляется при помощи аппаратов двух типов: один из них предназначен специально для моющих масел, причем эта регенерация не сопровождается удалением присадок. Такая аппаратура может быть осуществлена в сравнительно непромоздом виде на производительность примерно от 50 до 400 л/ч.

В процессе с применением кислоты и отбеливающих глин отработанное масло после сбора в течение некоторого времени отстаивается, отделяется от осадка (сливается) и обезвоживается. Затем масло обрабатывается концентрированной серной кислотой для удаления нежелательных элементов; образующийся осадок отстаивается и удаляется. Освобожденное от осадка масло обрабатывается отбеливающей глиной в условиях вакуума с целью обесцвечивания масла и адсорбции загрязняющих примесей. Суспензия отбеливающей глины в масле фильтруется для удаления частиц глины и других твердых частиц. В очищенное масло после отпарки легких фракций (иногда это не является необходимым) в конечной стадии вводится требуемое количество присадок и проводится необходимый контроль качества.

Процесс очистки может быть несколько видоизменен за счет применения экстракции пропаном. В этом случае обезвоженное отработанное масло с установки предварительной перегонки смешивается с жидким пропаном и направляется в экстрактор.

Пропан, содержащий растворенное масло, выходит в верхней части аппарата, а осадок отбирается в нижней части экстрактора. Пропан отделяется от масла посредством двухстадийного испарения и направляется на установку ожижения пропана для повторного использования. Затем масло подается на последующие установки отработки кислотой и отбеливающими глинами, и после фракционирования смешивается с необходимыми присадками и подвергается контролю качества.

В настоящее время для очистки отработанных масел выпускаются различные установки и агрегаты. Среди них особого внимания заслуживают стенды СОГ-904А для тонкой очистки топлива, масел и других гидравлических и промывочных жидко-

стей, а также малогабаритные передвижные центробежные установки УМЦ-901А (табл. 11). Они конструктивно просты, надежны и удобны в эксплуатации.

Техническая характеристика стэнда СОГ-904А: тонкость очистки по абразивному загрязнителю для жидкостей с вязкостью до 5 мм²/с — 1—1,5 мкм, до 15 мм²/с — 1,5—3 мкм. Расход жидкости в зависимости от вязкости из бака стэнда — 15—45 л/мин. Вместимость бака 80 л. Частота вращения ротора центрифуги

Таблица 11

Эффективность очистки загрязненного масла установкой УМЦ-901 А (данные ГОСНИТИ)

| Время отбора масла | Количество частиц загрязнений в 100 см ³ (шт.) в размерных диапазонах, мкм | | | | | Класс чистоты по ГОСТ 17216-71 |
|--------------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|
| | 5-10 | 10-25 | 25-50 | 50-100 | 100 | |
| До очистки | 5,0 · 10 ⁵ | 2,5 · 10 ⁵ | 2,5 · 10 ⁴ | 3,0 · 10 ³ | 10 ³ | 15 |
| После очистки | 500 | 250 | 25 | 4 | 1 | 5 |

7500 мин⁻¹. Тип очистителя ГНЦ-908А, мощность электродвигателя — 2,2 кВт, габаритные размеры стэнда — 955×710×1060 мм. Масса его — 205 кг.

Техническая характеристика установки УМЦ-901А: производительность до 35 л/мин, допускаемая вязкость жидкостей до 200 мм²/с, частота вращения ротора центрифуги до 7500 мин⁻¹, мощность электродвигателя — 2,2 кВт, напряжение — 380 В. Габаритные размеры установки — 750×5405×1010 мм, масса — 100 кг.

Таблица 12

Показатели загрязненного и очищенного масла М-10 Г₂ установкой СУРМ-1 (данные ГОСНИТИ)

| Наименование пробы масла | Содержание воды, % | Вязкость, сСт | Зола, % | Барий, % | Железо, % | Щелочное число, мг КОН на 1 кг | Кислотное число, мг КОН на 1 кг | Содержание механических примесей, % |
|----------------------------|--------------------|---------------|---------|----------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Исходная | 0,8 | 8,45 | 1,17 | 0,41 | 0,02 | 1,85 | 0,47 | 0,91 |
| После девяти часов очистки | 0,02 | 7,9 | 0,5 | 0,30 | 0,003 | 1,25 | 0,45 | 0,04 |

Для регенерации масла достаточно одному человеку подкатить установку к станку или агрегату, присоединить всасывающий шланг к оборудованию и включить ее. Через несколько минут в зависимости от объема картера или масляного бака агрегата отработанное масло будет перекачано очищенным в бак стэнда или другое место.

Весьма удобна регенерационная установка СУРМ-1, разработанная ГОСНИТИ. Она дает неплохие показатели очищенного масла (табл. 12). Чистота жидкости на выходе установки удовлетворяет высшему классу. Небольшая масса (100 кг), малая потребляемая мощность (2,2 кВт), незначительные габариты и высокая степень очистки установки, относительно большая грязеемкость по сравнению с фильтрами такой же степени очистки, простота управления способствовали широкому использованию установки для очистки масел в различных отраслях народного хозяйства.

Таблица 13

Основные показатели масла ДС-11 (ДС-8) при различной периодичности их замены

| Показатели | Исходные данные свежих масел | Периодичность замены, мото-ч | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | 960 | 1920 | 3090 |
| Вязкость при 50°С, сСт | 67,24 | 68,45 | 66,05 | 69,83 |
| Примеси, % | 0,028 | 0,050 | 0,060 | 0,071 |
| Кислотное число мг КОН/г | 0,07 | 0,08 | 0,14 | 0,12 |
| Содержание элементов, % | | | | |
| бария | $38,4 \cdot 10^{-2}$ | $36,0 \cdot 10^{-2}$ | $37,0 \cdot 10^{-2}$ | $36,9 \cdot 10^{-2}$ |
| железа | — | $3,4 \cdot 10^{-4}$ | $2,0 \cdot 10^{-4}$ | $2,4 \cdot 10^{-4}$ |
| кремния | — | $2,4 \cdot 10^{-2}$ | $2,0 \cdot 10^{-3}$ | $3,1 \cdot 10^{-2}$ |
| Коррозионность, г/м ² | | | | |
| Бр-5-5-5 | 0,34 | 0,62 | 0,68 | 0,67 |
| АЛ-9 | 0,10 | 0,15 | 0,12 | 0,11 |
| Сч-21 | 0,48 | 0,53 | 0,59 | 0,50 |

Средний уровень загрязненности масел составляет 0,06—0,7% и может достигать 0,15% при существующей системе фильтрации и периодичности замены масел. Предельная концентрация загрязнений для гидропривода рулевого управления соответствует 0,08%. Основной причиной, ограничивающей работу масел более установленного срока, является накопление в них загрязнений, что снижает безотказность и ресурс трактора.

Периодичность замены масел устанавливают заводы-изготовители тракторов. Масла в гидроприводах и трансмиссиях рекомендуется менять через 960, 1920, мото-ч — один раз в год при использовании всесезонных или два раза в год при использовании сезонных масел (табл. 13).

Продолжительность работы масел в гидроприводах и трансмиссиях недостаточно четко обоснована, поскольку в инструкциях по эксплуатации тракторов не приведены предельные показатели

качества масел, которые бы ограничивали его срок службы. В то же время тракторные заводы гарантируют необходимый ресурс узлов и деталей гидроприводов и трансмиссий при соблюдении установленных сроков замены, рекомендуемых к использованию масел.

Следовательно, в решении вопроса об увеличении продолжительности работы масел по сравнению со сроком, установленным инструкциями по эксплуатации тракторов, необходимо анализировать такие показатели качества масел, изменение которых влияет на технико-экономические показатели работы, безотказность и ресурс гидроприводов и трансмиссий.

В результате взаимодействия масел с кислородом воздуха происходит старение масла с образованием кислых продуктов, которые способствуют увеличению коррозии деталей и агрегатов гидроприводов и трансмиссий [16]. Максимально допустимое значение кислотного числа равно 3—3,5 мг кон/г масла; при наличии в масле воды это значение снижается до 1,5 мг кон/г для цветных металлов и до 2,0 мг кон/г для стали.

Вода способствует увеличению коррозионной активности масла, кроме того, приводит к выпадению из масла присадок, что сказывается на ухудшении его смазывающей способности. Масла не пригодны к дальнейшему использованию при содержании в них воды более 6:0.

Проблему определения чистоты нефтепродуктов можно решить даже в полевых условиях при помощи переносного прибора контроля жидкости ПЖК-902. Прибор дает возможность анализировать чистоту жидкости за несколько секунд. Диапазон его применения не ограничивается лишь контролем масел и топлива. Техническая характеристика прибора ПЖК-902: пять диапазонов, цифровая индикация измерения, предварительно допустимая концентрация частиц в 100 см^3 жидкости — 15000, допустимый коэффициент светопропускания жидкости по толщине слоя 100 мм — 50% и более, номинальный расход жидкости — $400 \text{ см}^3/\text{мин}$, максимальное давление прибора — 300 кПа, напряжение сети переменного тока с частотой 50 Гц — 220 В. Габаритные размеры — $365 \times 400 \times 420$ мм, масса 95 кг.

На различных предприятиях (не только сельскохозяйственных) с помощью ПЖК-902 можно контролировать качество работы регенерационных установок и станций, степень загрязненности жидкости при заправке и промывке масляных и гидравлических систем, качество мойки деталей, загрязненность внутренних полостей деталей и агрегатов. Контроль производится взятием отдельных проб и непосредственно в потоке во время работы агрегата. Последнее является важным преимуществом, так как исключает погрешности, обусловленные внесением посторонних частиц при отборе и консервации проб. Прибор снабжен устрой-

ством сигнализации о превышении предельно допускаемой концентрации загрязнений.

Опишем экспресс-методы определения качества отработанных масел.

1. При определении содержания в масле воды и механических примесей из отобранной пробы масла берется навеска в 100 г, заливается в градуированный цилиндр или стакан емкостью 250 Мл и в него же добавляется такая же или большая навеска бензина. Все содержимое взбалтывается, нагревается в водяной бане до 50—60°C и ставится на отстой в течение 15—20 мин. Высота столбика отстоявшейся воды и механических примесей будет показывать суммарный процент воды и механических примесей в отработанном масле. Наличие воды можно установить, если на нагретую примерно до 120°C пластинку налить несколько капель масла. Если при этом образуется только дым, то в пробе содержится меньше 0,5% воды по объему. Если возникают брызги и слышится потрескивание, то в пробе имеется вода.

2. Установить наличие консистентных смазок в отработанном масле можно путем отбора стеклянной трубкой пробы со дна бочки или емкости. Из отобранной пробы берут несколько капель отработанного масла, которое помещают на стекле или на фильтровальную бумагу. Кусочки смазки на стекле или на фильтровальной бумаге, легко растираемые пальцем, будут указывать на присутствие консистентной смазки.

3. При определении нигрола в отработанном масле метрошток или щупом наносится две-три капли испытуемого масла на чистое сухое листовое бесцветное стекло (оконное) или фильтровальную бумагу. Дают этим каплям растечься по стеклу или бумаге и осматривают их. Темно-коричневая окраска ореола капль означает присутствие в масле нигрола.

Содержание воды в автотракторных маслах может быть определено и несколько иным способом. Для этого в соответствующем сосуде масло нагревается до 200°C. В пробирку заливается испытываемое масло до 1/3 объема. Пробирку помещают в нагретую масляную ванну на 2 мин. Затем пробирку вынимают и осматривают пространство над маслом. Если появился лишь туман, значит масло содержит менее 0,5% воды. Если же вместе с туманом появятся и капли конденсата на стенках пробирки, то масло содержит выше 1% воды и его следует заменить.

Присутствие воды в масле влияет на интенсивность окисления и загрязнения масла, с повышением концентрации вод увеличивается скорость образования нерастворимых продуктов, ухудшаются диспергирующие свойства масел, увеличивается количество отложений на деталях, заметно возрастает степень гидролиза металлосодержащих присадок, что приводит к падению ингибирующей способности.

СТАБИЛЬНОСТЬ И СТОЙКОСТЬ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Механизм смазочного действия углеводородных жидкостей и растворов присадок в них давно привлекает внимание исследователей, что вызвано, с одной стороны, разнообразием этих сред, а с другой стороны,—изменчивостью интенсивности изнашивания пар трения от условий фрикционного нагружения (внешних и внутренних факторов).

К настоящему времени имеются определенные знания как по влиянию самих молекул углеводородов на металлы, так и их продуктов деструкции и окисления, полимеризации как на антифрикционные, так и на противоизносные свойства поверхностных слоев. Это части присадок, содержащих серу, фосфор, хлор, никель и др. Установлено конкурирующее их действие с кислородом, растворенным в жидкостях и связанным в продукты окисления — перекисей, кислот и др.

В большинстве своем исследователи придерживаются мнения об изнашивании с учетом поверхностных пленок, образованных при химическом взаимодействии,— это окислы металлов, их соли, мыла, сшитые полимерные слои и т. д., что можно свести к коррозионно-механическому изнашиванию.

Окислительное изнашивание при граничной смазке предполагает окисление металла при взаимодействии с кислородсодержащими радикалами, которые образуются за счет присоединения кислорода к отрицательным ионам или радикалам. Однако до настоящего времени в рассмотренном механизме мало внимания уделено износу металлов под воздействием отрицательных ионов и радикалов, не содержащих химически активных элементов. В этих случаях поверхности металлов не окисляются, и износ происходит за счет адгезионного отслаивания диспергированных слоев.

Из-за пластифицирования поверхностных слоев в экспериментах с низким содержанием кислорода отмечаются микросхватывания за счет адгезионного контактирования пар трения.

Нами [17] показана возможность описания кинетики трибохимической реакции в системе, состоящей из двух контактирующих металлических тел, погруженных в смазочную среду, в которой имеются углеводородные молекулы и растворенный кисло-

род, трехстадийной реакции образования радикала под воздействием металлической поверхности, присоединения кислорода к комплексу металл—углеводородный радикал и разрушение комплекса с образованием частиц износа и продуктов окисления масла.

Рентгеноспектральный анализ поверхностных слоев образца показал, что если нетронутая поверхность содержит 97,14% железа и 3,67% углерода, то при трении в толстом слое содержание элементов колеблется в пределах 86,5—94,5 и 2,4—8,8%. Содержание кислорода при трении в толстом слое составляет 26,08%, а при трении в тонком слое находится в пределах 1,09—17,65%. Из этих данных следует, что поверхность трения в тонком слое масла мало окисляется и больше насыщается углеродом. Последнее возможно капсулированием углерода в порах и трещинах поверхностных слоев, а не образованием карбида железа, который мог бы тормозить глубокие структурные изменения.

Зависимость интенсивности изнашивания от толщины слоя масла на поверхности трения, видимо, объясняется, с одной стороны, условиями распределения энергии в зонах трения (улучшение тепло- и массообмена), разупрочнением поверхностей за счет хемосорбции бескислородных радикалов и снижением концентрации дефектов, ответственных за разрушение, и с другой стороны, возможно снижение интенсивности окислительных процессов за счет рекомбинации радикалов, разветвляющих цепную реакцию окисления углеводородных молекул, что вызвано действием на них структурных поверхностных сил, возникающих в результате перекрытия граничных слоев, структура которых изменена на анизотропную. Принимая, что скорость разрушения поверхностных соединений равна скорости изнашивания, были получены зависимости скорости износа от концентрации растворенного кислорода.

Проблему определения концентрации углеводородных молекул, способных образовывать радикалы, решали нахождением доли потерь массы в экзопике при взаимодействии с кислородом воздуха в термогравиметрических анализах смазочной среды. Полученные данные для различных смазочных сред хорошо описываются при виброударном нагружении и реверсивном трении скольжения в атмосфере воздуха от величины потерь массы в экзопике. Поскольку в этих опытах получена линейная зависимость, нам представлялось возможным изменение концентрации реакционноспособных углеводородных молекул изменением количества смазочного материала по отношению к общей площади контактирования при трении. Например, изменением толщины слоя смазочного материала поверхности образца пары трения с большей площадью. При этом ввиду большей возможности доступа молекулярного кислорода к поверхностям трения усло-

вие большинства его концентрации выполняется. В узле трения три шара — диск получена зависимость интенсивности изнашивания от толщины слоя смазочного материала.

При трении с тонкими пленками смазочного материала, видимо, протекают глубокие изменения структуры материала, поэтому при переходе на тонкий слой масла С-220 резко снижается интенсивность изнашивания, повышается контактное сопротивление (омическое), что не имеет места при трении в толстом слое масла. Об этом свидетельствует повышенное значение удельной плотности энергии трения.

Смазка предотвращает непосредственный контакт металлов, охлаждает трущиеся поверхности и уносит абразивы и другие вредные примеси. Даже кратковременное отсутствие смазки между трущимися поверхностями деталей приводит к ухудшению условия трения, повышению изнашивания, выплавления антифрикционного сплава подшипников и заеданию деталей. Вместе с тем смазка вступает во взаимодействие с металлами деталей, вследствие чего существенно изменяются их механические свойства, износоустойчивость и усталостная прочность. Механические свойства металла зависят от структуры и дефектов кристаллического строения. Дефекты структуры на поверхности трения в виде пустых, не занятых атомами (ионами) в решетке мест, мозаичности, микротрещин и микрополостей, вызванных местным перенапряжением металла и изменением формы кристаллов и их взаимным расположением, влиянием переходного слоя на границе зерен, скоплением вакансий, приводят к значительному понижению прочности твердого тела. Поверхностные дефекты являются концентраторами напряжений и играют важную роль при взаимодействии тела с окружающей средой, в частности со смазкой.

В процессе трения поверхности тела подвергаются физико-химическому и механическому воздействию. Взаимодействие внешней среды происходит на разделе двух фаз металл — среда. При полном смачивании активные вещества стремятся покрыть всю доступную поверхность равномерным адсорбционным слоем. В образовавшиеся на поверхности тела микротрещины и микропоры из окружающей среды попадают поверхностно-активные вещества.

Основной причиной втягивания адсорбционных слоев в микрощель является понижение поверхностной энергии.

При ограниченном растекании жидкости по поверхности тела (полное смачивание) жидкость заполняет щели, при этом капиллярное давление в микрощелях достигает наибольшего значения. Капиллярное давление P_{\max} можно определить по выражению

$$P_{\max} = \frac{2\sigma_1}{b},$$

где σ_1 — свободная поверхностная энергия на границе раздела жидкости и среды (воздуха); b — ширина микротрещины.

Заметное расклинивающее давление возникает у пленки жидкости толщиной не более 0,1 мкм, а наибольшее растягивающее давление — при наименьшей ширине щели, равной двум диаметрам молекулы жидкости, что для смазывающих жидкостей составляет около 0,001 мкм.

Если принять, что поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом $\sigma_1 = 30 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², а предельная ширина микрощели $b_m = 0,001$ мкм, то при полном смачивании наибольшее расклинивающее давление

$$P_{\max} = \frac{2 \cdot 30}{1 \cdot 10^{-7}} = 6 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Следовательно, в результате смачивания стенок микроплощадей жидкостью возникают расклинивающие давления, достигающие 10^8 Па. При снятии нагрузки микрощели стремятся сомкнуться под действием молекулярных сил, однако этому сближению будет противодействовать проникнувшая в микрощели жидкость. Молекулярные силы сцепления, действующие в наиболее узких частях микрощелей, недостаточны для вытеснения предельно тонких сольватных и особенно адсорбционных слоев. Сольватные слои жидкости, состоящие из нескольких сот и даже тысяч молекул, играют важную роль в процессе циклического воздействия, так как они, попадая в щели, значительно снижают усталостную прочность.

Адсорбция вызывает ослабление связей между атомами и молекулами не только на поверхности тела, но также между поверхностными и глубинными атомами. При сравнительно медленном деформировании в присутствии смазки происходит проникновение ее на большую глубину в толщу металла. Межмолекулярные связи ослабевают и облегчается сдвигообразование, что приводит к увеличению степени пластической деформации при меньшем деформирующем усилии. Следовательно, более резко проявляется эффект П. А. Ребиндера.

Исследования радиационной стойкости нефтепродуктов показали, что условные смазочные вещества могут выдерживать дозы радиации от 10^7 до 10^8 рад. Это дало возможность расширить область применения смазочных материалов на основе нефти.

При получении определенной дозы облучения нефтепродуктов происходит разрыв молекулярных связей. Для выражения энергии излучения применяются два измерительных метода: по первому методу определяется количество энергии, экспонируемой на материал (измеряется в рентгенах); ко второму — количество энергии, поглощаемой материалом (измеряется в радах).

Интенсивность эффектов или фактическое проявление одного

или нескольких из них зависит от поглощенной энергии, определенного состава удельного материала, образующего смазочное вещество, и атмосферных условий — температуры, давления и газового состава окружающей атмосферы.

Облучение влияет на нефтепродукты следующим образом:

- 1) горючие и смазочные вещества темнеют и приобретают кисловатый запах;
- 2) уменьшается содержание кислорода и повышается плотность;
- 3) выделяется кислород и легкие углеводороды;
- 4) увеличивается показатель вязкости;
- 5) может происходить полимеризация в твердом состоянии.

Ненасыщенные углеводороды более радиоактивны, ароматические соединения — менее; при этом насыщенные соединения принимают средние значения между двумя крайностями.

Биоповреждения — эколого-технологическая проблема, комплексная в научном плане и многоотраслевая — в практическом. Рациональная борьба с биоповреждениями немыслима без изучения экологии микроорганизмов, особенностей их существования, а также без знаний физико-химических свойств материалов и условий эксплуатации машин, оборудования и сооружений, без понимания вопросов природоиспользования и защиты природы от загрязнений.

Микроорганизмы, потребляя непосредственно углеводород и воздействуя продуктами метаболизма, изменяют состав масел, топлив, смазочных материалов, ухудшая их физико-химические и эксплуатационные свойства. Скорость размножения микроорганизмов может достигать колоссальных значений, при этом происходит быстрое нарастание микробной массы, и нефтепродукты становятся непригодными. Забивка фильтров и систем микробной массой и продуктами обмена может привести к отказам гидрорыводов и систем.

Из существующих в природе более 150 тыс. видов микроорганизмов около 200 способны окислять углеводороды. Нет углеводородов, устойчивых к воздействию микроорганизмов.

Биоповреждения масел стимулируются повышенной температурой (более 20°C), загрязнениями, попадающими в емкости, накопленные воды. Более благоприятные условия для развития микроорганизмов создаются в зоне раздела масло — вода.

При $pH > 9$ процесс биоповреждений масел практически прекращается. Наибольший рост бактерий и грибов-окислителей углеводородов наблюдается в интервале температур 25—40°C. Однако существуют психрофильные и термофильные микроорганизмы, разрушающие масла. Микроорганизмы обладают избирательной способностью к окислению субстрата, их ферментативные системы адаптируются к определенным группам углево-

дорогов. Так, некоторые из них интенсивно разрушают твердые Н-парафины, медленнее — газообразные и жидкие. Изоалканы разрушаются еще медленнее. Наиболее уязвимы соединения ароматического ряда.

Из компонентов смазочных материалов интенсивно (на 90—100%) поражаются грибами и бактериями озокерит, церезин, окисленный нетролатум. Из пораженных в естественных условиях смазочных материалов выделены грибы *Trichoderma viride*; *Paecilomyces varioti*; *Cladosporium resinae*.

Устойчивыми к биоповреждениям оказались полисилоксановые жидкости, например ПЖ-4. Термическая и термоокислительная стойкость этих веществ наряду с биостойкостью характеризуют перспективу использования композиций масел и смазочных материалов на их основе.

Объем воды, необходимый для размножения бактерий, вызывающих коррозию, чрезмерно мал по отношению к общему объему смазочного масла. Даже без проникновения со стороны содержание воды в маслах может возрастать под влиянием конденсации.

Минимальное количество воды, необходимое для размножения микроорганизмов, различно для различных масел. В некоторых маслах достаточно и 1% воды, чтобы начался интенсивный рост микробов, в других же необходимо более 5%, чтобы число бактерий изменилось существенно. Оптимальный диапазон температур роста числа бактерий лежит в пределах 30—40°C. С повышением температуры до 50°C и выше количество новых организмов и скорость их возникновения снижаются.

Относительно стойки к воздействию микроорганизмов масла К-17, МС-20 и М-10ГФЛ. Масла АС-8, МС-8л, МН-7, 5у, МК-8 с 10% АКОР-1, ИПМ-10 и МС-8РК в большей степени подвержены воздействию микроскопических грибов и бактерий. Развитие в маслах микроорганизмов может приводить к изменению их цвета, помутнению, накоплению микробиологических осадков. В некоторых случаях изменяются и отдельные показатели физико-химических свойств, в частности кислотное число и вязкость. Уменьшение РН водной фазы свидетельствует о накоплении в масляной среде коррозионно-агрессивных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Все это способствует резкому снижению защитных свойств смазочных материалов.

Одним из способов защиты смазочных материалов от повреждения микроорганизмами является введение в них биоцидов. Эти присадки не должны отрицательно влиять на физико-химические и эксплуатационные свойства смазочных материалов и быть токсичными. В качестве биоцидов применяют салициланилид, трилан Б, биоцин и др.

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА КАЧЕСТВО ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС)

При нормальной эксплуатации двигателей (отсутствие пыли в воздухе и умеренная температура) интенсивность изнашивания незначительна. Однако в природно-климатических условиях Среднеазиатского региона вследствие высокой температуры окружающей среды, абразивного воздействия пыли, попадающей в двигатель с воздухом, маслом и топливом, износ значительно ускоряется.

Изменение параметров двигателя непосредственно зависит от степени изношенности цилиндров и колец, т. е. от величины рабочего заряда, участвующего в процессе сгорания. Степень изношенности деталей цилиндрико-поршневой группы двигателей (ЦПГ) определяет также расход топлива и моторного масла.

Опыт эксплуатации тракторов в хлопководстве Среднеазиатского региона показывает, что межремонтный срок службы дизелей ниже значений, установленных при государственных испытаниях. Средняя наработка двигателей низка и составляет до первого капитального ремонта 1200—2000 мото-ч, от первого до второго — 1200—1400 мото-ч, после второго и последующих — не превышает 800—1000 мото-ч.

По данным СредазГОСНИТИ [13, 14], доремонтный ресурс двигателей пропашных тракторов Т28Х4М и их модификаций в реальных условиях эксплуатации составляет 1780 мото-ч, межремонтный после первого капитального ремонта — 1420 мото-ч.

Таким образом, почвенно-климатические условия существенно влияют на рабочие процессы при эксплуатации машинно-тракторного парка, снижение долговечности тракторных двигателей, изменение качества топлива и смазочных материалов.

Количество показателей надежности ДВС по ГОСТ 13377-75 зависит от конструкции двигателя, технического уровня эксплуатации, ремонтных воздействий, природно-климатических условий и т. д. Поэтому в рядовой эксплуатации они различны и применяются в широких пределах.

При определении надежности тракторных дизелей решающее значение приобретают периодически возникающие отказы. В частности, нами установлено, что в реальных условиях эксплуатации Узбекской ССР по сравнению со средней полосой страны коли-

чество отказов двигателей возрастает более чем в 2 раза. Средний параметр потока отказов составляет 0,0051 отказа/мото-ч, а суммарные потери от простоев для тракторов класса 9 кН при этом равны 8,67 руб/ч.

Особенно интенсивна потеря первоначальных эксплуатационных параметров тракторных дизелей. Эффективная мощность и расход топлива существенно изменяются уже к 500 ч работы после начала эксплуатации. У двигателей Д-37Е, Д-144 к указанной наработке отмечено понижение мощности по сравнению с номинальной в среднем на 8,8% и повышение удельного расхода топлива на 5%.

Между величиной запыленности и температурой окружающего воздуха наблюдается определенная зависимость. Если при 10°C (в ноябре) запыленность не превышает 0,31 г/м³, то при 32—42°C (летом) она составляет 1,97 г/м³ (без ветра). Плотность пылевого облака, окружающего агрегат, может быть различной и зависит не только от характера выполняемой работы, скорости агрегата, температуры окружающей среды, но также от скорости ветрового потока и его направления по отношению к движущемуся агрегату. Плотность пылевого облака вокруг агрегата максимальна при совпадении скоростей ветра и направления движения трактора.

Дисперсный состав почвенных частиц также значительно влияет на степень запыленности воздуха. Частицы размером менее 30 мкм, с одной стороны, долго удерживаются в воздухе во взвешенном состоянии, с другой, плохо улавливаются воздухоочистителями. В то же время их влияние на интенсивность изнашивания очень велико. Увеличение размера частиц пыли в воздухе с 5 до 15—30 мкм, их химический состав (твердость, абразивные свойства) и форма частиц пыли приводят к повышению скорости изнашивания компрессионных колец в 2—4 раза.

Несмотря на то, что большую часть (до 45%) пыли в районах хлопкосеяния составляют весьма мелкие частицы (до 10 мкм), интенсивность абразивного изнашивания велика, поскольку даже мельчайшие из них (около 1 мкм) в определенных условиях уже опасны при попадании в зазоры трущихся деталей.

Вторым фактором снижения показателей надежности двигателей тракторов является высокая температура. Наиболее высокая температура окружающего воздуха влияет на работу системы охлаждения двигателей. Особенно чутки к изменению температуры двигатели с воздушным охлаждением.

Повышенный нагрев цилиндров приводит к росту температуры и ускорению процесса окислительной полимеризации углеводов моторного масла, попавших в него продуктов неполного сгорания топлива, а также срабатывания присадок. Критической температурой масла в картере, превышение которой приводит к

снижению надежности работы двигателя, является 115—120°C. При 120—125°C значительно интенсифицируются процессы его окисления. Дальнейшее повышение температуры масла приводит к ухудшению всех показателей его качества, быстрому старению.

По существу масла и смазки являются такими же конструкционными материалами, как и металлы, из которых изготовлены машины. К ним применимы все понятия теории надежности, в свою очередь они определяют надежность двигателей. Эти обстоятельства особенно очевидны при эксплуатации тракторной техники в зоне хлопководства, почвенно-климатические условия которой приводят к более интенсивному старению и ухудшению функциональных свойств моторного масла, повышенному износу деталей и снижению надежности двигателей в целом.

С другой стороны, при эксплуатации дизелей в условиях Средней Азии действуют факторы, благоприятно влияющие на работу двигателей. Прежде всего это незначительный период работы двигателей на низкотемпературном режиме, что снижает темп образования низкотемпературных отложений в двигателе.

Анализ статистических данных показывает, что основная часть двигателей входит в ремонт не по загрязненности ЦПГ, а вследствие высокой степени износа основных сопряжений деталей. В этой связи техническое состояние двигателя достаточно полно характеризуется износом ЦПГ и кривошипно-шатунного механизма (КШМ).

Положительным следствием высокой температуры и малой влажности воздуха при работе двигателей является незначительное образование кислотных соединений в моторном масле, обуславливающих его коррозионную агрессивность. Однако в этих условиях требовательность к термоокислительной стабильности масел еще более возрастает, если учитывать, что для двигателей характерна тенденция к снижению угара масла и уменьшению удельной вместимости системы смазки.

Таким образом, условия эксплуатации оказывают как отрицательное, так и в некоторой степени положительное влияние на работоспособность масел и надежность двигателей тракторов.

Техническое состояние деталей ЦПГ и КШМ определяет работоспособность двигателя в целом и возможность эксплуатации трактора в дальнейшем. Необходимость ремонта или замены деталей (поршневых колец, цилиндров, поршней, коленчатого вала, вкладышей) требует значительных материальных и трудовых затрат на разборку двигателя, собственно ремонт и сборку. Изучение закономерностей изнашивания деталей ЦПГ и КШМ в реальных условиях эксплуатации, установление причин, снижающих их долговечность, знание остаточного технического ресурса имеет большое практическое значение, так как позволяет снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт машинно-тракторного парка.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТРАКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

УЗКОИНФОРМАЦИОННЫЕ

ШИРОКОИНФОРМАЦИОННЫЕ

Диагностика сопряжения шейки вала—вкладыш

Диагностика цилиндро-поршневой группы

По давлению в системе
смазки

По расходу масла через
систему смазки

По характерным стукам

По развиваемой мощности

По расходу масла на угар

По количеству прорываю-
щихся в камеру газов

По расходу топлива

По давлению газов в кар-
тере

По давлению конца сжатия

По утечке из цилиндра
сжатого воздуха

По содержанию в масле
ферромагнитных частиц

По разрежению во впуск-
ном коллекторе

По изменению свойств
моторного масла

По параметрам вибрации

По параметрам теплового
поля

Рис. 7 Методы диагностики тракторного двигателя

Для диагностики ДВС важно выбрать признаки, легко поддающиеся измерению или учету и достаточно точно отражающие техническое состояние механизма. Безразборное определение технического состояния двигателей основано на косвенном измерении структурных параметров по внешним признакам: расходу топлива, развиваемой мощности, угару масла, величине компрессии и т. д. Принципиально методы диагностики ДВС подразделяются на две группы: узко- и широкоинформационные (рис. 7). Практическое применение находят методы диагностики цилиндропоршневой группы.

Эффективно развиваемая мощность является функцией многих параметров, определяющих техническое состояние двигателя. Периодическую проверку и контроль мощностных и топливно-экономических показателей дизелей, а также рабочего процесса в целом осуществляют при ТО-2, ТО-3 тормозными, бестормозными и парциальными методами. Однако их применение не позволяет выявить действительное техническое состояние двигателей трактора, величины износа и остаточный моторесурс основных деталей.

Определенный интерес представляют виброакустические методы диагностирования по параметрам шума и вибрации, меняющиеся по мере изнашивания механизмов или возникновения в них дефектов. Выделение диагностического сигнала является одним из основных звеньев в системе виброакустического метода исследования ДВС, так как вибрации, генерируемые механизмами и сопряжениями, рассматриваются как случайный процесс, характеризуемый плотностью распределения, математическим ожиданием, корреляционной функцией и спектральной плотностью.

Выделение виброакустических параметров по частоте и времени использовано в электронных диагностических приборах типа ВДП-ЛСХИ, ЭМДП-2, диагностической системе ДИПС ВНИИЭП.

Метод прослушивания диагностических зон двигателя с помощью простейших электронных стетоскопов позволяет выявить неисправности на стадии аварийных износов, когда стучи в сопряжениях ЦПГ и КШМ явно выражены и зазоры превосходят максимально допустимые. Данный метод не позволяет получить оценку износа и зависит от опытности и индивидуальных особенностей мастера-диагноста.

Наиболее простым, но менее точным является определение технического состояния двигателей и их систем в процессе эксплуатации по показаниям встроенных контрольно-измерительных приборов и датчиков: масляного манометра, указателя температуры воды, масла и т. д. Давление в системе смазки снижается при увеличении зазоров в подшипниках коленчатого вала, а температура воды и масла характеризует тепловой режим, исправность работы двигателя и находится в прямой зависимости от

величины сил трения сопряженных деталей. В эксплуатации большое количество побочных факторов влияет на показания приборов и температуру воды и масла, поэтому метод не нашел широкого применения.

Для повышения объективности и точности контрольно-измерительных приборов и встроенных датчиков необходимо обеспечить

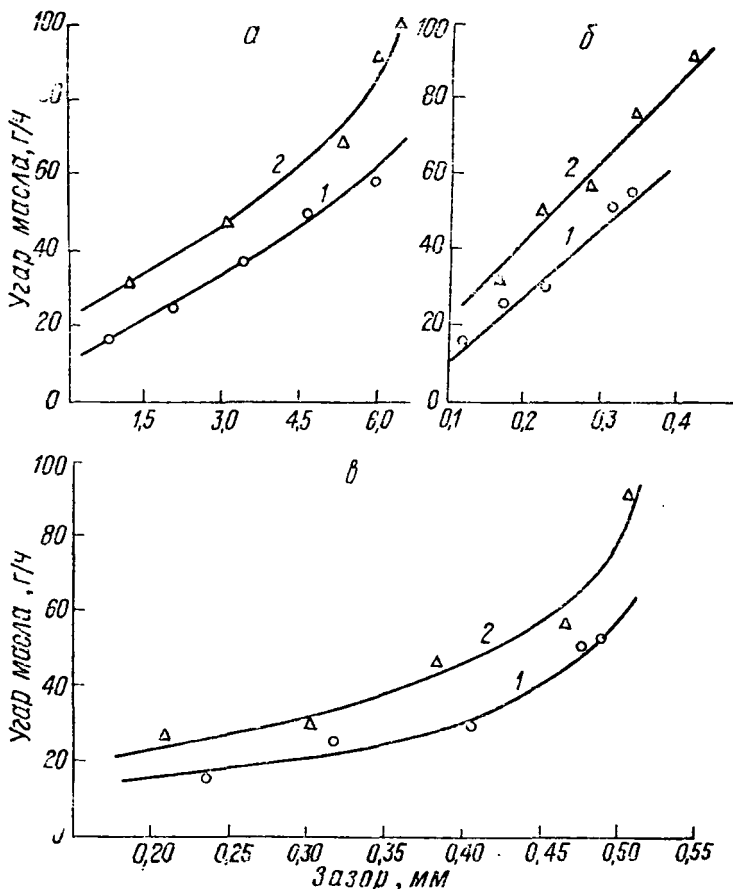


Рис. 8. Зависимость угара масла от изменения зазора в стыке колец (а), в сопряжении кольцо — канавка (б) и в сопряжении поршень — цилиндр (в):

1 — посев, культивация; 2 — уборка хлопка.

их достаточную информативность и оперативность. Для этого необходимо уделять больше внимания контролю и оценке надежности отдельных элементов машин, способствующих эффективной эксплуатации. Так, применение воздухоочистителей с индикато-

рами засоренности типа ИЗВ-700 позволило увеличить межремонтные сроки работы двигателей и проводить ТО воздухоочистителя по необходимости, вызываемой конкретными условиями эксплуатации машины. Своевременное обслуживание воздухоочистителя предупреждает попадание и предотвращает рост интенсивности абразивного изнашивания деталей двигателя.

Судить о зазорах в основных сопряжениях цилиндро-поршневой группы можно по угару моторного масла при работе автотракторных двигателей. При износе поршневых колец и канавок в поршне по высоте, увеличении зазора в замке колец повышается проникновение масла в камеру сгорания, возрастает давление и прорыв газов (рис. 8).

Максимальная величина угара масла определяется не столько общим износом двигателя в целом, сколько состоянием верхнего компрессионного кольца. В исправном двигателе расход масла на угар может изменяться в зависимости от взаимного положения замков поршневых колец в 1,8—2,0 раза. Точность метода оценки технического состояния по величине угара масла зависит от теплого и нагрузочного режимов работы двигателя, состояния салышиковых узлов, разжижения масла топливом, работы системы вентиляции картера и других факторов. Все это наряду с длительностью и сложностью замеров снижает его достоинства. Определение расхода масла на его угар ускоренным методом не устраняет недостатки, а лишь способствует сокращению времени испытаний за счет повышения точности взвешивания.

Достаточно объективную оценку износа цилиндров и состояния уплотнения камеры сгорания получают путем замера количества газов, прорывающихся в картер двигателя и выходящих через сапун за единицу времени с помощью прибора КИ-4887-1.

В работе [7] показана целесообразность параллельного использования показателей расхода масла на угар и количество прорывающихся картерных газов в целях диагностики ЦПГ двигателей тракторов, так как в большинстве случаев они согласуются между собой, и комплексное их применение позволяет получить больше информации. С этой же целью предлагается использовать пульсации картерных и выхлопных газов, а также воздуха в коллекторе.

Следствием износа деталей ЦПГ является увеличение неплотности камеры сгорания и потеря компрессии в цилиндрах двигателя. По ее изменению с помощью компрессиметра КИ-861 проводят сравнительную оценку технического состояния отдельных цилиндров.

Указанные методы и средства диагностики ЦПГ и КШМ тракторных двигателей рекомендованы почти повсеместно, их используют на практике в колхозах, совхозах и на ремонтных предприятиях. Большое их разнообразие объясняется значитель-

ной трудоемкостью выполнения контрольно-диагностических операций при недостаточно высокой точности и достоверности результатов контроля.

Наиболее перспективны диагностические системы, объединяющие в «приборный» комплекс различные выходные параметры. Одной из первых универсальных автоматизированных диагностических систем в СССР является электронная установка КИ-13940 ГОСНИТИ, позволяющая только по дизелю контролировать свыше 30 параметров технического состояния.

За рубежом широко применяют эксплуатационную диагностику с использованием малогабаритных приборов в сложных электронных системах в комплексе с современной электронно-измерительной и вычислительной техникой. Так, использование ЭВМ «Autosense» позволяет держать в ее памяти 30 тестов для испытаний тракторов и автомобилей. На ряде тракторов «Джон Дир» нашла применение 16-канальная мониторинговая система контроля [17]. В США осуществляется комплекс мер по диагностике работоспособности и надежности тракторов, способных выявлять потенциальные дефекты за 100 ч до их возможного видимого проявления.

Анализ имеющихся работ показывает, что техническая диагностика сложных машин, в том числе тракторных, комбайновых, и автомобильных дизелей развивается на основе принципов безразборности, универсальности методов и средств, комплексности приборов и установок, а также обеспечения высокой оперативности, информативности. В этом направлении большие возможности открывает электроника. Вместе с тем актуальным остается применение простых средств диагностики в массовых видах обслуживания.

Значительное распространение имеют традиционные методы оценки износа — по изменению массы и геометрических размеров деталей, измерению лунок или отпечатков на их поверхности, однако они не пригодны при краткосрочных испытаниях двигателей и требуют разборки, в процессе которой вносятся помехи. В то же время все продукты изнашивания основных двигателей попадают в моторное масло и частично циркулируют вместе с ним по системе смазки, частично задерживаются фильтрами, полостями коленчатого вала и т. д. Зная закономерности этих процессов и количественно оценивая содержание продуктов износа в масле, можно определить величину износа основных деталей.

Метод определения износа по накоплению его продуктов в масле позволяет оценить закономерности процесса за сравнительно небольшой период времени. Кроме того, это единственный метод, который дает возможность исследовать процесс в динамике по времени работы двигателя, не прибегая к разборке. За рубежом широко распространен метод феррографии, которым

можно определить не только величину, но и характер износа, режим трения в сопряжении.

В настоящее время в ряде исследований [7, 10, 34] обоснованы функциональные зависимости между физико-химическими показателями моторного масла и техническим состоянием двигателей — более 50% неполадок в работе двигателей в той или иной степени связано с маслом. Стендовые испытания двигателей Д-50 показали, что техническое состояние деталей ЦПГ значительно влияет на процесс старения и изменение показателей качества моторного масла. Анализ результатов стендовых и эксплуатационных испытаний двигателей СМД-14А позволил выявить связь между износом гильз цилиндров в верхнем рабочем поясе, наработкой на отказ тракторов в реальных условиях эксплуатации, а также изменением показателей качества масла: вязкости, щелочного числа, количества нерастворимого осадка.

По прогнозированию загрязненности ЦПГ двигателя и подвижности поршневых колец сделаны только первые попытки на основе анализа физико-химических показателей качества масла. С помощью корреляционного анализа установлена тесная связь между коэффициентом, характеризующим изменения вязкости, антикоррозионные свойства, и степенью загрязненности моторного масла. Обработка результатов многолетних эксплуатационных испытаний [7, 14] масел привела к уравнениям множественной корреляционной связи, позволяющим расчетным путем определить состояние двигателя по показателям качества масла. При практическом подтверждении этих уравнений экспериментаторы получают метод исследования, значение которого трудно переоценить, несмотря на его сложность. По нашему мнению, окончательное решение этого вопроса возможно только после проведения специальных эксплуатационных испытаний с применением современных методов исследования.

Перспективное направление в оценке износа ДВС и эксплуатационных свойств масел связано с применением методов, в основе которых лежит специальный анализ. Использование спектрального анализа масла для оценки технического состояния двигателя основано на очевидном допущении, что при постоянных расходе масла и интенсивности его очистки концентрация продуктов износа в масле пропорциональна скорости изнашивания соответствующих деталей.

Концентрация примесей в масле ϵ_{II} возрастает с увеличением скорости их поступления q , снижением интенсивности удаления из масла системой фильтрации q_{II} и расходом на угар q_y [6]:

$$\epsilon_{II} = \frac{q}{q_{II} + q_y}.$$

Система смазки ДВС до некоторой степени способна к само-

регулированию и поддержанию концентрации примесей на определенном уровне в зависимости от параметров q , q_n , q_y , что согласуется с другими исследованиями. При изменении внешних условий или характера спонтанного процесса (смена масла, попадание пыли, повышенный износ, ухудшение технического состояния двигателя и т. д.) система стремится к новому стационарному состоянию. Вместе с тем концентрация примесей в масле зависит от нагрузочных, скоростных режимов, индивидуальных особенностей двигателей и для каждого двигателя будет иметь некоторое усредненное значение ϵ_{cp} , отражающее его реальные интенсивность изнашивания и техническое состояние. Для создания одинаковых условий работы двигателей необходимо обеспечить равенство $\epsilon_n = \epsilon_{cp}$, что достигается эффективной работой фильтров. Увеличение содержания продуктов загрязнения в масле свидетельствует о дефектах работы масляного и воздушного фильтров, а также о повышенном износе двигателя.

Для любого произвольного промежутка времени уравнение материального баланса продуктов загрязнения

$$qt - \epsilon_t Q - \epsilon_{cp} q_y t - q_{cp} t = 0,$$

где Q — количество масла в картере двигателя, кг;

q — скорость поступления продуктов загрязнения в масло, г/ч;

q_y — интенсивность расхода масла, г/ч;

qt — общее количество продуктов загрязнения, поступивших за время t , г;

q_{cp} — средняя скорость удаления примесей, г/с;

$q_{cp} t$ — среднее количество продуктов загрязнения, удаляемых фильтрами за время t , г;

ϵ_t — концентрация продуктов загрязнения в масле, %;

$\epsilon_t Q$ — количество продуктов загрязнения, содержащихся в масле в данный момент времени, г;

ϵ_{cp} — средняя концентрация продуктов загрязнения в масле за период его использования, %.

При режиме длительного использования моторного масла, т. е. периодического долива свежего вследствие угара, может быть составлено уравнение баланса:

$$qtn - \epsilon_n (Q - q_y t) - \epsilon_n q_y t_n - q_{cp} tn = 0.$$

С. В. Венцель указывает [6], что фактическое время пребывания масла в картере не превышает периода:

$$\tau = \frac{Q}{q_y},$$

т. е. с увеличением угара масла и уменьшением вместимости картера обновление происходит быстрее. Г. П. Лышко [19] приводит более сложную зависимость для средневзвешенного времени работы моторного масла:

$$T = \frac{Q}{q_y} \left[1 - \exp \left(- \frac{q_y}{Q} t \right) \right].$$

Авторы [7, 19, 20] указывают, что за время между принудительными заменами масла происходит его 2—4-кратное и более обновление при восполнении потерь на угар.

Средняя скорость задержания продуктов загрязнения $q_{\text{ср}}$ и интенсивность расхода масла q_y определяются при $n \rightarrow \infty$:

$$q_{\text{ср}} = q - \epsilon_n q_y,$$

$$q_y = \frac{q - q_{\text{ср}}}{\epsilon_n}.$$

Тогда

$$T = \frac{Q}{q_y} = \frac{Q \cdot \epsilon_n}{q - q_{\text{ср}}},$$

что позволяет анализировать процессы, происходящие в моторном масле при изменении технического состояния двигателя, не только по накоплению продуктов износа, но и при изменении физико-химических свойств масла. Концентрация большинства примесей довольно быстро стабилизируется за счет динамического уравнивания скоростей их поступления в картер, удаления фильтрацией и расходом масла на угар. Тогда время работы моторного масла, связанное с определенным техническим состоянием двигателя, не будет ограничиваться накоплением механических примесей и продуктов износа. Могут одновременно понизиться вязкость, эффективность действия присадок, повыситься коррозионная агрессивность масла и т. д. Достижение указанных предельных значений в моторном масле будет зависеть от состояния двигателя.

С другой стороны, степень загрязнения моторного масла органическими примесями может увеличиваться при повышенном расходе масла, поскольку при доливке свежего в картере образуется больше первичных продуктов окисления нестабильной части масла и быстрее срабатывает присадка. Повышение же расхода масла, исключая утечку его через сальниковые узлы, может быть связано только с изменением технического состояния двигателя с увеличением износа сопряжений ЦПГ и КШМ.

Таким образом, основные показатели моторного масла и их изменение не связаны со временем пребывания их в картере, а зависят от интенсивности старения, накопления продуктов изнашивания вследствие изменения технического состояния двига-

теля, эффективности работы очистки масла и воздуха. Продукты изнашивания в свою очередь находятся в прямой зависимости от специфики условий эксплуатации и уровня технического обслуживания.

При большей вместимости картера физико-химические превращения менее интенсивны, что позволяет увеличить время работы моторного масла до замены. Данное положение согласуется с теоретическими и экспериментальными исследованиями других авторов.

Относительно новым, но получающим все более широкое распространение направлением в диагностике двигателей является метод планового отбора проб масла из картера и отложений из ротора масляной центрифуги (РМЦ) с последующими спектральным анализом и оценкой физико-химических свойств масел с целью определения технического состояния и прогнозирования ресурса двигателей и деталей. Анализ работ [7, 11, 21, 23] позволяет констатировать, что метод дает возможность не только оценивать интенсивность изнашивания основных двигателей, но и выявлять причины, вызывающие изменение технического состояния (нарушения в работе систем очистки воздуха и масла, разбавления масла топливом, попадание воды и т. д.), и оперативно устранять их. Своевременное обнаружение неисправностей способствует повышению надежности двигателей.

Диагностика двигателей данным методом не требует остановки трактора, следовательно, и затрат рабочего времени смены. Универсальность метода заключается в том, что по одной пробе можно судить о состоянии большой группы узлов, деталей, систем моторного масла.

Для определения содержания продуктов износа в маслах используют следующие методы анализа: радиоактивных изотопов, нейтронной активации масла, полярографический и спектральный. Первые три метода обладают высокой чувствительностью, однако из-за трудоемкости и сложности они не получили практического применения. В частности, полярографический метод для экспресс-диагностики сложен ввиду большой трудоемкости проведения анализа и использования ртути в качестве капельного электрода.

Наиболее простым и быстрым является калориметрический метод определения железа в смазочном масле. Однако он имеет низкую чувствительность, поэтому может применяться только при относительно больших концентрациях железа в масле. Кроме того, метод позволяет определить в пробах только один металл. В настоящее время разработан вариант калориметрического метода, позволяющий определить, кроме железа, концентрацию меди и алюминия. Существенным недостатком метода является зависимость результатов анализа от субъективных факторов (ква-

лификация лаборанта), а также интенсивности окраски раствора от температуры.

Спектральный анализ продуктов износа в масле имеет ряд преимуществ: высокую чувствительность и производительность, а также универсальность, которая заключается в возможности дифференцированной оценки износа отдельных групп деталей двигателя и его технического состояния в целом.

Спектральный анализ — физический метод качественного и количественного исследования состава вещества. Принцип действия всех спектральных приборов основан на том, что волны различной длины при прохождении через прибор пространственно разделяются. Наиболее часто применяемые при исследовании работавших масел эмиссионные виды спектрального анализа основаны на изучении спектров испускания. Благодаря совершенствованию методов спектрального анализа чувствительность повысилась с 10^{-3} до 10^{-4} — 10^{-6} , а продолжительность аналитического определения не превышает 3—5 мин. Преимущества спектрального анализа определили целесообразность его использования в настоящих исследованиях.

Методы спектрального анализа делятся на две группы. К первой группе относятся методы, предусматривающие предварительное озоление пробы и последующий анализ зоны, ко второй — методы непосредственно анализа жидкой пробы масла или отложений. Обзор этих методов пути совершенствования достаточно полно изложен в отечественной литературе, поэтому ограничимся их краткой характеристикой применительно к условиям проведения данных исследований.

Методы первой группы, получившие первоначально наибольшее распространение, применяют, главным образом, при анализе проб отложений с РМЦ. Спектральный анализ проводят по методике, которая предусматривает озоление навески отложений с РМЦ в количестве 5—10 г, взятой по всей высоте ротора, обогащение золы графитом и фтористым литием, сжигание ее в дуге переменного тока при помощи угольных электродов с кратером для пробы. Среднеквадратичная погрешность анализа не превышает 8—10% и в основном обусловлена нестабильностью источника возбуждения спектра.

Косвенные методы обеспечивают высокую чувствительность определения всех элементов в пробе и являются универсальными, поскольку позволяют анализировать масла, нагары, отложения на фильтрах. Состав отложений с РМЦ часто дает значительно больше информации о техническом состоянии и режиме работы двигателя, чем анализ работавшего масла, поэтому, по нашему мнению, косвенные методы позволяют обеспечить получение достоверных результатов.

Спектральный анализ с озолением пробы получил широкое

распространение при оценке износа двигателей без разборки в условиях стендовых испытаний. Однако следует отметить большую трудоемкость подготовки проб к анализу, что лишает метод экспрессивности. Прямые методы анализа жидкой пробы масла лишены отмеченных недостатков, поэтому вытесняют из практики эксплуатации двигателей косвенные методы. Наибольшее распространение среди прямых методов нашел метод вращающегося дискового электрода, который используется при спектральном анализе масел. Метод обладает достаточно высокой чувствительностью и прост, производительность анализа в 3—5 раз выше по сравнению с методом озоления.

Отметим, что именно развитие метода вращающегося дискового электрода позволило применить спектральный анализ для диагностики большого числа тепловозных и автомобильных двигателей в эксплуатации. Широкое распространение получает методика спектрального анализа ГОСНИТИ на отечественном спектрографе МФС-3. Для нее характерна высокая производительность, достаточная для оперативного применения в условиях эксплуатации. Метод имеет высокую чувствительность: для железа, свинца, кремния — 0,0001%; алюминия, меди — 0,00005%.

Оперативный контроль уровня концентрации продуктов износа и загрязнения методом спектрального анализа позволил обоснованно определить режимы эффективного использования масел при эксплуатации автотракторной техники.

С постановкой на двигатели автомобилей и тракторов фильтров тонкой очистки, полнопоточных фильтров и центрифуг выявилась возможность увеличения сроков смены моторного масла с одновременным повышением надежности и долговечности двигателей. Сроки смены масла определяли в основном по изменению вязкости, кислотного числа, содержания механических примесей. Однако исследования показали, что физико-химические свойства не могут объективно характеризовать не только работавшее, но даже и свежее масло, поэтому дополнительно с этими анализами изучали износы двигателей и их основных элементов.

Появление высококачественных моторных масел с эффективными комплексами присадок сделало неприемлемыми старые методы исследований. Стало очевидным, что отдельные показатели качества моторного масла, даже такие важные, как срабатываемость присадки, дисперсность, стабильность вязкости и кислотное число, не могут в полной мере отражать сложные процессы взаимодействия системы масло—двигатель и получать объективные данные о работоспособности масла в эксплуатации.

При оценке режимов специальных методов исследования физико-химические явления, происходящие в масле при его работе в двигателе, довольно сложны, и отдельные показатели пригодны, главным образом, для контроля за правильностью технологиче-

ских процессов производства масел. Поэтому старение масел и сроки их смены необходимо определять на основе комплексных показателей, учитывающих влияние на надежность и долговечность двигателя. Такими показателями масел являются их эксплуатационные свойства, получаемые на основании комплекса параметров качества, каждый из которых может характеризовать определенные функциональные свойства. Под эксплуатационными свойствами масел следует понимать совокупность физико-химических и функциональных показателей, которые определяют влияние масел на основные эксплуатационные показатели автомобиля, трактора — надежность двигателя и себестоимость работ, определяемые непосредственно эксплуатационными испытаниями масел на достаточном количестве объектов или расчетов, если известна зависимость этих свойств от функциональных или физико-химических показателей масла.

Следует выделить следующие критерии, по которым оценивают эксплуатационные свойства масел: долговечность и надежность двигателя (износ основных деталей, загрязненность ЦПГ, подвижность колец), экономичность (расход топлива и масла), физико-химические показатели работавшего масла. Эти критерии приняты большинством исследователей и введены в типовые методики. Аналогичная характеристика и критерии оценки эксплуатационных свойств приведены в работах [7, 9, 10, 21, 24].

При определении качества моторных масел необходима надежная оценка эксплуатационных и технических свойств, методы исследования которых можно разделить на прямые и косвенные (рис. 9). К косвенным относятся методы определения физико-химических свойств моторных масел, а также их состава. Однако в настоящее время отсутствует единое мнение об оптимальном выборе и весомости физико-химических показателей работавших масел. В основном анализируют изменения показателей, приводимых в паспорте масла.

Прямую оценку эксплуатационных и технических свойств моторного масла можно получить с помощью квалификационных методов и различного рода стендовых и эксплуатационных испытаний.

Квалификационные методы позволяют достаточно быстро оценивать какое-либо эксплуатационное или техническое свойство нефтепродукта с помощью стандартного набора методов и установок. Эксплуатационные испытания предусматривают наиболее полную и достоверную оценку всех функциональных свойств. В то же время они не лишены недостатков. В первую очередь — это большие длительность и трудоемкость: необходимость использования ресурса изделий и достаточного числа испытуемой техники. В настоящее время методы исследования эксплуатационных свойств масел совершенствуются в направлении сокращения

общей трудоемкости, главное, продолжительности эксплуатационных испытаний за счет применения более совершенных методов, средств исследований и обработки полученных данных. Указанные недостатки можно в большей или меньшей степени

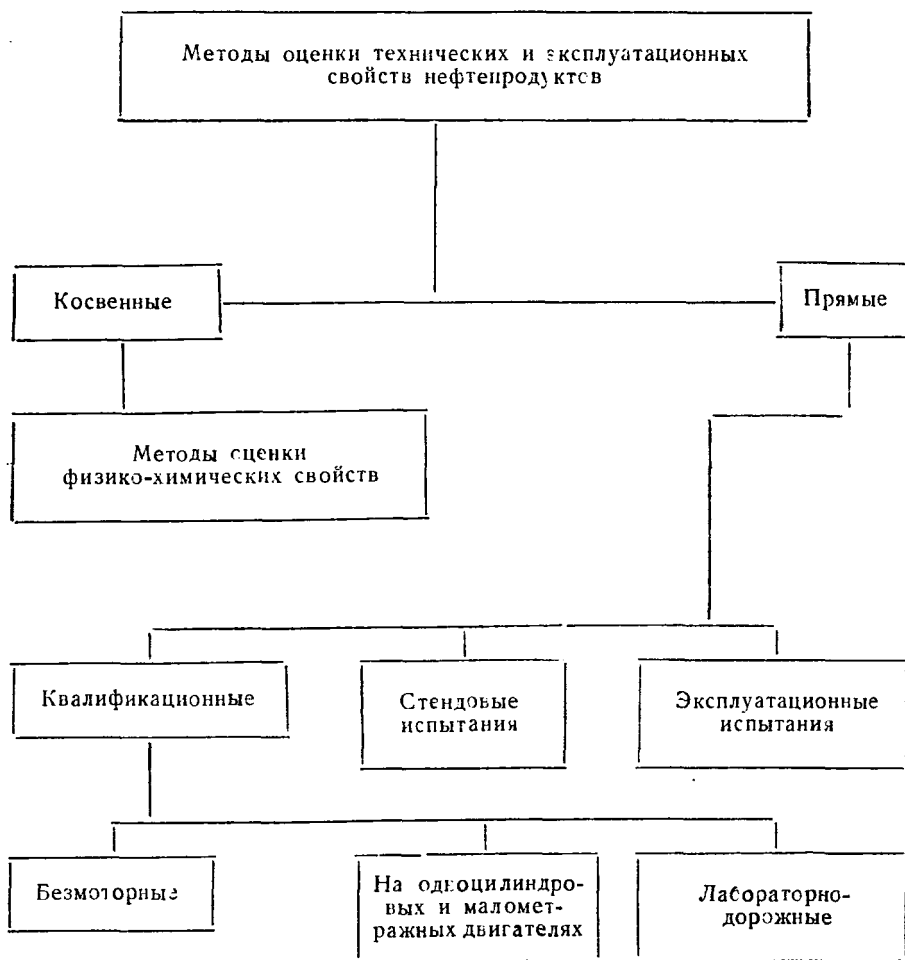


Рис. 9. Методы оценки эксплуатационных и технических свойств масел

нейтрализовать отработкой методики эксплуатационных испытаний (тщательный подбор двигателей в группы в зависимости от технического состояния, наблюдение за ними), применением совершенного оборудования для анализа и обоснованного комплекса лабораторных методов исследования физико-химических

показателей. При этом метод планового отбора проб и оценки качественных показателей эксплуатационных свойств моторных масел, на наш взгляд, будет способствовать дальнейшему внедрению комплексной системы управления качеством масел в процессе эксплуатации ДВС.

Надежность и долговечность работы двигателей в значительной степени связаны с качеством используемых моторных масел. Моюще-диспергирующие, противоизносные, антикоррозионные, вязкостно-температурные свойства масел определяют интенсивность загрязнения деталей цилиндра-поршневой группы нагарами и лаками, темп накопления низкотемпературных отложений (шламов), интенсивность изнашивания трущихся сопряжений.

В свою очередь, скорость происходящих с маслами изменений в процессе работы при прочих равных условиях зависит от технического состояния двигателей. Как правило, ухудшение технического состояния вызывает рост температурной и механической нагруженности, увеличение прорыва газов в картер (повышение воздействия продуктов неполного сгорания топлива и коррозионно агрессивных продуктов сгорания серы), что приводит к интенсификации процессов старения масел (накопление нерастворимых загрязнений, продуктов окисления углеводородов, минеральных кислот, рост вязкости) и срабатывания присадок (снижение щелочного числа, зольности, ухудшение моюще-диспергирующих, противоизносных и других функциональных свойств).

Таким образом, анализ составляющих позволяет прогнозировать поведение и оценивать состояние системы масло — двигатель в целом. Очевидно, что адекватный анализ интенсивности процессов старения масла и срабатывания присадок позволяет судить о качестве работы топливоподающей аппаратуры и организации процесса сгорания в целом, величине прорыва газов в картер. Информация о накоплении металлов — продуктов износа в масле и отложениях дает возможность оценивать интенсивность изнашивания как двигателя в целом, так и его отдельных узлов, агрегатов, сопряжений.

Рост степени использования мощности двигателя при проведении уборки хлопка приводит к повышению температуры деталей и расхода масла. Это вызывает интенсификацию процессов старения масла во всех группах двигателей. Особенно значительно увеличивается темп накопления нерастворимых в масле соединений. Этот рост происходит тем быстрее, чем больше наработка двигателя.

Концентрация железа характеризует износ деталей двигателя в целом. Очевидно, что в процессе посева и культивации хлопчатника интенсивность изнашивания невысока и мало меняется с ростом наработки двигателя. На уборке хлопка рост температурных и механических нагрузок вызывает ускорение износа.

Медь является продуктом износа, главным образом, втулок механизма газораспределения. Ее концентрация существенно меньше, чем железа, но отмеченные закономерности сохраняются. Поэтому для диагностики достаточно использовать только изменение концентрации железа [17, 19].

Метод определения железа в масле заключается в оценке износа чугунных и стальных деталей по увеличению концентрации железа в моторном масле двигателя. Продукты износа деталей в виде мельчайших частиц металла, не улавливаемых системой очистки, и других соединений металлов с активными компонентами масла удаляются из сопряжений и циркулируют с маслом по системе смазки. При нормальной работе сопряжения (достаточная смазка, отсутствие задиров и заеданий) количество продуктов износа в масле возрастает пропорционально величине износа деталей. Изменение концентрации железа в масле соответствует изменению скорости изнашивания деталей за период испытаний. При известном объеме масла в системе смазки по изменению концентрации продуктов износа можно определить общее количество железа, снятого со всех трущихся поверхностей деталей двигателя за время работы.

Метод железа в масле не требует разборки сопряжений и специальной подготовки двигателя к испытаниям. Из системы смазки периодически отбирают пробу масла и с помощью различных методов определяют содержание железных продуктов износа. В некоторых случаях пробу берут из отложений в фильтрах очистки масла. Для сокращения продолжительности испытаний двигателя иногда исключают очистку масла и уменьшают количество масла в картере до минимально допустимого уровня.

Содержание железа в пробе масла определяют калориметрическим или полярографическим методом. При калориметрическом методе анализа пробу работающего масла озольют и обрабатывают соляной кислотой до полного растворения железа. Затем добавляют 10%-ный раствор аммиака (до щелочной реакции), 2—3 мл сульфосалициловой кислоты и до определенного объема дистиллированную воду. После тщательного перемешивания и отстаивания в течение суток раствор железа в присутствии сульфосалициловой кислоты окрашивается от желтого до красно-коричневого цвета, в зависимости от количества железа в пробе. Полученный раствор сравнивают с эталонными растворами (6—8 образцов с различной концентрацией железа). Калориметрирование (сравнение) производят визуально или на фотокалориметрах ФЭК-М, ФЭКН-57, ФЭК-51 и др. Фотометрический метод позволяет определить содержание микропримесей компонентов до 10^{-3} — 10^{-4} , при этом ошибки измерений могут составлять менее 1%, тогда как при визуальном калориметрировании ошибки достигают 15—20%.

Количество железа в масле можно определить также по изменению магнитной восприимчивости пробы, в которой содержатся ферромагнитные продукты износа чугунных и стальных деталей. Для этого пробу с пробой 15 мл масла подвешивают к чашке аналитических весов (АДВ-200) и уравнивают, а затем помещают ее в постоянное магнитное поле двух подковообразных магнитов. Усилие взаимодействия магнитного поля с продуктами износа пропорционально количеству ферромагнитных частиц и определяет содержание железа в масле. Уравнивание весов без магнитного поля и помещение пробирки в магнитное поле обеспечивается поворачиванием магнитов относительно оси: при одном фиксированном положении магнитов пробирка находится вне магнитного поля, при другом — в его центре.

Существенный недостаток метода определения железа в масле в том, что он интегральный и позволяет установить лишь суммарный весовой износ или скорость изнашивания всех стальных и чугунных деталей двигателя. С его помощью невозможно контролировать износ одной детали или распределение износа по рабочей поверхности. Поэтому метод оценки износа, основанный на изменении концентрации железа в работающем масле, применяется только как дополнение к другим методам, например, микрометрированию или взвешиванию, и не противопоставляется им.

Метод спектрального анализа, широко применяющийся для оценки и контроля износа деталей машин, также основан на определении концентрации продуктов износа в пробах работающего масла. Преимущество спектрального метода по сравнению с другими в том, что современные экспрессивные методы спектрального анализа позволяют определять содержание 10—20 и более элементов в пробе, свидетельствующих об износе различных деталей. Так, по содержанию железа контролируют износ гильз цилиндров, по хрому — верхних поршневых колец, по алюминию — поршней, по свинцу — вкладышей подшипников коленчатого вала. По содержанию кремния можно судить о состоянии воздухоочистителя.

Содержание в пробе масла определяют по интенсивности линий видимой части спектра, возбужденного с помощью горячих источников — дуги, искры, пламени, т. е. метод основан на общих принципах эмиссионной спектроскопии. Пробу масла в озолонном состоянии сжигают и спектр пламени регистрируют фотографированием на фотопластинку или фотоземлементами квантометра. Анализируя полученный спектр по составу элементов и сравнивая интенсивность линий с линиями спектра эталонных растворов элементов, определяют концентрацию свидетелей износа в пробе масла. Спектральный анализ выполняют на спектрографах ДФС-10, ИСП-22, ИСП-28 (30) или с помощью фото-

электрических установок МФС-2, МФС-3, предназначенных для экспрессивного анализа масел.

Точность спектрального анализа, оцениваемая относительной ошибкой измерений содержаний элемента, растет с понижением концентрации элементов в пробе, что позволяет сократить продолжительность испытаний деталей на износостойкость. Погрешность измерений, выполняемых при массовом анализе, находится в пределах 3—12%, и только при очень малых концентрациях определяемых элементов (10^{-3} — 10^{-5} %) ошибка может достигать 20% и более. Чувствительность спектрального анализа — наименьшее количество вещества, которое может быть определено в пробе, выше чувствительности химического (колориметрического) метода и составляет 10^{-4} — 10^{-6} %.

Таблица 14

Допустимое содержание элементов износа в моторном масле двигателей тракторов, г/т

| Марка двигателя | Железо | Кремний | Алюминий | Медь | Хром |
|--|--------|---------|----------|------|------|
| ЯМЗ-240Б, ЯМЗ-238Б, СМД-62, Д-130, Д-108 | 150 | 70 | 60 | 40 | 10 |
| А-01, А-01М, А-41 | 130 | 70 | 40 | 30 | 10 |
| Д-240, СМД-14, Д-65Н, Д-54 | | | | | |
| Д-50, Д-48М, Д-37М, Д-37Е | 110 | 70 | 30 | 10 | 10 |

Примечание. Допустимое содержание воды в масле—0,1%, предельное—0,5%. Температура вспышки масла номинальная—200°С, а при наличии в нем топлива—не ниже 175°С.

Трудоемкость и стоимость спектрального анализа проб значительно ниже, чем при использовании химических методов. При этом для анализа требуется небольшое количество масла (30—40 мл).

Спектральный анализ широко применяют для контроля моторных масел и диагностирования технического состояния двигателей при техническом обслуживании и текущем ремонте в условиях эксплуатации железнодорожного транспорта и сельскохозяйственных тракторов. Пробы масел из системы смазки отбирают через 50—100 мото-ч работы двигателя и анализируют за 2—3 дня до технического обслуживания или осмотра. Содержание свидетелей износа в пробе не должно превышать предельно допустимых значений (табл. 14). Повышенная концентрация в масле того или иного элемента указывает на интенсивный износ тех деталей, в материал которых входит этот свидетель, и на необходимость устранения причин, вызывающих интенсивный износ деталей, путем технического обслуживания или ремонта сопряжений.

Качество масел оценивают по содержанию в них бария, молибдена и других элементов, входящих в состав присадок. При уменьшении концентрации этих элементов ниже допустимой в масло добавляют свежую присадку или производят замену моторного масла.

Следует учитывать, что результаты спектрального анализа позволяют установить лишь скорость изнашивания нескольких однотипных деталей в зависимости от условий и режимов работы двигателя. Определение расчетом линейного износа отдельных деталей в зависимости от условий и режимов работы двигателя связано с различными допущениями, которые могут привести к необоснованным выводам. Износ конкретной детали или участка ее рабочей поверхности можно оценить методом вставок-свидетелей из металлов, не применяемых в машиностроении, например из серебра, обладающего высокой спектральной чувствительностью.

В связи с тем, что автотракторные двигатели различного назначения и форсировки эксплуатируют в самых разнообразных климатических условиях и в широких пределах нагрузочных и скоростных режимов, для обеспечения их работоспособности выпускают 49 марок моторных масел с различными физико-химическими и эксплуатационными свойствами. В соответствии с классификацией по ГОСТ 17479-72 все масла, предназначенные для двигателей внутреннего сгорания, например М-43/8В₁, обозначены буквой М (моторные).

Качество работавшего моторного масла в условиях эксплуатации достаточно подробно и достоверно оценивают с помощью спектрального и химических методов анализа в лаборатории спектрального анализа.

При проведении посева и культивации интенсивность поступления кремния из окружающего воздуха невелика, но резко возрастает при выполнении уборочных работ. С увеличением степени изношенности двигателя в связи с ростом зазоров в цилиндропоршневой группе и других сопряжениях скорость поступления кремния значительно возрастает.

На практике износ большинства деталей, в частности ЦПГ и КШМ, двигателя чаще всего подчиняется закону нормального распределения, плотность которого имеет вид

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \cdot \exp \left[-\frac{(X_i - \bar{X})^2}{2\sigma^2} \right],$$

где \bar{X} — математическое ожидание (истинное значение опытной среднеарифметической величины);

σ — среднеквадратичное отклонение.

Тогда число объектов при нормальном законе распределения определяется [77] по формуле

$$n = \frac{t_p^2 v^2}{\epsilon^2},$$

где t_p — нормированное отклонение, зависящее от доверительной вероятности p ;
 v — коэффициент вариации;
 ϵ — относительная точность.

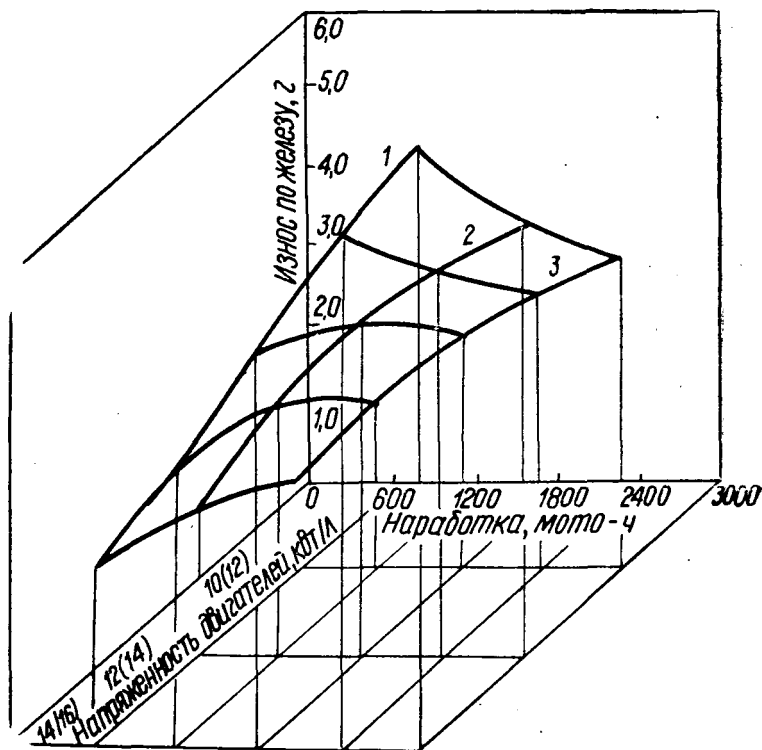


Рис. 10. Зависимость износа от степени форсирования и наработки двигателей:

1 — Д-240; 2 — Д-144; 3 — Д-37Е

Минимальное число объектов, обеспечивающее заданную точность, зависит от точности ϵ , коэффициента вариации v , доверительной вероятности p , а также от числа наблюдаемых объектов. Поэтому формулу можно представить в виде

$$\frac{t_p}{\sqrt{n}} = \frac{\epsilon}{v}.$$

Разделив заданную точность ϵ на коэффициент вариации ν и воспользовавшись значениями t_p/n для различных доверительных вероятностей и значений n от 5 до 31 [26], найдем необходимое количество наблюдений.

Определяя содержание в масле и отложениях РМЦ отдельных металлов, можно оценить динамику износа определенных трущихся сопряжений (рис. 10). Исследованиями установлено значение износа двигателей Д-37Е, Д-144, Д-240 по железу в зависимости от напряженности и наработки (табл. 15). В трактор-

Таблица 15

Значение износа двигателей Д-37Е, Д-144, Д-240 по железу в зависимости от напряженности и наработки

| Марка двигателя | Напряженность двигателя, кВт/л (л.с./л) | Нарботка двигателей, мото-ч | Износ по железу, г |
|-----------------|---|-----------------------------|--------------------|
| Д-37Е | 8 (12) | 500—600 | 0,82 |
| | | 1100—1200 | 2,14 |
| | | 1600—1700 | 2,96 |
| | | 2300—2400 | 3,47 |
| | | 2900—3000 | 3,98 |
| Д-144 | 10 (14) | 500—600 | 1,89 |
| | | 1100—1200 | 2,21 |
| | | 1600—1700 | 4,22 |
| | | 2300—2400 | 4,85 |
| | | 2900—3000 | 5,55 |
| Д-240 | 12 (16) | 500—600 | 2,26 |
| | | 1100—1200 | 3,27 |
| | | 1600—1700 | 5,94 |
| | | 2300—2400 | 6,48 |
| | | 2900—3000 | 7,68 |

ных дизелях около 85% железа попадает в масло в результате износа цилиндров и колец, из них примерно 40% — зеркала цилиндров. Рост концентрации меди является признаком износа подшипников из свинцовистой бронзы, поскольку постушение данного элемента из втулок поршневого пальца в этом случае будет существенно меньше. Накопление кремния является следствием нарушения работы воздушного фильтра и масляной центрифуги.

Износ трущихся поверхностей определяется по формуле

$$\sum Me = Q_2 l_2 - Q_1 l_1 + (Q_1 - Q_2) \frac{l_1 + l_2}{2} - q_e l_1 + q_n l_2 + q_0 l_0,$$

где $\sum Me$ — общее количество металла, снятого за цикл испытаний, г;

Q_1, Q_2 — начальное и конечное количество масла в двигателе за цикл, г;

l_1, l_2 — начальная и конечная концентрация металла в масле, г/г;

q_e — количество масла, долитого в двигатель;

q_n — количество масла, взятого с пробами, г;

q_0 — масса отложений в РМЦ, г;

l_0 — концентрация металла в отложениях с РМЦ, г/г.

При исследовании случайных процессов необходимо учитывать законы их распределения. Согласно теоретического и эмпирического распределений устанавливается по критерию χ^2 Пуассона. Для этого определяется мера расхождения χ^2 и число степеней свободы z , по которым с помощью специальных таблиц находят вероятность того, что величина, имеющая указанное распределение и число степеней свободы, превзойдет данное значение χ^2 . Если эта вероятность менее 0,1, то гипотеза о выборе теоретической кривой распределения неоправдана и выбирают более соответствующую.

Построение гистограммы распределения и теоретического распределения для выборки экспериментальных данных с наибольшей плотностью используют для определения предельно допустимых показателей. При достаточно большой статистической выборке изменение показателей качества масел будет однозначно характеризовать техническое состояние отдельных систем двигателя. В этом случае показатели качества масла могут иметь разброс в пределах статистической закономерности, описываемой теоретическим законом, а для двигателей с недопустимо ухудшенным техническим состоянием эти показатели будут находиться за пределами разброса.

При определении предельно допустимого значения устанавливают интервал ΔX :

$$\Delta X = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{1 + 3,3 \lg n},$$

где R_{\max} , R_{\min} — верхний и нижний пределы значений выборки;
 n — число опытных данных, находящихся в выборке значений от R_{\min} до R_{\max} .

Гистограммы строят для всей выборки экспериментальных данных. Теоретическое распределение проверяют по критерию Пирсона.

Надежность работы двигателей определяет эффективность использования тракторов и хлопкоуборочных машин в целом. Неоправданные разборки и ремонт двигателей приводят к тому, что ресурс основных деталей используется не более, чем на 80%, а цилиндропоршневой группы — в ряде случаев не превышает 30%. В результате неоправданно завышаются материальные и

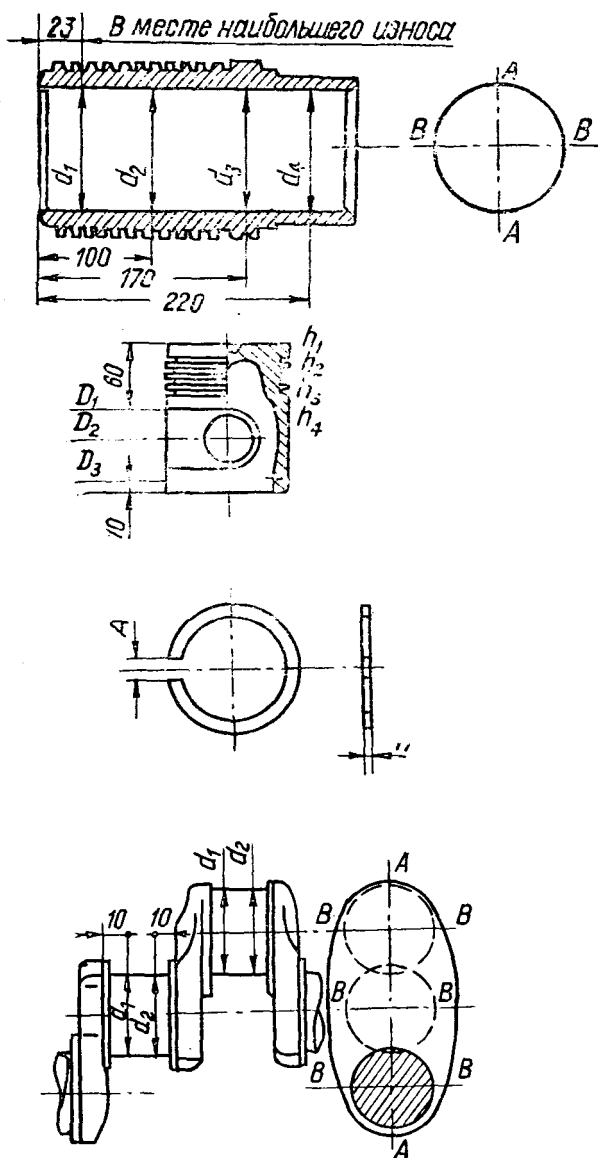


Рис. 11. Схема микрометража деталей двигателей

трудовые затраты на ремонт, растет расход запасных частей.

С другой стороны, при недопустимо высоком износе таких сопряжений двигателя, как цилиндропоршневая группа, ухудшается процесс сгорания, снижаются мощностные и экономические показатели работы, возможны перебои и отказы. Очевидно, что необходимы надежные способы безразборной оценки реального технического состояния дизелей.

Широко используемые при оценке технического состояния косвенные показатели (наработка в моточасах, выработка или расход топлива) не отражают фактического состояния узлов и механизмов двигателей. Объективную оценку можно получить только оценивая при диагностировании выходные параметры. Одним из таких показателей является угар моторного масла, который в отличие от расхода топлива зависит не столько от загрузки двигателя, сколько от состояния цилиндропоршневой группы. Кроме того, расход масла на угар является важным показателем, характеризующим экономичность работы двигателя, и в ряде случаев определяет целесообразность его дальнейшей эксплуатации. Вместе с тем расход масла может адекватно характеризовать техническое состояние двигателей только при условии постоянного учета условий эксплуатации, теплового и нагрузочного режимов, своевременного проведения технического обслуживания и замены моторного масла.

Зависимость износа от наработки двигателей практически одинакова для всех исследуемых тракторов (рис. 11). Однако меньшая температурная напряженность и механическая нагруженность Д-37Е трактора Т-28Х4 по сравнению с Д-144 приводит к снижению абсолютного износа. Наоборот, для более форсированного двигателя Д-240 трактора МГЗ-80 характерна интенсификация износа при сохранении общих закономерностей.

эллиптичности при сохранении нагрузки минимальная толщина пленки уменьшается.

5. С увеличением рабочего давления коэффициенты теплообмена возрастают как при отсутствии, так и при наличии смазки. На поддержание нормального теплового режима работы узла трения основное влияние оказывает отвод тепла, а на предотвращение заклинивания — величина зазора, размер абразивных частиц, их ориентация в материале и зазоре.

6. На механизм протекания граничного трения значительно влияет эффект, заключающийся в адсорбционном понижении прочности поверхностного слоя. Это приводит к значительному облегчению процесса контактного деформирования.

Толщина и свойства пластифицированного слоя зависят от адсорбционной активности смазочной среды, природы поверхностных слоев деформированного металла и напряженного состояния в этих слоях.

7. Модифицирование трения является процессом, осуществляемым при граничной смазке.

В большинстве случаев при граничном трении снижение износа и предотвращение задиров эффективно обеспечивается противозносными и противозадирными присадками, которые образуют на трущихся поверхностях прочные пленки из химически активных компонентов присадки и металла.

Одной из характеристик, необходимых для расчета как коэффициента трения, так и интенсивности изнашивания, является упругая постоянная Кирхгофа θ , связывающая коэффициент

Пуассона μ и модуль упругости E соотношением $\theta = \frac{1-\mu^2}{E} \times$ ($\mu=0,36 \div 0,38$). Износ является самым важным показателем для оценки поведения испытываемых масел.

8. Адсорбированный слой и поверхность металла можно рассматривать как обкладки заряженного конденсатора. Создаваемая на нем разность потенциалов поднимает все уровни электронов внутри металла и уменьшает работу выхода. Самоокисление, полимеризация, поликонденсация в смазке приводит к накоплению в ней веществ, вызывающих коррозию металлов.

9. Если представить отношение вместимости масляной системы к мощности двигателя как удельную маслосъемность, а отношение мощности двигателя к подаче масляного насоса как коэффициент маслоснапряженности, эти значения для основных марок тракторных дизелей следующие:

СМД-14 А-01м А-41 Д-37м Д-50 Д-144 Д-240 ЯМЗ-240Б СМД-60 СМД-62

Удельная
маслосъем-
ность,
л/кВт

0,38 0,33 0,33 0,3 0,30 0,22 0,21 0,19 0,18 0,16

Коэффициент
масло-
напряжен-
ности,

кВт/л·мин 0,2 3,19 2,21 0,8 1,61 1,16 1,64 1,69 1,58 1,37

В условиях жаркого климата температура тракторных гидросистем составляет порядка 90—100°C, возникают частые отказы и аварии, 75% из них можно отнести за счет неправильного подбора и использования жидкостей.

10. Перспективные моторные масла должны сохранять стабильность при высоких температурах, которые свойственны ДВС с наддувом. В эти масла добавляют вещества, повышающие вязкость, что способствует созданию смазочной пленки на поверхности деталей, выдерживающих температуру до 200°C.

11. Отработанные масла содержат высокоядовитые диоксины и фураны, поэтому необходима проверка старого масла на токсичность — после регенерации.

12. Из существующих в природе более 150 тыс. видов микроорганизмов около 200 способны значительно ухудшать свойства смазочных материалов. Масла на минеральной основе, устойчивые к воздействию микроорганизмов, отсутствуют. Процесс деградации масел микроорганизмами значительно ускоряется при попадании в них воды.

13. Теоретически и экспериментально показана возможность решения задач динамики гидроприводов с учетом химмотологии смазочных материалов. Разработан алгоритм расчета, проведены многовариантные расчеты переходных процессов на ЭЦВМ, а также качественная оценка влияния ряда конструктивных и химмотологических параметров на трение и износ исследуемых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXVII съезда КПСС. М.: Политиздат. 1986.
2. Материалы майского (1982 г.) Пленума ЦК КПСС. Продовольственная программа СССР на период до 1990 года//Правда. 1982. 27—28 мая.
3. Аронов Д. М., Мосихин Е. П. Об оценке эксплуатационных свойств моторных масел//НИИАТ. Вып. 5. М.: Транспорт, 1968. С. 44—48.
4. Бельских В. И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов. М.: Колос, 1973. 459 с.
5. Венцель С. В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. М.: Химия, 1969. 228 с.
6. Венцель С. В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания. Киев: Техника. 1977. 207 с.
7. Геленов А. Особенности технической эксплуатации машинно-тракторного парка в хлопководстве. Ашхабад: Ёлым, 1977. 60 с.

7. Фленов А., Левшанов Г. Г., Шилин В. А. Исследование основных характеристик пылевого облака и влияния их на состояние узлов двигателей//Механизация хлопководства. 1981. № 1. С. 19—20.
9. Герасимович Г. Г. Исследование взаимосвязи физико-химических показателей моторного масла и технического состояния двигателей Д-50 трактора Т-54В: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. Кишинев. 1974. 22 с.
10. Ждановский Н. С., Николаенко А. В. и др. Диагностика автотракторных двигателей. Л.: Колос. 1977. 264 с.
11. Итинская Н. И. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости/2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос. 1974. 352 с.
12. Итинская Н. И., Кузнецов Н. А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. М.: Колос. 1982. 208 с.
13. Кадыров С. М., Никитин С. Е. Рабочий процесс и эксплуатация дизелей в условиях Средней Азии. Ташкент: Узбекистан. 1976. 148 с.
14. Кадыров С. М. Повышение топливно-энергетических и ресурсных показателей дизелей мобильных сельскохозяйственных машин в условиях высоких температур и запыленности воздуха: Дис. ...докт. техн. наук. Л. Пушкин. 1984. 295 с.
15. Кюрегян С. К. Оценка износа двигателей внутреннего сгорания методом спектрального анализа. М.: Машиностроение. 1966. 151 с.
16. Лебедев О. В., Абзалов П. Н. Определение содержания воздуха в рабочих жидкостях гидросистем тракторов//Химия и технология топлив и масел. 1985. № 7. С. 27—30.
17. Лебедев О. В., Абзалов П. Н. Кинетика окислительных процессов в гидросистемах мобильных машин//Материалы международной научной конференции: Трение, износ и смазочные материалы. М. 1985.
18. Левшанов Г. Г. Исследование эксплуатационной оценки качественного состояния моторного масла для оптимизации срока и его использования: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. Ашхабад, 1980. 17 с.
19. Лышко Г. П. Исследование закономерностей изменения качества моторных масел у двигателя тракторов и совершенствование режимов их использования: Автореф. дисс. ...докт. техн. наук. М. 1968. 56 с.
20. Лышко Г. П. Предупредительное диагностирование при эксплуатации тракторов//Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1981. № 9. С. 45—47.
21. Мирошников Л. В., Болдин А. П., Пак В. И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М.: Транспорт, 1977. 263 с.
22. Остапенко А., Волков С. Определение угара масла ускоренным методом//Тракторы и сельхозмашины, 1974. № 10. С. 66—67.
23. Разработка методов ускоренных испытаний тракторных двигателей на абразивное изнашивание. М.: ОНТИ-НАТИ, 1958. 160 с.
24. Трение, изнашивание и смазка/Под. ред. И. В. Крагельского и В. В. Алишина. В 2-х кн. М.: Машиностроение. 1979. С. 358—400.
25. Шилин В. А. Исследование оптимизации режима технического обслуживания двигателя трактора Т-4 в условиях Туркменской ССР: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. Ашхабад. 1974. 20 с.
26. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М.: Советское радио. 1968. 284 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Введение | 3 |
| Вопросы гидродинамической теории жидкостной смазки | 5 |
| Масла, применяемые в мобильных сельскохозяйственных машинах | 13 |
| Свойства масел и методы улучшения их качества | 20 |
| Основные свойства масел | 27 |
| Модификаторы трения | 42 |
| Моторные масла, их параметры и характеристики | 45 |
| Гидравлическая жидкость | 56 |
| Регенерация отработанных масел | 62 |
| Стабильность и стойкость смазочных материалов | 69 |
| Влияние смазочных материалов на качество эксплуатации автотракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) | 75 |
| Заключение | 101 |
| Литература | 104 |

1 р. 20 к.

