

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академик» С. П. КОРОЛЕВА

Б. А, У г л о в

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
СВОЙСТВА МАСЕЛ
И НАДЕЖНОСТЬ
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института в
качестве учебного пособия

КУЙБЫШЕВ 1988

Углов Б. А. Эксплуатационные свойства масел и надежность авиационных двигателей: Учебное пособие. — Куйбышев: КуАИ, 1988. — 59 с.

В пособии рассмотрены вопросы истории применения смазочных нефтяных и синтетических масел; присадки к ним и их назначение; условия работы масел в двигателях различных типов. Приводятся марки и основные показатели масел, используемых в гражданской авиации. Даются наиболее важные эксплуатационные свойства и контрольные показатели качества масел, их влияние на работоспособность и надежность двигателей; изменение свойств масел в процессе их работы в двигателях.

Пособие предназначено для студентов старших курсов факультета эксплуатации летательных аппаратов и двигателей, а также может быть полезно студентам специальности «Двигатели летательных аппаратов» и инженерно-техническому составу эксплуатационных и ремонтных подразделений гражданской авиации.

Рецензенты: В. А. Х и т о в, А. А. Т р о ф и м о в

. ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

История применения масел и технике начинается с бронзового века, охватывающего 3000... 1000 лет до нашей эры — человек изобрел колесо и научился делать повозки и колесницы. До 70-х годов XVI11 века (до изобретения паровой машины) смазочные масла использовались в очень небольших количествах.

Первыми маслами для паровых машин были животные жиры (топленые говяжий и свиной) и касторовое масло. В начале XIX века поиск более приемлемых эксплуатационных свойств масел приводит к значительному расширению ассортимента животных жиров — используются бараний, рыбий (дельфиновый), спермацетовый (китовый) и костный жиры. Появляются невысыхающие и нелетучие масла: сурепное, оливковое, соевое, пальмовое, хлопковое, арахисовое и кокосовое. Стоимость животных жиров и растительных масел и их ресурсы обусловили поиски новых смазочных масел.

Впервые минеральные масла появились в России во второй половине XIX века. В это время строились железные дороги, развивалось пароходство, работали ткацкие станки, развивались механические заводы.

Нефтеперегонные заводы того времени, вырабатывая керосин, уничтожали остальные продукты — бензин и остаток (ма-‘ зут), т. е. примерно 80% исходного сырья.

Первыми попытками использования нефтяного сырья были смеси мазута с сурепным (колзовым или рапсовым) маслом или свиным жиром.

В 1867 году в Муроме Владимирской губернии купец Смольяпинов организует выработку масел из нефти. В 1870 году под Керчью в Крыму на заводе промышленника Саханского приступили к производству нефтяных смазочных масел.

Большое влияние на развитие этого направления оказали исследования Д. И. Менделеева и В. В. Марковникова. На основании их работ нефтепромышленник В. И. Рагозин в 1870 году построил в Нижнем Новгороде опытный завод смазочных масел. Нефтяные остатки или бакинская тяжелая нефть пере-

гонялись перегретым паром. Смазочное масло после отстоя очищали серной кислотой и слабым щелоком, промывали водой и закупоривали в бочки.

В 1875 году В. И. Рагозин приступил к строительству в Ба-лахне на Волге первого в мире завода по выработке минеральных масел производительностью 100000 пудов в год. Завод вырабатывал веретенное, машинное, зимнее и летнее вагонные масла. Остаток из перегонного куба использовался в качестве колесной мази вместо дегтя. В 1878 году эти масла привлекли внимание промышленников всего мира на Парижской всемирной выставке.

В Константинове под Ярославлем (1879 год) В. И. Рагозин построил второй завод смазочных масел, предназначенных для вывоза за границу. Этот завод и в настоящее время выпускает высококачественные масла. Научные основы производства масел разрабатывались в лабораториях этого завода, которыми в 1880... 1881 годах руководил Д. И. Менделеев. Масла Рагозина вытеснили с европейских рынков американские масла и широко использовались в Европе, Египте и Америке.

В 1880 году производство масел было организовано в Баку.

Широкому распространению минеральных масел способствовали работы русского ученого Н. П. Петрова и английского ученого Рейнольдса.

Н. П. Петров разработал основы гидродинамической теории смазки, обусловившей правильный подбор масел. Он же теоретически обосновал возможность полной замены растительных масел и животного жира минеральными маслами. В то же время выяснилось, что минеральные масла меньше окисляются в работе и при хранении, менее пожароопасны и агрессивны к металлам и имеют лучшие низкотемпературные свойства.

Улучшение качества масел в дальнейшем происходит за счет новых технологических методов получения и очистки их. Разрабатываются и совершенствуются присадки, улучшающие эксплуатационные свойства масел.

Развитие техники сопровождается новыми требованиями к маслам со значительно более широким температурным диапазоном работы, большими удельными нагрузками и скоростями и др.

В 1873 году А. М. Бутлеров открыл реакцию полимеризации непредельных олефиновых углеводородов в присутствии серной кислоты и фтористого бора, в результате которой получены вязкие маслообразные жидкости. Развитие этих работ привело к разработке технологических процессов получения полимерных углеводородных смазочных масел. Реакция является управляемой: изменяя условия процесса и ввода в реакцию различных олефинов, можно придавать маслу желаемые свойства.

Получение синтетических масел в заводском масштабе в нашей стране было осуществлено в 1932 году. По многим своим свойствам они превосходили минеральные масла.

Во время второй мировой войны углеводородные полимерные масла в больших количествах начинают вырабатываться в Германии, затем Франции, США.

Заслуга получения первого синтетического жира путем нагревания трехатомного спирта (глицерина) с жирными карбоновыми кислотами принадлежит французскому ученому Бертло (1854 год). Большую роль в разработке дизельных масел сыграли немецкие химики после Сталинградской зимы 1941... 1942 года.

В 1943 году в США появляются промышленные партии полигликолевых масел, а в 1947 году — первое дизельное масло для ГТД.

В последние годы ведутся интенсивные работы по созданию синтетических неуглеводородных масел, из которых наибольший интерес представляют масла на основе сложных эфиров, поли* алкиленгликолевые, полисилоксановые фторуглеродные и хлорфтору глеродные. В то же время продолжают работы по совершенствованию и созданию новых присадок, улучшающих свойства эксплуатируемых масел, в том числе с комплексными свойствами.

2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СМАЗЫВАЮЩЕЙ СРЕДЫ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

2.1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

В основе явлений всех видов трения твердых тел лежат атомные (электромагнитные) взаимодействия. Они осуществляются па расстояниях от десятков тысяч до долей ангстрема. На этом интервале расстояний при постепенном сближении твердых тел изменяются как физические категории действующих сил, так и законы их изменения.

Силовое поле, создаваемое атомами поверхностного слоя, обладает высокой адсорбционной способностью. Под влиянием адсорбирующихся поверхностно-активных веществ (кислорода, воздуха, воды, серы, различных органических веществ) происходит ослабление взаимодействия между атомами. Энергетической характеристикой поверхностных свойств металлов является работа выхода электрона, весьма существенно влияющая на

электрохимическое поведение металла в неводном электролите (углеводородное масло, топливо). Работа, которую необходимо затратить электрону для ухода из поверхностного слоя металла, меняется в зависимости от наличия на поверхности трения адсорбированных молекул, характеризуя тем самым степень заполнения поверхности или количество адсорбированных на ней частиц. Проникая в микротрещины, поверхностно-активные вещества создают давление, направленное в сторону дальнейшего развития щели в глубь твердого тела, и ослабляют прочность поверхностного слоя (эффект Ребиндера).

На поверхности металла образуются окисные пленки, особенно при повышенных температурах. Свойства материала в поверхностном слое существенно зависят от характера обработки и различных процессов, сопровождающих трение.

Вследствие контактирования выступов шероховатости поверхностей имеет место упругопластическое передеформирование поверхностных слоев. Толщина такого слоя зависит от скорости скольжения. Многократные деформации локальных участков поверхности приводят к возникновению усталостных явлений. Кроме того, деформация участков фактического контакта сопряженных поверхностей является источником волн механических напряжений. Образующиеся бегущие звуковые или ультразвуковые волны (кванты энергии волн — фононы) передают часть своей энергии свободным электронам, что приводит к созданию акустоэлектрического тока и возбуждению ЭДС (акусто-электрический эффект). Все это приводит к образованию нового, типичного для данных условий трения микрорельефа. Высокая температура, развивающаяся при трении, ведет к отжигу поверхностного слоя и сглаживанию микронеровностей, к структурным изменениям материала, возникновению диффузионных процессов и появлению термоЭДС.

2.2. ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СМАЗОЧНОМ СЛОЕ (В МЕСТЕ КОНТАКТА ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ)

На рис. 1 и 2 показана типичная интерференционная картина линий уровня h (толщины смазочного слоя), наблюдаемая при качении шарика под нагрузкой P по тороидальному желобу. Шарик катится в положительном направлении оси X . За шариком четко видна область развитой кавитации.

Зона между шариком и дорожкой, заполненная смазочным слоем, вследствие деформации поверхностей близка по форме к узкой щели, почти закрытой со всех сторон, кроме зоны втекания. Поэтому в жидкости, попавшей в такую щель и встречающей большое сопротивление при вы и кани, увеличивается

давление и значительно возрастает вязкость. Это явление связанное с «расплющиванием» тел вблизи контакта и ростом вязкости под большим давлением, называется упругогиродинамическим режимом смазки и приводит к образованию смазочного слоя даже при контактных давлениях 10 МПа ... 1 ГПа.

В этом же слое малой толщины при скорости скольжения (разности скоростей) контактирующих поверхностей $1 \dots 1 \cdot 10^5$ мм/с увеличивается скорость сдвиговой деформации до $10^5 \dots 10^7$ с⁻¹. При этих условиях в жидкости проявляются упругие свойства. Появляется новая характеристика высокочастотный модуль сдвига, равный $K^7 \dots 10^8$ Па. Время пребывания смазывающей жидкости в этом состоянии больше 10^6 с. Поскольку это время сравнимо с временами запаздывания протекания процессов и релаксации $V = \rho/G^*$, где θ — время релаксации;

η — вязкость; G^* — высокочастотным модуль сдвига, равновесных процессов не наблюдается. Одновременно в смазочном слое за счет большой скорости сдвиговой деформации и его сжатия происходит интенсивное тепловыделение (до 130 МВт/м² при относительной скорости перемещения $5 \cdot 10^5$ мм/с) с нагревом поверхности до 100 К с температурным градиентом поперек слоя до 10^8 К/м. Этот эффект уменьшает вязкость жидкости в зависимости от ее первоначальной температуры в $5 \dots 10^3$ раз при увеличении температуры на 50 К.

Если отношение средней толщины h слоя жидкости к среднему арифметическому отклонению поверхности контакта от своей номинальной формы больше 3, поверхности считаются гладкими. При значении отношения меньше 1 толщина пленки становится переменной в соответствии с шероховатостью и может быть слишком малой для обеспечения смазки. Толщина

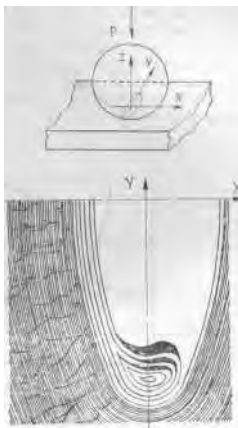


Рис. 1. Линии уровня толщины смазочного слоя, наблюдаемые при качении шарика под нагрузкой P по тороидальному желобу (упругогиродинамический контакт)

пленки менее 1 нм приводит к вероятности появления силового взаимодействия атомов или молекул контактирующих поверхностей, сопровождающегося местным схватыванием, химическими реакциями и задиром. Поведение смазывающей жидкости в таких условиях удается описать только с помощью сложных реологических моделей учитывающих кроме перечисленных факторов конечность упругой деформации.

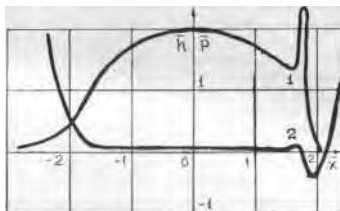


Рис. 2. Изменение давления P (кривая 1) и толщины L смазочного слоя (кривая 2) в зоне контакта трущихся деталей (в относительных единицах)

С математической точки зрения изучение контакта двух тел, разделенных слоем жидкости, сводится к совместному решению уравнений гидродинамики (реологии), уравнений теории упругости (механики деформируемого твердого тела) и уравнения распространения тепла (уравнения энергии). Приходится констатировать, что в физике твердого тела, несмотря на ее большие успехи, остается нерешенной проблема атомно-молекулярных взаимодействий конденсированных фаз.

Описанный подход позволяет оценивать коэффициент трения расчетным путем, что обуславливает проведение расчета условий работы пар трения, приближенных к реальным: $f_{тр} = (p_i X (W_z, W_y, F_{тр}, \dots) = \phi_2 (p, \nu, A, \dots)$, где W_z, W_y — усилия, создаваемые давлением, приходящиеся на единицу линейного размера элемента трущейся пары в направлении осей OZ и OY (см. рис. 1); $F_{тр}$ — сила вязкого трения на единицу линейного размера в направлении оси OY ; ν — векторная скорость качения; A — геометрический фактор узла трения,

Изменение вязкости смазывающей жидкости (смазывающих материалов) от температуры и давления описывается выражением

$$\mu(P, T) = \mu_0 \exp \left[\frac{\alpha_0 P}{1 + \beta P} - \left(\delta + \frac{\gamma P}{1 + \beta P} \right) (T - T_0) \right] \quad (1)$$

и формулой Ролиндеа

$$(\lg \mu + 4,2) (-1 + T/135) C'' = (\lg \mu_0 + 4,2) \times \\ \times (1 + 19600 P) Z' - C' \lg (-1 + T/135), \quad (2)$$

где α_0 — пьезокоэффициент вязкости;
 β — второй пьезокоэффициент вязкости;
 δ — температурный коэффициент вязкости;
 γ — величина, характеризующая убывание фактического пьезокоэффициента с ростом температуры;
 P — избыточное давление;
 Z', C', C'' — параметры жидкости, определяемые в процессе аппроксимации.

Плотность жидкости описывается уравнением состояния

$$\rho = \rho_0 \exp \left[P/K - \alpha^* (T - T_0) \right], \quad (3)$$

где $K = \rho (\partial \rho / \partial P)^{-1}$ — модуль объемной упругости;

α^* — коэффициент объемного теплового расширения.

Таким образом, смазочный материал с точки зрения упруго-теплогидродинамической теории смазки должен обладать определенными значениями следующих параметров: ρ_0 , α , β , γ , δ , ρ , K , $\rho_0 c_v$ при заданной T_0 . Здесь c_v — удельная теплоемкость.

3. УСЛОВИЯ РАБОТЫ МАСЕЛ В ДВИГАТЕЛЯХ ЛА

3.1. УСЛОВИЯ РАБОТЫ МАСЕЛ В ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Наиболее тяжелые условия работы масел наблюдаются в поршневых двигателях (ПД), в которых масло обеспечивает смазку подвижных контактирующих поверхностей, отвод тепла от них, вывод продуктов износа из зоны контакта, консервацию деталей в процессе работы и выполняет задачи уплотнения зазора между поршнем и цилиндром, препятствуя прорыву газов из камеры сгорания в картер двигателя.

Поршень разделяет температурные воздействия на масло на три зоны: зону температуры газов в камере сгорания (около 2500°C), зону температуры деталей в картере, где ее значения

равны 50...200°C, и промежуточную зону, охваченную поршневой группой со значениями температур 200...280°C.

Теплоотдача в масло от двигателя лежит в пределах от 670 до 4410кДж/мин. Удельные давления, воспринимаемые масляной пленкой, 60...80МПа (600...800 кгс/см²).

Помимо тепловых потоков, в первой зоне на масло активно воздействуют лучистые потоки, обусловленные процессом горения и продуктами полного и неполного горения, контактом с бензовоздушной смесью и металлами, способными оказывать каталитическое действие. В остальных зонах и далее в системе масло активно контактирует с различными сталями, алюминиевыми, медными, баббитом, кадмиево-серебряными и другими сплавами, в разной степени каталитически ускоряющими процессы его окисления.

В этих условиях масло должно обладать высокой антиокислительной стабильностью, антикоррозионной устойчивостью и высокими противонагарными свойствами. В зоне цилиндра-поршневой группы вязкость масла должна обеспечить устойчивую несдуваемую пленку и герметичность между трущимися поверхностями. Последнее условие обеспечивается маслом с вязкостью 20...22сСт при 100°C. Более вязкое масло приводит к ухудшению запуска двигателя и потере мощности его на преодоление повышенного сопротивления трению, уменьшается прокачка масла через двигатель, что может привести к масляному голоданию. Масло с меньшей вязкостью не может удержаться в зазорах, что увеличивает износ деталей, заброс масла в цилиндры двигателя — это приводит к интенсивному лако- и нагарообразованию, увеличению расхода масла, ухудшению теплопроводности деталей и пригоранию поршневых колец.

3.2. УСЛОВИЯ РАБОТЫ МАСЕЛ В ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

В подшипниках компрессора турбореактивных двигателей (ТРД) масло нагревается до 130°C, в подшипниках турбины до 160°C. В двигателях с осевыми компрессорами (их подавляющее большинство) и турбовинтовых двигателях (ТВД) действуют (в некоторых двигателях кратковременно) большие осевые силы, приводящие к контактным нагрузкам до $(190...350) \cdot 10^4$ кПа и кратковременно до $500 \cdot 10^4$ кПа. Теплоотдача в масло лежит в пределах от 550 (одноконтурные ТРД малой тяги) до 5300 (и двухконтурные ТРД) кДж/мин (10...90 кВт).

Кроме смазки подшипников ротора масло обеспечивает смазку привода агрегатов, работающих при более низких нагрузках, L'cm ротор двигателя. К некоторым из них масло, как и к под

шипникам ротора, подается струйными форсунками, с образованием в коробке приводов масляного тумана, и по каналам под давлением.

В подшипниках ротора контактные напряжения воспринимаются граничной пленкой масла. У бортиков колец и гнезд сепараторов обычно происходит жидкостное трение.

Наиболее тяжелым периодом работы масла является время после останова двигателя, когда в связи с прекращением прокачки масла и обдува корпуса подшипников тепло от массивных элементов ротора турбины начинает распространяться на другие узлы и детали двигателя, в том числе на элементы системы смазки и масло, что приводит к значительному росту его температуры — до 250°C и выше. В этих условиях оставшееся на стенках каналов и деталей масло при наличии кислорода воздуха окисляется с образованием кокса, лаков, происходит его интенсивное испарение. Этот процесс повторяется после каждого останова двигателя, вызывая накопление осадков, закупоривающих каналы.

В ТРД масло соприкасается с каталитически активными медными сплавами (сепараторы подшипников и др.), с коррозионно-нестойкими свинцовыми, кадмиевыми и другими покрытиями, с частично растворимыми и набухающими материалами (резина, паронит). Это приводит к образованию мягких липких осадков и абразивных продуктов глубокого окисления типа карбеноз и карбоидов.

Основными факторами, определяющими развитие процесса коксообразования в масляной системе двигателя, являются температура, время ее действия, толщина масляной пленки в контактные нагрузки, наличие окислителя (например, кислорода воздуха) и каталитическое действие металлов.

Загрязнение масла продуктами окисления и оседание их на поверхности деталей приводят к значительному перегреву элементов двигателя, короблению деталей, заеданию и заклиниванию сочленений.

Оптимальное значение кинематической вязкости масел для ТРД при 100°C не должно быть ниже 2,5 сСт. Большая вязкость затрудняет запуск при низких температурах, уменьшает прокачку масла через двигатель с нарушением теплового режима омываемых деталей. Менее вязкие масла обладают недостаточными смазывающими свойствами.

Перечисленные условия требуют низкой вязкости и испаряемости масел, высокой противоокислительной стабильности и антикоррозионной устойчивости при хорошей смазывающей способности и устойчивых противоизносных свойствах. Масло должно обладать пологой вязкостно-температурной характеристикой и низкой температурой застывания.

3.3. УСЛОВИЯ РАБОТЫ МАСЕЛ В ТУРБОВИНТОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

В ТВД наряду с нагрузками, характерными для ТРД, действуют большие удельные нагрузки в узлах редуктора воздушного винта. Наличие редуктора в 3...4 раза увеличивает поток тепла в масло — это требует от масел особо устойчивых свойств: предотвращать изнашивание элементов, противостоять вспениванию и окислению.

Самолетные современные ТВД при мощности 2900... 11800 кВт (4000... 16000 л. с.) передают в масло 44...100 кВт тепла, т. с. больше, чем ТРД. В связи с этим прокачка масла в ТВД значительно больше, чем в ТРД: 135... 190 л/мин с кратностью прокачки около 100 раз в течение часа при емкости масляной системы 90... 120 л.

Высокий температурный режим подшипников турбины и нагрев масла в редукторе обуславливают требование высокой термической стабильности масел, что трудно сочетать с хорошими смазывающими и противозадирными свойствами.

У ТВД вертолетов ввиду значительного расхождения между потребными значениями вязкости масла для обеспечения нормальной работы двигателя и редукторов выполняются отдельные системы с различными марками масел. В ТВД масло дополнительно выполняет функции рабочей жидкости в механизме управления шагом винта. Для уменьшения утечек его вязкость должна быть не менее 6,5...7,5сСт при температуре 100°С.

3. СОРТА И КАЧЕСТВО МАСЕЛ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

4.1. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ПД

Первая буква в марке отечественных масел означает, что это авиационное моторное масло. Вторая буква — способ очистки: С — селективная, К — кислотнo-контактная. Числа характеризуют минимальную кинематическую вязкость в сантистоксах (1 сСт = 1 мм²/с) при 100°С. Буква С после числа в марке масла (МС-20С) означает наличие соединений серы около 1%. Эти сернистые соединения относятся к неактивным и не оказывают вредного влияния на двигатель.

Все три сорта масел, приведенных в табл. 1, имеют неудовлетворительные низкотемпературные свойства. Работоспособность масел находится в диапазоне температур —10...+ 140°С.

Показатели	Отечественные масла			Зарубежные масла		
	сч сч S	МС-20	МС-20С	DERD-2450 Сорт D-100 Англия	3GP-322a Сорт D-120 Канада	Mil-Z-2285B Тип 2 США
Плотность при 20°C, кг/м ³	905	897	900	—	—	—
Вязкость кинематич., мм ² /с, при 100°C, не менее	22	20,5	20,0	23,0	23,9	26,1
Температура застывания, °С, не выше	— 15	— 18	— 18	— 12	— 18	— 18
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла	<0,1	0,03	0,05	< 0,1	< 0,1	—
Коксуемость, % (мае.)	<0,3	0,29	0,45	< 1,0	< 1,0	< 1,2
Содержание серы, % (мае.)	—	—	<1,1	< 1,2	< 1,2	< 0,5
Температура вспышки в открытом тигле, °С		265	270	243	243	243
Термоокислительная стабильность по методу Папок при 250°C, мин, не менее	35	18	17			

В зимнее время перед остановкой двигателя эти масла разжижаются бензином в количестве 10% от вместимости масло- системы, что облегчает запуск двигателя до —25...—30°C. В более холодное время после останова двигателя масло сливают. Перед запуском масло подогревают до 90...100°C и заливают в маслосистему.

Взаимозаменяемыми с отечественными являются следующие зарубежные масла:

Англия — сорт В/о DERD-2472 В/о; сорт D80 или D-100 DERD-2450.

Италия — сорт 100 AM-0-203 с или AM-0-211a; сорт 120 AM-0-210в.

Канада — сорт 100 3GP-100с; сорт 120 3GP-321a.

Показатели	Отечественные масла		Зарубежные масла	
	МК-8 МК-8П	МС-8П	Turbine Oil-3 DERD-2430 Англия	Turbine Oil-2 Mil-L-608 К США
Плотность при 20°С, кг/м ³	< 855	< 875		
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 50°С (37,8°С)	>8,3	с 8,0	> 13,0	» 10,0
Температура застывания, °С, не выше	— 55	— 55	— 46	— 57
Кислотное число, мг КОН	0,04	0,05	0,3	0,1
Зольность, % (мае.)	0,005	0,008	< 0,001	-
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	140	150	142	132

Примечание: в скобках температура для зарубежных масел.

Масла с добавкой буквы П отличаются от исходных добавлением антиокислительной присадки ДБПК-69 (дибутилпара-крезол) или ионол (топанол-0) в количестве 0,6% в масло МК и 0,2% в МС-8.

Масла М1<8 и МС-8 применяют при умеренных температурах — 20...+ 120°С. Присадка позволяет использовать их в диапазоне температур от —25 до +150°С.

Масло ТК по своим физико-химическим свойствам аналогично маслу МК-8, но имеет температуру застывания —45°С.

Показатели	Гипоидное масло	Смесевые масла			ИП-ВВИИ
		СМ-4,5	СМ-8	СМ-11,5	
Плотность при 20°C, кг/м ³		> 870	>870	>870	
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 100°C	20,4—32,4	> 4,3—4,7	7,0—9,0	9,5—13,5	>9,0
Температура застывания, °С, не выше	—	—40	—30	—20	—54
Кислотное число, мг КОН на 1 г смеси, не более	—	0,05	0,07	0,10	0,10
Коксуемость, % (мае.), не более	—	<0,15	0,20	0,20	
Температура вспышки в тигле, °С, не ниже	~	(закр.) 138	(закр.) 142	(закр.) 150	(откр.) 150

Смесь СМ-4,5 состоит из 75% МК-8, (МС-8. ТК) и 25% МС-20 (МК-22). Используется для двигателей мощностью до 2900кВт (4000 л. с.). Перед заправкой смесь должна иметь температуру не ниже + 15°С.

Маслосмесь СМ-11,5 состоит из 25% МК-8 (МС-8, ТК) и 75% МС-20 (МК-22). Используется для двигателей большой мощности. Перед заправкой смесь должна иметь температуру не ниже + 15°С. Маслосмесь С.М-11,5 может быть заменена высоковязким маслом МН-7,5 — смесь нефтяной основы с антиокислительной, противоизносной, антикоррозионной и загущающей присадками. Масло работоспособно в диапазоне температур —35...+ 140°С и позволяет производить запуск двигателей без подогрева до температуры —25°С.

К недостаткам смесей двух разных по характеристикам масел, работающих в ТВД, относятся более быстрое испарение легких фракций и усиление, в связи с этим, лакообразования на горячих подшипниках. При этом ухудшаются пусковые свойства масел.

На вертолетах с ТВД используются минеральные масла МК-8, МК-8П, МС-8, МС-8П, МС-6 и ТК. Для масляных систем Главных редукторов и трансмиссий используются маслосмеси СМ-8 (50% МК-8 и 50% МС-20), СМ-9 (67% гипоидного масла и 33% гидравлического масла АМГ-10) и шарнирное зимнее масло ВНИИ НП-25 — низкотемпературная основа из балахакской масляной нефти, загущенная высоковязким компонентом с антиокислительной и противозадирной присадками.

В летнее время СМ-8 заменяется на смесь СМ-11,5. Смесь СМ-9 летом заменяется гипоидным маслом.

4.3. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МАСЕЛ ДЛЯ ГТД

Синтетические масла (табл. 4) отличаются высокой термоокислительной стабильностью, хорошими низкотемпературными свойствами, меньшей испаряемостью и, в большинстве случаев, более полой вязкостной характеристикой.

Б-3В получают на основе сложных эфиров жирных кислот с добавлением противоизносной и антиокислительной присадок. Масло работоспособно до температуры 200°С и кратковременно до 250°С.

ВНИИ НП 50-1-4Ф — дизфирное масло с присадками, улучшающими его противоизносные свойства и термоокислительную стабильность. Работоспособно до температуры 175°С и кратковременно до 200°С.

Показатели	Б-3В	НП-50Н14Ф	ВТ-301	НПМ-10	НП-24В	ЛНМЗ 36/1 к	НВН7И
Плотность при 20°C, кг/м ³	990—997	926	1090—1110	—	985—1010	—980	918—922
Вязкость кинематическая при 100°C, мм ² /с, не менее	5,0	3,2	8,5	3,0	4,4	3,5	7,5—8,0
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более	4,4—5,5	0,22	0,33	0,05	0,2	0,5	0,6
Температура вспышки в открытом тигле, °C, не ниже	235	204	250	190	235	195	210
Температура застывания, °C, не выше	—60	—60 0,1	—60	—	—54	—60	—60
Зольность, % (мае)	—	—	—	—	—	—	—
Склонность к образованию высокотемпературных отложений, мг	200	8	—	—	—	95	—

При длительной работе вязкостная присадка размывается и вязкость снижается.

В США для ТРД широко используются синтетические масла (в том числе и дизелиры), имеющие при температуре 98,9°C вязкость 3...4 мм²/с, например, масло Mil-L-7808С.

Англия применяет более вязкие синтетические масла 7,5 мм²/с при 98,9°C), на которых работают и ТРД, и ТВД, например, DEngRD-2487.

Для сверхзвуковых ТРД за рубежом широко используется диэфирное синтетическое масло фирмы • «Shell» Turbooil-300. Основой его является диизоктилсебацонат. Более термостойким является смешанное ди- и полиэфирное масло Castrol-205.

Специальное масло для ТВД (полиэфирное) Turbooil-750 (Англия) содержит загуститель типа пилиметакрилат. Масло Castrol-98 (ОХ-38) состоит из 66% диоктилсебацината, 28% по- лиглицеолового эфира и 6% различных присадок.

Синтетические масла не взаимозаменяемы.

5. ПРИСАДКИ К МАСЛАМ

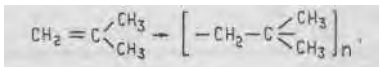
Улучшение эксплуатационных свойств масел осуществляется добавлением различных присадок целевого назначения. В некоторых случаях введение присадок кроме улучшения свойств масел упрощает технологию их получения, например, добавление присадки, понижающей температуру застывания, исключает процесс полного удаления из масла парафина.

Присадки классифицируются по их способности улучшать какое-либо свойство масел. По аналогии с классификацией присадок для топлив присадки к маслам можно разделить на два иша: первый — присадки, повышающие надежность работы масляных систем и двигателей Л А путем улучшения единичных показателей масел; второй — многофункциональные присадки.

5.1. ВЯЗКОСТНЫЕ ПРИСАДКИ

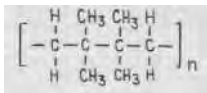
Для увеличения индекса вязкости природных нефтяных масел к ним добавляются высокомолекулярные полимеры: поли- нзобутилены, полиметакрилаты (акрилоиды), полимеры виниловых эфиров (вимиполы), полиалкилстиролы (сантодексы) и др.

По л и з о б у т л е н получают полимеризацией изобутилена



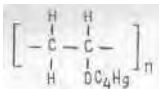
Молекулярный вес полиизобутилена 15000... 25000. Недостатком этой присадки является склонность к термической и механической деструкции (расщеплению длинных молекул полимера), что снижает значение вязкости.

За рубежом широкое применение получили полиметакрилаты, получаемые этерификацией непредельной метакриловой кислоты C_3H_5COOH (ее получают из ацетона и синильной кислоты) смесью высокомолекулярных спиртов $C_{12}H_{25}OH...C_{18}H_{37}OH$. Полученный сложный эфир после полимеризации приобретает вид



Молекулярный вес 5000...20000. Кроме изменения вязкости у масла снижается температура застывания, т. е. полиметакрилаты одновременно являются и депрессорной присадкой.

В и ни пол (полимер винил-н-бутилового эфира)



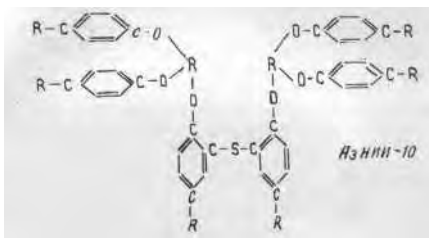
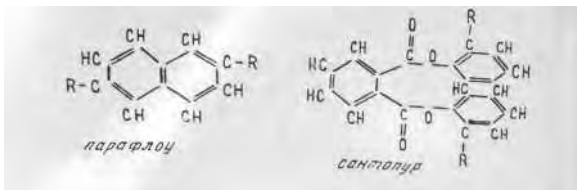
синтезируется из ацетилена C_2H_2 и нормального бутилового спирта C_4H_9OH с участием уксусной кислоты. Имеет молекулярный вес 9000...12000. Используется преимущественно для гидравлических систем—загуститель керосино-газойлевой фракции при получении гидравлического масла АМГ-10.

Присадка добавляется в количестве от 0,5 до 10%.

5.2. ДЕПРЕССОРНЫЕ ПРИСАДКИ

Эта группа присадок понижает температуру застывания масел. Присутствующие в масле в небольших количествах высокоплавкие твердые углеводороды — парафин и церезин — при нормальных условиях находятся в растворенном виде. С понижением температуры они выделяются в виде кристаллов, игл или удлиненных пластин, образующих каркас, заполненный жидким маслом. В результате масло теряет свою подвижность при более высокой температуре, чем масло, не содержащее твердых углеводородов. Действие депрессаторов объясняют способностью их ослаблять силы молекулярного взаимодействия между кристаллами парафина, что уменьшает вероятность образования пространственной кристаллической решетки. В случае беспарафинных нефтей присадки неэффективны.

Наиболее эффективными депрессорными присадками являются парафлоу (США), сантопур и АзНИИ-10:



На приведенных структурных схемах \wedge -парафиновая цепь нормального строения со средним числом углеродных атомов 16.

Присадки добавляются в масла в количестве 0,1... 1,0%, снижая температуру застывания на 10...20° (в некоторых случаях до 40°).

АзНИИ-10 и парафлоу относятся к алкилнафталинам. Сантопур — сложные эфиры алкилфенола и фталиевой кислоты.

5.3. ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ ПРИСАДКИ

По характеру действия противозносные присадки подразделяются на три группы: антифрикционные, противозносные и противозадирные.

Антифрикционные присадки снижают и стабилизируют коэффициент трения. С этой задачей хорошо справляются растительные и животные жиры, добавляемые в масло в количестве 3...5% и более.

В задачу противоизносных присадок входит не допускать высокого износа трущихся поверхностей при умеренных и высоких нагрузках. Действие присадок заключается в том, что их молекулы значительно активнее молекул масла и лучше удерживаются на поверхности металла — это увеличивает прочность масляного слоя, т. е. его способность выдерживать большую механическую нагрузку. К таким веществам относятся высшие жирные кислоты, эфиры и их производные, различные соединения металлов (свинцовые мыла, окисные и сернистые соединения молибдена, сернистые соединения вольфрама и т. п.). Их добавляют в количестве 0,1...0,2% и более.

В некоторых видах зубчатых, гипоидных передач возникают очень большие нагрузки на контактирующих поверхностях, особенно неблагоприятные для работы масляного слоя при больших скоростях относительного перемещения. В этих условиях хлор, фосфор или сера, вводимые в виде различных углеводородных соединений в масло, вступают в реакцию с поверхностным слоем металла, образуя соединения (сульфид железа, хлористое железо, фосфид железа), выполняющие роль смазки, выдерживающей высокие нагрузки и предотвращающей схватывание металлических поверхностей. Наличие таких пленок подтверждено химическим, рентгеноскопическим и другими анализами.

Присадки добавляют в количестве 5... 10%.

В качестве противоизносных и противозадирных присадок используются трикрезилфосфат и трифенилфосфат, образованные из фосфорной кислоты и, соответственно, крезола или фенола: $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4)_3\text{PO}_4$ и $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{PO}_4$; совол получают хлорированием бензола — представляет собой смесь пентахлоридфенила C_6HCl_5 и тетрахлоридфенила $\text{C}_6\text{H}_2\text{Cl}_4$; осерненпылюктол получают путем добавки 1...2% серы в процессе полимеризации изобутилена; каптакс (2-меркаптобензотиазол) добавляется в синтетические масла в количестве 1,5%. Последняя превращается в модификацию альтакс, растворимость которой в масле меньше. При +80°C присадка полностью растворима. При низких температурах появляются отложения, на 90% имеющие органическое происхождение. Нагрев до +80°C растворяет 50...90% отложений, на 25...75% состоящих из каптакса и альтакса (кристаллы желтоватого цвета).

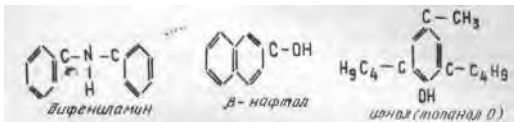
3.1. АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРИСАДКИ

Под действием высоких температур и каталитического воздействия металлов, контактирующих с работающим маслом, активно протекают процессы окисления масел и образования в них

осадков и растворимых продуктов. Это объясняется тем, что при глубокой очистке из масел кроме ненужных удаляются природные вещества, тормозящие окисление.

По характеру действия антиокислительные присадки подразделяются на две группы: ингибиторные присадки, замедляющие окисление в объеме, и термоокислительные, тормозящие окисление при высоких (более 150...200°C) температурах.

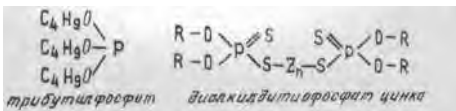
Ингибиторные присадки, добавляемые в количестве 0,005... 0,700%, обрывают цепные реакции процессов окисления. Действие присадок ограничено температурами 150...200°C. При более высоких температурах они разлагаются. В качестве ингибиторов применяют производные фенола, амины, некоторые азотистые, сернистые и фосфористые соединения,



нараоксидифениламин $C_6H_5NC_6H_5$, OH, N-фенил- α -нафтиламин $C_6H_5NHC_{10}H_7$ (неозон A).

Термоокислительные присадки, добавляемые в количестве 0,5...3,0%, образуют на поверхности деталей защитные пленки, предохраняя тем самым металл от коррозии или дезактивируя металлы, растворенные в масле.

Высокоэффективными антиокислителями этого типа являются органические соединения, имеющие в своем составе фосфор, серу, цинк:



Последнее соединение содержится в присадках ДФ-11 (50% раствор диалкилдитиофосфата цинка в веретенном масле) и ЛАНИ-317 (диалкилдитиофосфат цинка, полученный на основе изопропилового спирта и спиртов прямого окисления синзина с 12... 16 углеродными атомами). Обе присадки являются многофункциональными, с преобладанием антиокислительных, противозносных и противокоррозионных свойств.

Присадка ДФ-11 улучшает антиокислительные, антикоррозионные, моющие и противозносные свойства моторных масел 22

и масел для гидропередач — т. е. все термоокислительные многофункциональные присадки.

5.5. ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ ПРИСАДКИ

Окисление масла сопровождается коррозией контактирующих с ним металлов. Антикоррозионные присадки действуют в трех направлениях:

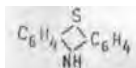
образуют на поверхности металла прочную защитную пленку, предохраняющую металл от контакта с образовавшимися органическими кислотами;

замедляют окисление масла и тем самым уменьшают образование в нем кислот и вероятность коррозирования металлов;

нейтрализуют кислые продукты своими щелочными свойствами.

Как правило, в качестве противокоррозионных присадок первых двух направлений применяют антиокислительные присадки. В качестве третьего направления широко используются моющие (см. разд. 5.7) присадки. В качестве противокоррозионных присадок всех трех направлений успешно используются многофункциональные присадки (см. разд. 5.8).

" К противокоррозионным присадкам относятся органические соединения, содержащие серу, фосфор или оба элемента одновременно. Эти соединения образуют на поверхности металла защитные пленки. Например, фенотиазин (тиодифениламин)



, меркаптобензотиазол.

В рассмотренной группе можно выделить еще один вид присадок, действие которых направлено против ржавления стальных деталей. Основной причиной появления ржавчины является вода, образующаяся в работающем масле или попадающая в него из атмосферы. При длительных перерывах в работе двигателя стекающее с металлических поверхностей масло открывает доступ к ним воды. В этих случаях присадками (их добавляют в количестве 0,0005... 1,0%) являются жирные кислоты, эфиры нафтеновых и жирных кислот, металлические мыла жирных кислот и др. Действие этой группы присадок сводится к образованию на металле защитных пленок. Присадки целесообразно вводить в масло перед последним запуском перед длительным перерывом в работе, т. е. присадка хорошо работает консервантом стальных деталей.

5.6. ПРОТИВОПЕННЫЕ ПРИСАДКИ

Пенообразование зависит от сорта масла (растворимость воздуха в зависимости от сорта масла при нормальных условиях

находится в пределах 4... 12% объема), его вязкости, силы поверхностного натяжения, окисляемости, выерты полета, а также от типа системы смазки и конструктивного выполнения отдельных элементов маслосистемы двигателя — маслобака, насоса и др. Появление пены отрицательно сказывается на работе двигателя, ухудшая смазку трущихся деталей, теплоотвод от них и увеличивая потери масла через дренажную систему.

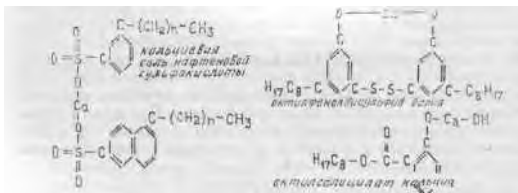
Для подавления образования пены применяют кремнийорганические соединения: полисилоксаны или силиконы, например, полиметилсилоксан (присадка ПМС-200А), полидиметилсилоксан, полиэтилсилоксан и др. Присадки, добавляемые в количестве 0,002...0,005% (объемн.), снижают поверхностное натяжение масел, облегчая работу выхода растворенного воздуха без интенсивного образования пены.

Добавление присадок повышает температуру вспышки, улучшает термическую стабильность масел и уменьшает их испаряемость. Однако ухудшается растекаемость масел на горячих поверхностях и масло становится менее липким — хуже удерживается на поверхности металла.

5.7. МОЮЩИЕ ПРИСАДКИ

Большинство моющих присадок содержит значительное количество поверхностно-активных веществ, обволакивающих образующиеся в процессе работы масла твердые частицы, препятствуя их слипанию, разрывающие скопления этих частиц, предотвращающие осаждение их на металлических поверхностях, нейтрализующие кислые продукты и задерживающие накопление в масле нерастворимых осадков.

Наибольшее применение получили кальциевые и бариевые соли нефтяных сульфокислот или мыла нафтеновых кислот (феноляты):

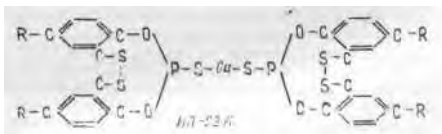


Эти соединения входят в состав присадок СБ-3, СК-3, МПС-Я, ИГ-102, НГ-104,

Моющие присадки (вводятся в количестве 3... 15% объемн.) применяются в композиции с антиокислительными, противокоррозионными и противопенными присадками, причем применение последних обязательно, поскольку моющие присадки способствуют увеличению вспениваемости масел.

5.8. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИСАДКИ

Многофункциональная присадка, улучшающая одновременно несколько эксплуатационных свойств, может быть индивидуальным химическим соединением либо комплексом различных функциональных групп. К первому виду относятся присадки ИП-22К, ДФ-11, АзНИИ-ЦИАТИМ-1. Вторую группу составляют присадки БФК-1, ВНИИ НП-360, ВНИИ НП-354.



Присадка ИП-22К улучшает моющие, антиокислительные, противокоррозионные и противоизносные свойства.

ДФ-11 используется для улучшения антиокислительных, противокоррозионных и противоизносных свойств.

АзНИИ-ЦИАТИМ-1 понижает температуру застывания, улучшает моющие, противокоррозионные и депрессорные свойства.

БФК-1 (бариевая соль продуктов конденсации алкил фенола с формальдегидом) обладает моющими, противонагарными, противоизносными и противокоррозионными свойствами. Добавляется в количестве 6...8% (объем).

К многофункциональным присадкам, состоящим из нескольких компонентов, относятся:

ВНИИ НП-360 — смесь алкилфенолята бария и цинковой соли диалкилфенилдитиофосфорной кислоты, растворенных в соотношении 1:1 в промышленном масле ИС-20. Улучшает моющие, антиокислительные и противоизносные свойства. Добавляется в количестве 3...5% (объемн.).

ВНИИ НП-354 — цинковая соль диалкилфенилдитиофосфорной кислоты и алкилфенолята бария (1:2,5). Улучшает антиокислительные, противокоррозионные и противоизносные свойства.

6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

6.1. ВЯЗКОСТЬ МАСЕЛ

Под эксплуатационными понимаются те свойства масел, которые проявляются при эксплуатации авиационной техники, в первых, и при их хранении, транспортировании и перекачке в любых условиях, во-вторых.

Надежная и длительная работа узлов трения двигателей, зависящая от удачного решения масляной системой комплекса стоящих перед ней задач, в том числе охлаждение трущихся деталей, уплотнение различных зазоров, легкость запуска двигателей, вынос продуктов износа и многое другое, в значительной степени определяется свойствами применяемого масла, из которых первостепенное значение имеет вязкость.

Абсолютная η или динамическая вязкость определяется силой сопротивления двух слоев жидкости (газа) площадью 1 см^2 , отстоящих друг от друга на расстоянии 1 см и передвинутых относительно друг друга со скоростью 1 см/с (Па·с).

Отношение динамической вязкости к плотности жидкости — кинематическая вязкость $\nu = \eta/\rho$, $\text{м}^2/\text{с}$.

В смазочные масла входят группы углеводородов (парафиновые, нафтеновые, ароматические, нафтено-ароматические), имеющие различную вязкость при одной температуре и разные зависимости изменения вязкости от температуры (рис. 3).

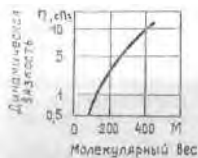


Рис. 3. Зависимость вязкости углеводородов от молекулярного веса

Количество парафиновых углеводородов в маслах уменьшается с повышением температуры кипения фракций. Присутствие их обуславливает пологую вязкостно-температурную характеристику и меньший уровень вязкости по сравнению с другими углеводородными компонентами. Нормальные парафины эти свойства проявляют более четко, аличие парафинов с большим

числом атомов повышает температуру застывания всего объема масла вследствие появления структурных образований из парафиновых кристаллов.

Циклические углеводороды, имеющие более двух—трех колец, увеличивают вязкость масел и ухудшают их вязкостно-температурную характеристику. С уменьшением разветвленности и увеличением длины боковых цепей зависимость вязкости от температуры становится более пологой.

Ввиду значительной зависимости вязкости от температуры (рис. 4) сравнение различных масел производится при конкретной температуре.

Степень зависимости вязкости от температуры различна у разных масел и вполне удовлетворительно описывается формулой Вальтера:

$$\lg \lg (v_i + 0,8) = A - B \lg T_i \quad (4)$$

где v_i — кинематическая вязкость в $\text{мм}^2/\text{с}$ при температуре i ;

A и B — постоянные, характерные для конкретного масла;

T — абсолютная температура.

Наиболее широкое применение для оценки вязкостно-температурных свойств масел получил метод определения индекса вязкости (ИВ), выражающий пологость вязкостно-температурной зависимости путем сравнения с кривыми двух эталонных масел (жидкостей), вязкость которых при температуре $98,8^\circ\text{C}$ равна вязкости испытуемого масла. Для эталона с крутой характеристикой ИВ = 0, эталон с пологой характеристикой имеет ИВ = 100. Для испытуемого масла

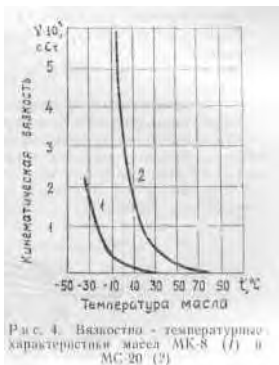
$$\text{ИВ} = (v_j - v) 100 / (v_i - v_r) \quad (5)$$

где v_i и v_2 — вязкости эталонных жидкостей с ИВ = 0 и ИВ = 100 соответственно при $37,8^\circ\text{C}$;

v — вязкость испытуемого масла при той же температуре.

Чем выше значение ИВ, тем лучше вязкостные свойства масла. Например, масло МС-20 имеет ИВ = 85. Кремнийорганические масла имеют ИВ = 170...200.

В паспорте на масло, как правило, приводится либо значение вязкости при двух—трех температурах, либо ИВ.



Вязкость масла зависит от давления (при этом необходимо учитывать и температурную зависимость, рис. 5). По М. П. Вола ровичу

$$\nu_p = \nu_0 a^p \quad (6)$$

где ν_p — вязкость масла при давлении P ;
 ν_0 — вязкость при атмосферном давлении;
 a — постоянная, зависящая от свойств масла. Для минеральных масел $a = 1,002 \dots 1,004$.



Рис. 5. Зависимость вязкости минерального масла от давления при различных температурах

Практически до давлений $4 \cdot 10^3$ кПа (4000 кгс/см^2) наблюдается линейная зависимость вязкости от давления.

С вязкостно-температурной характеристикой масла связаны его пусковые свойства. Минимальная температура масла, при которой возможен запуск двигателя, определяется увеличивающимся сопротивлением раскрутке ротора при уменьшении температуры с одновременным уменьшением подачи масла к узлам трения. Предел пусковой вязкости масла в зависимости от конструкции двигателя и мощности пускового устройства лежит в диапазоне $2000 \dots 5000 \text{ мм}^2/\text{с}$ (для масла МК-8 такая вязкость достигается при температуре -35°C).

Прекращение подачи масла в систему наступает при значении вязкости $20000 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Для обеспечения наибольшей долговечности работы подшипников качения существует некоторый оптимальный диапазон вязкости. При меньшей вязкости не обеспечивается гидродинамическая смазка сеператоров и бортиков беговых дорожек, ухудшается граничная смазка из-за уменьшения толщины граничной пленки на участках твердого контакта. У большинства масел, применяемых в ТРД при работе на расчетных режимах, вязкость должна быть более $3 \dots 5 \text{ мм}^2/\text{с}$, для ТВД в два раза и для ПД на порядок больше. Значение вязкости масла (ТРД) более $20 \text{ мм}^2/\text{с}$ приводит к уменьшению прокачки его через опоры, что сопровождается перегревом элементов подшипников.

Вязкость оказывает большое влияние на смазывающую способность масла. Изменение ее в процессе работы масла в двигателе обуславливается испаряемостью легких фракций, накоплением механических примесей, окисляемостью и деструкцией молекул.

Измерение кинематической вязкости в лабораторных условиях производится наиболее распространенными капиллярными вискозиметрами ВПЖ-2 и типа Пинкевича. Измерение производится по времени истечения жидкости из вискозиметра между рисками через капилляр, диаметр которого выбирается в зависимости от вязкости испытуемой жидкости. Вискозиметр с маслом помещается в водяную баню, в которой поддерживается заданная температура.

Расчет вязкости производится по формуле

$$\nu = CK\tau g/980,7, \quad (7)$$

- где C - постоянная вискозиметра (дается в свидетельстве о проверке), $\text{сСт/с (мм}^2/\text{с)}$;
 K - коэффициент, учитывающий изменение гидростатического напора жидкости в результате расширения ее при нагревании. Для вискозиметров ВПЖ-2 и Пинкевича $K = 1 + 0,000040 A t$;
 τ - среднее время течения масла в вискозиметре, с;
 g - ускорение силы тяжести в месте измерения вязкости,
 $980,7$ — нормальное ускорение силы тяжести, см/с^2 ;
 Δt — разность между температурой нефтепродукта при заполнении вискозиметра и температурой его при определении вязкости.

При практических расчетах в службах ГСМ отношение $\#/980,7$ и коэффициент K принимаются равными единице.

6.2. СМАЗЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МАСЕЛ

Смазывающая способность масел проявляется в двух направлениях: масло должно иметь хорошие противоизносные и противозадирные свойства. Другими словами, в первом случае масло должно обеспечивать устойчивую граничную пленку в области окислительного (по классификации Б. И. Костецкого) износа, во втором — разрыв граничной пленки должен происходить при максимальном возможных значениях механических нагрузок, температур и скорости относительного движения. О смазывающей способности масла судят по величине коэффициента трения и по прочности масляной пленки, образующейся на поверхности металла за счет адсорбции — электрического

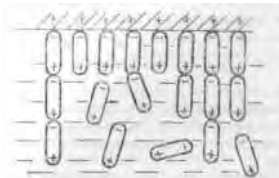


Рис 6. Схема образования масляной пленки из полярных молекул жидкости на твердой поверхности

Главные полярные компоненты способствуют резкому повышению возможности для масла проникать в микро- и ультрамикрощели между кристаллами, а в отдельные кристаллы—по плоскостям скольжения металлических поверхностей.

Возможно, что одновременно с электрическим взаимодействием поля диполей поверхностно-активных веществ с локальными полями твердой поверхности устанавливаются химические связи, образующие мыла, сульфиды, хлориды и т. п. Это явление, называемое хемосорбцией, обеспечивает более прочную связь масляного слоя с поверхностью металла, чем электрическое взаимодействие.

При нормальных режимах граничного трения, когда исключено схватывание металла, износ поверхностей происходит в результате образования, последующего разрушения и удаления образовавшихся в результате адсорбции масляных слоев (подробнее об этом см. [1], с. 44...45). Повышенная химическая активность масла, способствующая образованию этих слоев и тем самым предотвращающая схватывание металлических поверхностей, приводит к увеличению скорости их износа за счет химически модифицированного тонкого поверхностного слоя и способности расклинивающего действия граничных пленок, заполняющих микрощели (исследования Б. В. Дерягина). Установлено, что расклинивающее действие увеличивается со скоростью относительного перемещения поверхностей.

Прочность пленки или адсорбированных слоев масла зависит от свойств поверхностно-активных веществ и внешних факторов, главными из которых являются температура, механическая нагрузка, скорость относительного движения и материал пары трущихся поверхностей. Рассмотрим эти факторы.

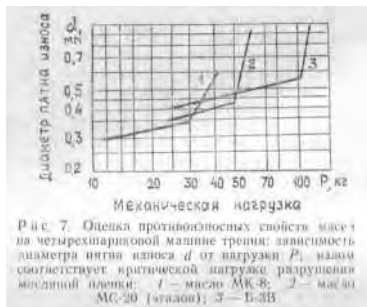
Органические кислоты, фенолы, смолистые и другие поверхностно-активные вещества, содержащие кислород, серу, азот с 20

взаимодействия молекулярных ионов или диполей, входящих в состав масла поверхностно-активных веществ, с электрическим полем атомов и молекул (ионов) металлической поверхности (рис. 6). Количество слоев ориентированных молекул жидкой среды может быть несколько сотен (400...500). Кроме того, исследования (академик А. П. Ребиндер) показали, что ак-

отчетливо выраженной асимметричной структурой, присутствующие в свежем масле, являются хорошими адсорбентами. Смазывающая способность продуктов износа и окисления масла в процессе его работы хуже.

С повышением температуры за счет интенсивного хаотического теплового движения толщина и прочность адсорбированной пленки уменьшаются.

Толщина масляной пленки уменьшается пропорционально механической нагрузке (рис. 7) до определенного значения последней, после чего происходит ее разрушение, сопровождающееся задиром.



Изменение скорости относительного движения трущихся пар приводит к изменению интенсивности образования зарядов, напряженности локальных участков электрического поля и перераспределению зарядов. В этом случае трудно говорить об однозначной зависимости между скоростью движения и адсорбционной способностью масел. Эти эффекты могут быть усилены или ослаблены сочетанием материалов пары трущихся поверхностей.

Большая скорость химических реакций на поверхности трущихся деталей в случае больших механических нагрузок сопровождается резким местным нагревом контактирующих микроучастков. Температурные всплески при разрушении фрикционных контактов микронеровностей достигают значений сотен и в некоторых условиях тысяч градусов.

Образующиеся на поверхности трения вещества имеют, как правило, более низкую температуру плавления, чем основной

материал. В моменты резких локальных повышений температуры они кратковременно переходят в жидкое состояние. Этим уменьшается сопротивление сдвигу, работа сил трения, тепловыделение и предотвращается плавление основного материала, схватывание и задиры трущихся поверхностей.

Такая картина возможна в том случае, когда деформация основного материала не выходит за предел упругости. Износ, происходящий главным образом за счет микронеровностей, резко выступающих за границу основной гладкой части масляной пленки, невелик, не вызывает ухудшения качества поверхности и способствует приработке новых или ремонтных узлов трения.

Наиболее распространенным способом оценки смазывающей способности масел являются механические испытания на четырехшариковой машине трения (ГОСТ 9490—75). Три шарика диаметром 0,5 дюйма закрепляются неподвижно, образуя опору для четвертого, вращающегося с переменной силой прижатия к ним с частотой 1420 1/мин в испытуемом масле. Сила трения верхнего шарика измеряется прибором.

В качестве критерия оценки смазывающей способности масла берется след износа на верхнем шарике за одну минуту. По результатам серии одномоментных испытаний при различных нагрузках строится графическая зависимость. Признаком разрушения масляной пленки является резкое усиление износа, характеризуемое точкой излома кривой (см. рис. 7).

6.3. СТАБИЛЬНОСТЬ МАСЕЛ

По аналогии с топливами под стабильностью масел понимается их способность сохранять свои физические и химические свойства в условиях работы. Хранение применяемых в настоящее время в авиационной технике масел при температурах 18...20°C в течение пяти лет практически не изменяет их свойств.

Стабильность масел в процессе работы в двигателе зависит от многих факторов: химического состава, температурных условий, длительности окисления (цикличность прокачки), каталитического действия металлов и продуктов окисления, удельной нагрузки в узлах трения, наличия в масле воды и механических примесей и др.

В состав масел для авиационных двигателей входят главным образом циклические углеводороды, молекулы которых содержат различное число ароматических или нафтеновых колец и парафиновые углеводороды. Последние наиболее склонны к окислению. При повышенных температурах они образуют в основном продукты, растворимые в масле — кислоты, смолы, альдегиды, кетоны и др. Эти изменения при температурах 200...300°C [2]

наблюдаются уже в течение первых нескольких минут (рис. 8). Окисление значительно ускоряется при наличии некоторых металлов (медь, железо, свинец), их сплавов и окислов. Такие металлы, как алюминий, олово либо не оказывают никакого влияния на процесс окисления, либо тормозят его.

Нафтеновые углеводороды обладают большей стойкостью к окислению. Скорость их окисления кроме температуры зависит от молекулярного веса и наличия коротких боковых цепей. Чем больше колец и боковых цепей в молекулах нафтена, тем больше скорость окисления. При этом образуются кислоты и окисислоты.

Наиболее стабильными являются ароматические углеводороды. Продукты их окисления — вещества фенольного типа, являющиеся антиокислителями (см. разд. 5.4). В дальнейшем под действием высоких температур они продолжают окисляться, образуя нерастворимые в масле смолы, асфальтены, карбены.

Глубина и характер превращений углеводородов зависят от температуры и толщины масляного слоя. На горячей ловопуности элементов подшипников, поршней и корпусных деталей в тонком слое масла происходит испарение его легких фракций с превращением остальной массы масла сначала в смолообразные, а затем в твердые лаковые или абразивные отложения, состоящие в основном из углерода.

Неглубокое, но существенное для дальнейших процессов окисление протекает в масляном тумане в полостях двигателя, в магистральных, маслосборниках и маслобаке, особенно при наличии постоянной подпитки свежим воздухом. В результате образуются высокомолекулярные органические кислоты, спирты, фенолы, смолы и твердые продукты, плохо растворимые в масле. Последние выделяются в виде темного порошкообразного осадка с размером частиц 1...2мм, забивающих фильтры, жиклеры и масляные форсунки. Иногда в маслобаке образуются крупные канифолеподобные куски смолы.

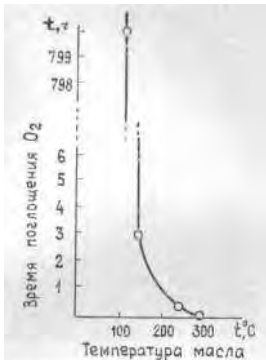


Рис. 8. Влияние температуры масла на скорость его окисления (время поглощения 5 мг O₂ 1 г масла)

Наиболее интенсивное осадкообразование начинается при температуре 120°C у масел на нефтяной основе. Критическая температура интенсивного окисления для них — 150...160°C. Синтетические масла выделяют осадки при более высокой температуре — критическая температура окисления этих масел 190...220°C. Характерным для этих условий является протекание цепной реакции окисления, которую можно остановить только путем прекращения подачи воздуха (кислорода).

Способность масла сохранять свои свойства при температурах до 300°C принято называть термоокислительной стабильностью. При более высоких температурах (300... 400°C и выше) преимущественно протекают процессы распада молекул, отщепления водорода и др. В этих условиях масло должно обладать термической стабильностью.

Термоокислительная стабильность определяет изменение кислотного числа в процессе эксплуатации, что сказывается на коррозионных свойствах масел и работоспособности маслосистемы в целом. Это свойство масел изменяется под действием высоких температур, интенсивного перемешивания масла с кислородом воздуха, каталитического действия металла и др.

Все нерастворимые в масле образования под действием температуры принято делить на нагары, лаки и осадки.

НАГАРЫ — твердые углеродистые отложения на стенках камеры сгорания, клапанах, свечах, днище и верхнем пояске боковой поверхности поршня в ПД. Скорость образования нагаров и их структура определяются качеством масла и топлива, организацией процесса горения, а, наибольшая толщина — тепловым режимом работы двигателя. Масло в зоне камеры сгорания при температуре пламени около 2500°C нагревается (с учетом времени облучения тепловыми потоками и теплоотвода в стенку цилиндра) до 350...400°C. Масло теряет легкие фракции, обугливается, и образуется нагар. Чем холоднее стенки камеры сгорания (интенсивнее охлаждение двигателя) и ниже температура горения (более богатая смесь топлива с воздухом), тем больше зона холодных температур и толще слой образующегося нагара.

Исследование профессора К. К. Папок показало, что качество и расход масла практически не влияют на нагарообразование в двигателе даже при его длительной работе. При установившемся тепловом процессе работающего двигателя одновременно с нагарообразованием происходит постоянное выгорание нагара. Скорость выгорания пропорциональна температуре двигателя — чем выше температурный режим, тем тоньше слой нагара. При этих условиях толщина слоя зависит от термической стабильности масла.

Эти же процессы протекают и в камере сгорания ГТД, где нагар в основном образуется в зоне охлаждаемых стенок.

ЛАКИ — богатые углеродом вещества, образующиеся на поршне в зоне поршневых колец, на юбке и внутренней стенке. В ГТД лаковые отложения наблюдаются вдоль беговых дорожек подшипников и на дисках турбин. Процесс лакообразования идет непрерывно, интенсивность его увеличивается с ростом температуры.

ОСАДКИ представляют собой липкую мазеобразную массу темного цвета шлам, образующуюся в зонах с относительно невысокой температурой.

Шлам состоит из продуктов окислительной полимеризации углеводородов: окискилот, смолисто-асфальтовых и углистых веществ (карбенов и карбоидов), воды и масла. При достижении определенной концентрации шлам, находящийся в масле во взвешенном состоянии в мелкодисперсном виде, начинает выпадать в осадок. Этот процесс способствует лакообразованию. Осадки могут образовываться при глубоком окислении в тонком слое, при высоких и пониженных температурах.

Диспергирующая способность масел удерживает нерастворимые осадки во взвешенном состоянии, что позволяет отфильтровывать их, очищая маслосистему двигателя.

Термоокислительную стабильность по методу К. К. Папок определяют следующим образом: на стальной диске устанавливается четыре цилиндрических кольца, в каждое из которых заливается по 0,05 г испытуемого масла. Вся система нагревается до температуры 250°C. Определяется время, необходимое для превращения масла в лакообразную пленку такой прочности, чтобы для отрыва кольца от диска потребовалась сила, равная одному кгс. Так как сила, необходимая для отрыва кольца, в

диапазоне 0,5... 3,0 кгс. находится в линейной зависимости от времени эксперимента, повторив опыт 2...3 раза, строят графическую зависимость силы отрыва кольца от времени нагрева масла, по которой определяют искомое время (рис 9).

Термоок и с л и гель ну ю

стабильность масел для ГТД оценивают по методу ВТИ (ГОСТ 981—55). По этому методу через 30 в масла пропускают



Рис. 9. Экспериментальная зависимость усилия отрыва кольца от времени выдержки масла при температуре 250°C

кислород со скоростью 200 мл в минуту в течение 14 часов при температуре 120°C. Стабильность масла оценивается массой осадка, кислотным числом и содержанием водорастворимых кислот.

По рекомендации профессора К. К. Папок более полная оценка возможного поведения масла в процессе лакообразования в двигателе производится при оценке свойств масел по трем стандартным методам: определению термоокислительной стабильности; моторной испаряемости, рабочей фракции и склонности к образованию лака; моющим свойствам.

После заполнения маслом четырех тарелочек диаметром 22 мм с высотой буртика 1 мм (по 0,035...0,040 г в каждую тарелочку) их выдерживают при заданной температуре. Через каждые 5... 10 минут снимают по одной тарелочке и взвешивают. Потеря в весе, выраженная в процентах, является показателем моторной испаряемости. Из остатка извлекается жидкая часть — рабочая фракция. Оставшиеся твердые вещества принимаются

за лак. По графической зависимости (рис. 10), построенной в координатах: процентное содержание рабочей фракции и лака — время выдержки, находят время, в течение которого испытуемое масло при заданной температуре превращается в лаковый остаток, состоящий из 50% рабочей фракции и 50% лака. Это время (на пересечении кривых точка А) определяет термоокислительную стабильность.



Рис. 10. Определение термоокислительной стабильности масла по интенсивности лакообразования: 1 — лак, 2 — рабочая фракция

Моющие свойства масел определяют при испытании их на и Виппер) по ГОСТ 5726—53.

Установка представляет собой модель четырехтактного поршневого одноцилиндрового двигателя, приводимого во вращение электродвигателем. Тепловой режим создается с помощью электрических нагревательных элементов, расположенных на головке и боковой поверхности цилиндра. В установку (в картер) заливается 250 мл испытуемого масла. Работа при заданном тепловом режиме продолжается два часа, после чего установка разбирается. Оценка моющей способности ведется в баллах условной шкалы, где за ноль принята чистая поверхность поршня и за шесть — поверхность, покрытая лаком черного цвета.

6.4. КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ

Одной из важных задач, выполняемых маслом, является консервация, т. е. защита от коррозии элементов конструкции двигателя. Однако некоторые вещества, содержащиеся в маслах или образующиеся в процессе их работы в двигателе, вызывают коррозию, особенно медно-свинцовых сплавов, свинцовистых баббитов и сплавов на основе кадмия.

Коррозию металлов могут вызвать три группы компонентов работавших масел: органические кислоты, образующиеся при окислении масла, водорастворимые кислоты и щелочи, попадающие в масло в процессе его производства, и активные сернистые соединения.

Наиболее агрессивными с точки зрения коррозии являются водорастворимые органические и неорганические кислоты и щелочи, действие которых усугубляется при наличии в масле воды. Эта группа компонентов взаимодействует с цветными и в меньшей степени с черными металлами. Коррозионная активность неорганических кислот и щелочи в десятки и сотни раз больше интенсивности коррозии под действием органических кислот и сернистых соединений. Коррозионное действие органических кислот и в узлах трения появляется при температурах более 50°C. На маслах с высокой кислотностью чаще наблюдается коррозионно-фрикционный (питтинговый) износ, однако четкой зависимости между кислотностью и интенсивностью коррозии не существует.

Активные сернистые соединения (сероводород, меркаптановая сера) и свободная сера вызывают коррозию сплавов серебра, меди и кадмия при температурах выше 140°C (см. [1], 3.5.1, с. 47...48; [3], гл. 111, разд. 4, с. 55...57). Следует напомнить, что сернистые соединения относятся к поверхностно-активным веществам и во многих случаях играют положительную роль, предотвращая задиры и сваривание трущихся поверхностей.

Коррозионные свойства масел оцениваются по методу Ю. А. Пинкевича. Прибор состоит из масляной бани, в которой находятся стеклянные пробирки при температуре 140°C с маслом (80 мл в каждой). Специальный механизм с повторяемостью 15 раз в минуту погружает в масло свинцовые пластинки определенного размера. Продолжительность испытания 50 часов. Степень коррозии определяется по потере веса пластинки в граммах на квадратный метр.

6.5. ИСПАРЯЕМОСТЬ МАСЕЛ

Испарение легких фракций масел в процессе их работы приводит к необратимым изменениям их состава и свойств. При температуре масла на выходе из двигателя не более 100°C потери из-за испарения незначительны. При температуре более

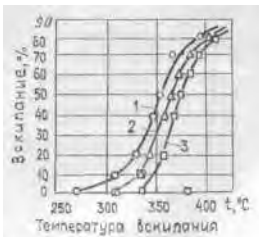


Рис. 11. Испарение масла МК-8 при работе в двигателе: 1 — свежее масло; 2 — масло после 50 часов работы; 3 — масло после 100 часов работы.

Чем легче масло, тем быстрее оно испаряется с нагретых деталей и тем выше значение его расхода.

Оценка испаряемости масел производится методом (ГОС! 20354-74), описанным в разд. 6.3 (по рекомендации проф. К. К. Папок).

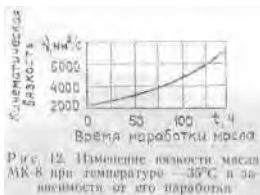


Рис. 12. Изменение вязкости масла МК-8 при температуре -35°C в зависимости от его наработки.

120°C (рис. 11) масло теряет легкие фракции и его вязкость увеличивается (рис. 12).

Увеличение вязкости масла за счет (в основном) испарения ухудшает его пусковые свойства, вынуждает производить запуск двигателей при более высокой температуре или с предварительным подогревом и в некоторых случаях приводит к замене масла.

Испаряемость синтетических масел (рис. 13) значительно хуже.

Испаряемость масел зависит от фракционного состава и теплового режима двигателя.



Рис. 13. Испаряемость масел в тонком слое: 1 — МК-6; 2 — МК-8; 3 — Б-3В; 4 — ВНИИ НП-50-1-4Ф.

ТЕМПЕРАТУРА ЗАСТЫВАНИЯ

Этот показатель определяет температуру, при которой масло теряет свою подвижность и является важной характеристикой, определяющей ориентировочную минимальную температуру, при которой возможен запуск двигателя без подогрева (табл. 5).

Марка масла	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре, °С		Индекс вязкости $\frac{v'}{v} - 20$ 50	Темпе- ратура засты- вания, °С, не выше	ратура ориенти- ровочная ми- нимальная применения без подо- грева, °С
	-40	-20			
МК-8, -8П, МС-8П	6500 4000	500 380	60 50	-55 -55	-25 -25
МС-20, -20С	—	—	—	-18	-5
Б-3В	12500	1000	60	-60	-35
ВНИИ НП-7	15000	2000	80	-60	-30
ВНИИ НП-25	—	5000	—	-54	-35
ВНИИ НП-50-1-4Ф	2000	350	40	-60	-40
36/1	3800	370	33	-60	-40

Масла не имеют четкой температуры перехода из жидкого в твердое состояние, поскольку застывание определяется двумя процессами: постепенным повышением вязкости вплоть до превращения масла в аморфную стекловидную массу с неупорядоченным расположением молекул и образованием кристаллического каркаса из высокоплавких парафиновых углеводородов. При температуре застывания практически невозможен слив масла.

Температура застывания определяется по ГОСТ 20287-74. Масло наливается в пробирку и в вертикальном положении погружается в охлаждающую смесь с определенной температурой. После охлаждения пробирку наклоняют под углом 45°. При температуре застывания мениск не должен смещаться в течение пяти секунд.

6.7. ВСПЕНИВАНИЕ МАСЛА

При интенсивном перемешивании масла с воздухом за счет разбрызгивания или струйной подачи его на охлаждаемые и смазываемые узлы образуется значительное количество воздушно-масляной эмульсии. С подъемом на высоту и выделением из масла растворенного в нем воздуха количество эмульсии значительно увеличивается. Вспененное масло переполняет отстойники, внутренние полости двигателя, часть свободного объема масляного бака и через суфлеры и дренажную систему может выйти в атмосферу.

В воздухоотделителе и маслобаке масло в значительной степени освобождается от воздуха, но часть его поступает в нагнетающую магистраль. Эта часть воздуха снижает высотность масляной системы, ухудшает смазку узлов, уменьшает охлаждающую способность масла, приводит к повышенному расходу его из-за выброса через дренажные и суфлирующие магистрали и более интенсивной испаряемости за счет значительного увеличения площади испарения. Наличие воздушно-масляной эмульсии в автоматических устройствах увеличивает время срабатывания агрегатов и приводит к возникновению колебательных процессов.

Отношение высоты слоя вспененного масла (Y_n) к его столбу после отстоя (по окончании разрушения пены) ($H_{\text{н}}$) называется коэффициентом вспениваемости:

$$K_{\text{в}} = H_n / H \quad (8)$$

Пенообразование зависит от величины поверхностного натяжения: малая величина поверхностного натяжения увеличивает пенообразование; большая — уменьшает. Пена в последнем случае состоит из мелких пузырьков, отличающихся значительной устойчивостью.

Прочность масляной пленки, образующей пузырь пены, пропорциональна вязкости масла. Маловязкое масло легче вспенивается, образуя менее устойчивую пену, обладающую большой скоростью усадки.

Вспениваемость масел увеличивается с подъемом на высоту (при постоянной температуре) и вначале растет с увеличением температуры до 80... 90°C, затем медленно уменьшается (рис. 14).



6.8. РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МАСЕЛ

Одна из форм проявления стабильности масел связана с сохранением их свойств при воздействии ядерной и космической радиации.

Результаты воздействия проявляются в частичном разрыве связей в молекулах углеводородов и их ионизации с образованием свободных радикалов и ионов, являющихся активными центрами цепных процессов окисления и полимеризации. Реак- 40

ции сопровождаются увеличением вязкости (рис. 15) вплоть до (при очень больших дозах) желатинизации. Увеличивается кислотное число, масло темнеет из-за появления высокоуглеродистых продуктов конденсации.

Загущенные масла в результате разрушения полимерных цепей загустителя при малых дозах становятся менее вязкими, затем ведут себя аналогично другим маслам, т. е. становятся более вязкими.

Воздействие радиации значительно снижает температуру вспышки — примерно в два раза.

Масла с высокой термической стабильностью отличаются хорошей радиационной стойкостью.



6.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МАСЕЛ

Контроль эксплуатационных свойств масел (смазывающая способность, стабильность, коррозионные свойства, испаряемость и др.) в процессе эксплуатации представляет определенные трудности, поэтому для их оценки определяются косвенные показатели — плотность, температура вспышки, коксуемость, зольность и др.

6.9.1. Плотность

Определяется по ГОСТ 3900—47 ареометром, гидростатическими весами, пикнометром, если при температуре 50°C вязкость масла меньше 200 мм²/с. При большей вязкости масло разбавляют равным объемом керосина с известной плотностью. Плотность испытуемого масла определяется по формуле

$$\rho_m = 2\rho_{см} - \rho_k \quad (9)$$

где ρ_m и ρ_k — соответственно плотность смеси и керосина при заданной температуре.

плотность, замеренная при произвольной температуре, приводится к значению плотности при 20°C:

$$\rho_m^{20} = \rho_m^t + \gamma(t - 20), \quad (10)$$

где ρ_m^{20} — плотность масла при 20 С;
 ρ_m^t — плотность, замеренная при температуре t;

γ — температурная поправка к плотности;
/ — температура масла в момент определения плотности.
Среднее значение температурной поправки либо берется из таблиц ([2], с. 227, приложение 3), либо определяется по формуле

$$\gamma = (18,310 - 13,233 \rho_w) \cdot 10^{-4} \quad (\text{п})$$

6.9.2. Температура вспышки, воспламенения и самовоспламенения

Температурой вспышки принято называть наименьшую температуру масла, при которой его пары в смеси с воздухом воспламеняются от открытого пламени.

Температура воспламенения — температура масла, при которой от открытого пламени кроме смеси паров масла с воздухом воспламеняется масло.

Температура самовоспламенения определяется как минимальная температура масла, при которой оно воспламеняется без постороннего источника.

Температура вспышки характеризует испаряемость масла и определяется в открытом или закрытом тигле (соответственно ГОСТ 4333-48 и ГОСТ 6356-75). В первом случае она должна быть не менее 200°C и не ниже 150°C во втором. Разница объясняется тем, что в герметичной системе закрытого тигля быстрее, т. е. при более низкой температуре, образуется необходимая для воспламенения концентрация паров масла в воздушной полости.

Температура воспламенения и самовоспламенения характеризует огнеопасность масла. Температура самовоспламенения паров масла в воздухе около 240°C, капель масла на стальной пластинке — 350°C. Обе температуры зависят от однородности фракционного состава масел, наличия различных примесей, наработки и др.

6.9.3. Коксуемость

По этому показателю судят о склонности масел к образованию нагара в двигателе. Строгой зависимости между коксуемостью в лабораторных исследованиях и нагарообразованием в двигателях не установлено.

Коксуемость зависит от химического состава масла (наличия в нем асфальто-смолистых веществ), степени очистки, плотности, вязкости, определяющих содержание тяжелых углеводородов, и др.

Коксуемость определяется (ГОСТ 19932-74) выдерживанием 10 г масла в фарфоровом тигле при высокой температуре без доступа воздуха. Масло испаряется и разлагается, выделяя 42

горючие газы и образуя кокс. Коксуемость в весовых процентах вычисляется по формуле

$$x = G_k \cdot 100 / G_m, \quad (112)$$

где G_k —масса кокса;

G_m — масса испытуемого масла.

Большинство присадок, вводимых в масло, увеличивают его коксуемость.

6.9.4. Зольность

Зольность масла характеризует содержание в нем солей органических и минеральных кислот и других веществ, которые в небольшом количестве могут оставаться в масле после очистки в процессе производства. Величина зольности зависит главным образом от качества масла.

Определение зольности производится по ГОСТ 1461—75 сжиганием навески испытуемого масла около 25 г в доведенном до постоянной массы фарфоровом тигле при помощи фитиля из бумажного обеззоленного фильтра и прокаливания твердого остатка при температуре $600 \pm 50^\circ\text{C}$ (при темно-красном калении) до полного озоления (до постоянной массы). Зольность в процентах вычисляют по формуле

(13)

где G_z — масса золы, г;
 G_n — навеска испытуемого масла, г;
 G_f — масса золы бумажного фильтра, г.

6.9.5. Кислотное число

Содержание органических кислот в маслах, образующихся при их окислении и вызывающих коррозию металлов, оценивают по количеству щелочи (КОН), потребовавшейся на их нейтрализацию. Показатель их содержания в одном грамме смазочного масла называется кислотным числом.

Определение кислотного числа производится в соответствии с ГОСТ 5985-79 и др. Для этого в навеску испытуемого масла (минеральные масла 8...

10 г, Б-3В и 36/1 — не более 2 г, ВНИИ НП 50-1-4Ф — 2...3 г, ИПМ-10 — 2...10 г) добавляют 50 см^3 прокипяченного и нейтрализованного этилового спирта с добавкой $0,5\text{ см}^3$ индикатора (для минеральных масел индикатор нитразиновый желтый, для синтетических — щелочной голубой — алкали-бляу). Содержимое колбы кипятят при постоянном помешивании в течение 5 минут в вставленном в пробку обратным холодильником. После чего раствор титруют в присутствии индикатора 0,05 Н спиртовым раствором КОН до изменения цвета от последних 1...2 капель от синего до красного

с индикатором алкали-блеу или от желтого до зеленого с индикатором нитразиновым желтым. Кислотное число вычисляется по формуле

$$K = VT/G, \quad (14)$$

где V — объем 0,05 Н раствора едкого кали, пошедший на титрование, мл;
 T — титр 0,05 Н раствора едкого кали, мг;
 G — навеска испытуемого масла, г.

Кислотное число свежих минеральных масел не более 0,04...0,10 мг КОН/1 г; для дизфирных до 0,22...0,25; для полиэфирных 4,5...6,0.

Оценка коррозионной способности масла по кислотному числу весьма относительна, поскольку в разных условиях для разных масел кислотность изменяется в очень широких пределах — от значений, соответствующих свежему маслу, до многократного изменения кислотного числа.

6.9.6. Водорастворимые (неорганические) кислоты и щелочи

Эти вещества составляют вторую группу активных соединений, вызывающих интенсивную коррозию и цветных, и черных металлов.

Определение содержания водорастворимых кислот и щелочей (ГОСТ 6307—75) производится следующим образом: в делительную воронку наливают 50 мл подогретого до 70...80°C испытуемого масла и то же количество нагретой до температуры масла дистиллированной воды. После перемешивания в течение пяти минут смесь отстаивают и водный раствор сливают в две пробирки по 1...2 мл в каждую. С помощью индикаторов метилового оранжевого и фенол-фталеина определяют содержание активных компонентов масел. В норме они должны отсутствовать.

6.9.7. Механические примеси

Анализ содержания механических примесей (подробнее см. [4], разд. 6) производится в соответствии с ГОСТ 6370—83 и ГОСТ 12275—66.

Для анализа дисперсионного состава загрязнений наиболее широкое применение нашли микроскопический и седиментационный методы.

Определение дисперсионного состава механических примесей производится путем просмотра микрообъема масла под микроскопом с увеличением 200...500^x или подсчета количества и измерения размера частиц, осажденных на предметное стекло, спе-

циальный фильтр или на дно кюветы. Эти операции рекомендуется производить на микрофотографиях. Количество частиц каждой размерной группы (ГОСТ 17216—71) в 1 мм³ масла определяется по формуле

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{nSh}, \quad (15)$$

где X —количество частиц данной группы в 1 мм³ масла, шт;

X_i —количество частиц данной группы в одном поле зрения, шт;

n —количество полей зрения;

S —площадь поля зрения, мм²;

h — высота столба пробы в кювете, мм.

Седиментационный метод контроля дисперсионного состава загрязнений основан на измерении размера частиц по эквивалентному диаметру, который определяется на основании скорости их осаждения согласно закону Стокса:

$$d_s = \sqrt{\frac{18\mu}{(\rho_p - \rho)g} \frac{H}{t}},$$

μ — динамическая вязкость масла, Н/м²;

ρ , — плотность загрязнении, кг/м³;

H — расстояние, пройденное частицей, м;

t — время осаждения частицы, с.

Подсчет количества частиц может производиться весовым или оптическим способами.

6.9.8. Содержание воды

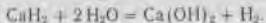
Определение влагосодержания в масле производится химическими, электрохимическими, физико-химическими, физическими, оптическими и ядерно-физическими методами ([4], разд. 6).

В основу химических методов положены химические реакции, протекающие с участием содержащейся в масле воды. Качественные методы основаны на добавлении в рабочую жидкость химических веществ, изменяющих в присутствии воды окраску или придающих окраску испытуемому маслу. В качестве таких веществ используются водорастворимые соли. Например, в приборе ПОЗ-Т один слой индикаторной ленты пропитан солью трехвалентного железа, другой — красной и желтой кровяной солью.

К количественным химическим методам определения содержания воды относятся газометрические, титриметрические и термометрические.

Газометрические методы основаны на измерении объема газа, выделяемого при взаимодействии воды с вводимыми в масло химическими веществами. Например, реакция взаимодействия

воды с гидридом кальция протекает с выделением водорода:



Титриметрические методы определения воды основаны на титровании рабочих испытуемых жидкостей. В качестве реактивов для прямого титрования используют реактив Фишера (раствор йода, сернистого ангидрида и пиридина в метаноле), ряд органических соединений щелочных металлов и их растворы в жидком аммиаке. С помощью реактива Фишера можно определить содержание воды до 0,001% по массе.

Термометрические методы оценки влагосодержания заключаются в измерении количества тепла, выделяющегося при взаимодействии воды с некоторыми веществами. Достаточно большие тепловые эффекты имеют простые и комплексные гидриды, иятиокись фосфора, серная кислота и др. Например, для гидрида кальция тепловой эффект равен 104,7 кДж, для реактива Фишера — 67,4 кДж/моль.

Количество выделившегося тепла оценивается измерением температуры обычными термометрами, термомпарами и др.

Широкое применение для анализа влагосодержания в топливах, маслах и гидравлических жидкостях нашли физические методы.

Качественное определение воды в маслах и гидравлических жидкостях производится лабораторным методом по ГОСТ 1547—84 с помощью прибора, состоящего из масляном бани, в которую помещена пробирка с испытуемой жидкостью. Если при нагревании масла до 130...150°C наблюдается вспенивание масла или слышится потрескивание, значит, в пробе имеется вода.

На свойстве некоторых веществ светиться в ультрафиолетовых лучах после взаимодействия с водой основаны портативные приборы «Аква-Гло» и «Гидроскан» (США). Через приборы пропускают 0,5 л топлива. Эмульсионная и свободная вода, попадая на индикатор (пористые диски, покрытые тонким слоем урана), вызывает появление пятен, видимых под ультрафиолетовыми лучами. Количество воды определяют, используя сравнительную шкалу. Чувствительность прибора 0,0005% по массе. Время проведения анализа до пяти минут.

К физическим методам определения содержания эмульсионной и свободной воды относится метод, разработанный в Куйбышевском авиационном институте (Л. Г. Ключарев и др.), в котором используется разница плотности и поверхностного натяжения воды и авиационных рабочих жидкостей (керосины, масла) и особенности ультразвукового диспергирования.

Сущность метода заключается в том, что определенное количество рабочей жидкости распыливается пневматической ультра- 46

звуковой малорасходной форсункой с последующей сепарацией в гравитационном иоле и отложением или исчезновением капель воды на гидрофобной поверхности кюветы, заполненной обезвоженной углеводородной жидкостью. Фиксирование капель воды производится оптическим способом.

7. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МАСЕЛ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ В ДВИГАТЕЛЕ

7.1 ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МАСЕЛ ПРИ РАБОТЕ В ГТД

Свойства свежего масла резко изменяются в первые часы его работы в двигателе. Эти изменения обусловлены воздействием сравнительно высоких температур, механических нагрузок, каталитическим действием металлов, механическими примесями внешнего и внутреннего происхождения, наличием воды и др.

В процессе работы масла в двигателе происходит интенсивное увеличение его вязкости (рис. 16) в первые 25...50 часов (см. разд. 6.1). Это приводит к ухудшению пусковых свойств: свежее масло МК-8 обеспечивает запуск при температуре -35°C ; через 100 часов наработки запуск двигателя при температуре $-25\text{...}-30^{\circ}\text{C}$ значительно затрудняется. Масла МК-6 и МС-6 по стабильности несколько лучше масла МК-8 за счет меньшего содержания высококипящих малостабильных углеводородов.



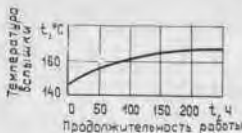


Рис. 17. Изменение температуры испаряшки масла в зависимости от выработки

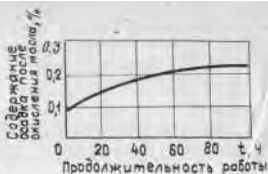


Рис. 18. Изменение кислотности масла в зависимости от выработки



Рис. 19. Изменение показателей термоокислительной стабильности масла в зависимости от выработки: 1 — асфальтены; 2 — смолы; 3 — вязкость

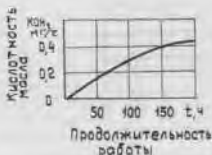


Рис. 20. Изменение содержания осадка, образующегося в процессе окисления минерального масла в зависимости от выработки

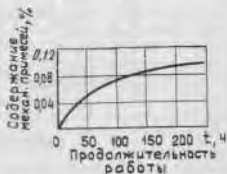


Рис. 21. Изменение содержания механических примесей в зависимости от выработки

Масло МК-6 меньше изменяет вязкость по сравнению с МС-6, поскольку значительно больше содержит малоразветвленных полициклических углеводов, образующих при окислении фенольные соединения — естественные антиокислители.

Потеря легких фракций в первые часы работы масла приводит к увеличению температуры вспышки (рис. 17), которая через 100... 150 часов работы масла стабилизируется.

Масло в процессе работы быстро темнеет, увеличивается его кислотность (рис. 18). Рост ее наблюдается в течение очень большого срока работы, но наиболее интенсивно в первые 100...150 часов. Одновременно увеличивается коксуемость масла, ухудшается термоокислительная стабильность (рис. 19), увеличивается количество осадков (рис. 20). В масле появляются механические примеси (рис. 21) в виде атмосферной пыли и частиц износа деталей двигателя. Это приводит к увеличению зольности масла.

В дальнейшем (после 50... 150 часов наработки) происходит стабилизация всех процессов, которой способствуют фильтрация масла, центрифугирование, образование фенольных соединений и уменьшение каталитического действия металлов за счет образования граничных пленок. Кроме этого, свойства работающего масла стабилизируются за счет постоянного долива свежего масла, восполняющего потери на утечки и испарение.

Масла с физико-химическими и эксплуатационными показателями, стабилизирующимися после 50... 150 часов работы в двигателе, вполне обеспечивают его нормальную работу, что позволяет производить замену масла через большие промежутки времени. Например, масло МК-8П на самолетах Ил-62 (двигатели НК-8-4) заменяется через 1200 часов, на ИЛ-62М (двигатели ДЗОКУ) через 300 часов, на ИЛ-76Т (двигатели НК-86) через 200 часов, Ту-134 (двигатели ДЗОГ1) через 300 часов, Як-40 (двигатели Ли-25) через 1200 часов.

7.2. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МАСЕЛ ПРИ РАБОТЕ В ПОРШНЕВОМ ДВИГАТЕЛЕ

Свойства свежего масла в ПД интенсивно изменяются в первые 50 часов его работы. В масле протекают процессы окислительной полимеризации углеводов, в результате в нем накапливаются продукты окисления (асфальтены, смолы, карбоныды, органические кислоты). Происходит постепенное накопление неорганических примесей в виде атмосферной пыли, продуктов износа деталей и их коррозии (рис. 22...24). Продукты окислительной полимеризации, выпадающие из масла в виде лаковой пленки на деталях двигателя, уменьшают каталитическое действие металлов на процесс окисления.

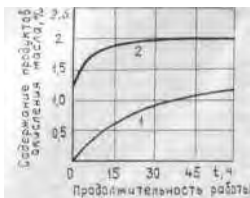


Рис. 22. Изменение содержания карбонен, карбондиоксида (1) и смолы (2) в масле в зависимости от продолжительности работы ПД

В зимнее время для облегчения последующего запуска авиационного поршневого двигателя масло перед остановом двигателя разжижают бензином до 10% емкости маслосистемы. Температура застывания масла в этом случае понижается примерно на 10°, что позволяет производить запуск двигателя до температуры —25...—30°C (с неразжиженным маслом до —5°C).

Приблизительно через 00 минут после запуска (рис. 25) бензин из разжиженного масла испаряется и исходная вязкость масла постепенно восстанавливается. В масле остается 2...3% бензина, количество которого постоянно поддерживается в результате проникновения

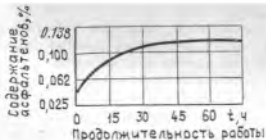


Рис. 23. Изменение содержания асфальтенов в масле в зависимости от продолжительности работы ПД

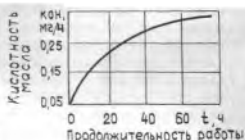


Рис. 24. Изменение кислотности масла в зависимости от продолжительности работы ПД

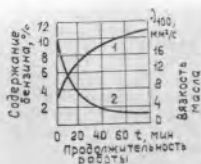
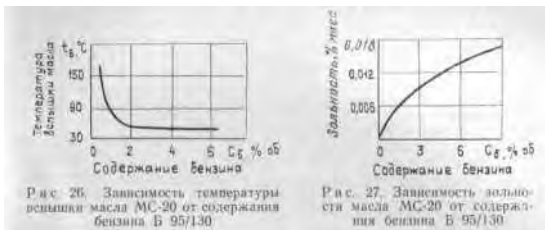


Рис. 25. Изменение вязкости разжиженного бензином масла и процесса запуска ПД: 1 — изменение вязкости; 2 — концентрация бензина

его из цилиндров двигателя. Испарение бензина сопровождается вытягиванием из масла легких фракций.

К другим недостаткам, обуславливающим ухудшение свойств масел, содержащих бензин, относятся уменьшение температуры вспышки и увеличение зольности (рис. 26...27) из-за наличия тетраэтилсвинца. Через 10 часов работы масла с содержанием бензина 1% (объемн.) количество механических примесей возрастает до 2,5...4,8% (мае.) и



увеличивается коксуемостью до 1,4% (мае). Несмотря на такие ухудшения свойств, масла с содержанием 1% (объема.) бензина можно использовать по прямому назначению.

8. ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ И АГРЕГАТОВ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СВОЙСТВАМИ МАСЕЛ

В большинстве случаев отказы и неисправности авиационной техники, обусловленные неудовлетворительными свойствами масел или их неграмотным использованием, проявляются постепенно. Связаны они преимущественно с износом трущихся деталей, отложениями на них продуктов окисления масел и их коррозией. В связи с этим необходимо контролировать чистоту масел в системе, противоизносные, антикоррозионные свойства и стабильность (устойчивость к окислению). Следует отметить, что поршневые двигатели более чувствительны к изменению свойств масел, чем ГТД.

К характерным неисправностям маслосистемы, обусловленным неудовлетворительными свойствами масел, относятся следующие:

мало давление масла вследствие вспенивания масла в баке, забивки фильтров, нсдозаправки системы во время ТО, отказа перепускных клапанов насосов (попадание под клапан твердых частиц);

перегрев масла в ТМР (постепенное повышение температуры масла в процессе его работы) в результате загрязнения термоокислительными осадками топливных и масляных полостей ТМР из-за недостаточной термоокислительной стабильности топлива и масла;

плохая откачка масла из двигателя и превышение норм температуры масла на входе в двигатель из-за чрезмерно низкой или высокой вязкости масла, его чрезмерной вспениваемости;

нарушение циркуляции масла из-за закупорки форсунок, подающих масло к узлам трения (как правило, не сопровождается изменением давления), что ведет к перегреву и разрушению узлов с ухудшенным маслоснабжением — при этом наблюдается повышение температуры масла;

дымление поршневого двигателя на всех режимах, особенно на малом газе, с появлением алюминиевой стружки на фильтре в результате задиров на поршне и заклинивания поршневых колец в отдельных цилиндрах из-за низкой смазывающей и термоокислительной способности масла;

выброс масла из системы вследствие его перезаливки при дозаправке.

При запуске двигателя и выводе его на повышенные обороты без предварительного подогрева (температура масла на входе в двигатель должна быть не менее +50°C для Ан-2, +30°C для Ка-26 и не менее нижнего предела рекомендуемого диапазона для ГГД: +40°C для Ил-62, Ту-154; +20°C для Як-40; + 50°C для Ту-134) уменьшается прокачка масла через опоры ротора из-за повышенной вязкости, вызывая уменьшение теплоотвода. Это может привести к увеличению температуры элементов, особенно подшипника турбины, воспринимающего дополнительные тепловые потоки от газоздушного тракта, к температурному увеличению их размеров и уменьшению до нуля зазоров. Это приводит к разрушению подшипника. Внешним признаком разрушения является обилие металлических частиц на фильтрующих элементах, повышение вибраций и температуры масла, характерный металлический скрежет и уменьшение времени свободного выбега ротора. В конечном итоге происходит заклинивание ротора. При этом на лопатках соплового аппарата и турбины могут наблюдаться следы постороннего металла.

Разрушения или повреждения лабиринтных уплотнений элементами разрушающегося подшипника могут вызвать дымление двигателя из-за сгорания попадающего в газоздушный тракт масла.

Понижение вязкости применяемого масла приводит к увеличению радиальных зазоров в подшипниках. На дорожках качения в местах контакта с шариками при высоких нагрузках появляются вмятины, развивающиеся в очаги усталостного выкрашивания.

9. ДЕЙСТВИЕ МАСЕЛ НА ДЕТАЛИ ИЗ РЕЗИНЫ

Применяемые в масляных системах элементы и уплотнения из резины, паронита и других материалов разрушаются в большей степени вследствие химического и физического взаимодействия с основной маслу, а не с поверхностно-активными примесями и продуктами окисления. Они постепенно набухают, происходит уменьшение их прочности, потеря эластичности, появляются трещины. Масло при этом загрязняется частицами разрушившегося материала.

Наиболее агрессивными по отношению к резине и паронигу являются ароматические углеводороды, во втором месте нафтен ы и наиболее пассивными являются парафиновые углеводороды. Для ряда авиационных масел установлена норма по нижнему пределу анилиновой точки (критической температуре растворения топлив или масел в анилине): чем она выше — тем меньше ароматических углеводородов в масле. Наибольшее значение анилиновой точки имеют масла, содержащие большое количество парафиновых углеводородов.

Резины марок В-14, НО-68-1, ИРП-1078 и ИРП-1078А хорошо работают в среде масел Б-3В, ВНИИ НП-50-1-4Ф, 36/1, МК-8, МК-8П и не могут работать в сернистом масле МС-8П. Для масел МК-8, -8П и МС-8П используются резины 51-1434 и 1287. Резина марки 1316 не взаимодействует с маслами МК-8, 8Г1 и МС-8Г1. Резина марки 3826 предназначена для всех масел, кроме МС-8Г1 и 36/1.

Синтетические масла, как правило, отличаются более агрессивным действием на резину. Интенсивность действия масел на резиновые и паронитовые изделия увеличивается с ростом температуры.

10. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АВИАЦИОННЫХ ГОРЮЧЕСМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основанием для допуска к применению определенной марки или сорта авиаГСМ является соответствие его качества, т. е. совокупности эксплуатационных, физико-химических и экологических свойств требованиям авиационной техники и защиты окружающей среды.

Новый сорт (марка) авиаГСМ, разработанный по техническим требованиям заказчика, до поступления в эксплуатирующие подразделения проходит лабораторные исследования по комплексу квалификационных методов оценки эксплуатацион-

приемосдаточных	контрольных	полных
	1. Плотность при 20°C	1. Плотность при 20°C
1. Плотность при 20°C	вязкость при 50°C или 100°C (в зависимости от марки масла)	вязкость при 20, 50 и 100°C (в зависимости от марки масла)
2. Содержание механических примесей и воды	Содержание механических примесей и воды	Содержание водорастворимых кислот и щелочен
	Содержание водорастворимых кислот и щелочен	температура вспышки в открытом тигле
	5. Температура вспышки	Содержание механических примесей и воды
		Кислотное число
		Вязкость

11. ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАСЕЛ НА НАДЕЖНОСТЬ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В этом разделе, по аналогии с соответствующим разделом в [7], влияние эксплуатационных свойств масел на надежность двигателей рассмотрим по отдельным узлам масляной системы двигателя по схеме:

1) эксплуатационные свойства и контрольные показатели качества масла, влияющие на состояние и работоспособность узлов и элементов масляной системы двигателя;

2) процессы, явления и параметры, непосредственно зависящие от свойств масел;

3) опасные последствия и эксплуатационные особенности, вызванные неудовлетворительным качеством масла.

11.1. ПОУЗЛОВОЙ (ПОЭЛЕМЕНТНЫЙ) ПЕРЕЧЕНЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ И КОНТРОЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МАСЕЛ, ВЛИЯЮЩИХ НА СОСТОЯНИЕ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПЕРЕЧИСЛЯЕМЫХ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ

М а с л о б а к : испаряемость; температура застывания; вспениваемость; вязкость.

Н а г н е т а ю щ и й н а с о с : растворимость воздуха; испаряемость; температура вспышки; температура застывания; вязкость; давление насыщенных паров.

Ф и л ь т р : механические примеси; термостабильность; термоокислительная стабильность; температура застывания; взаимодействие с резиной.

П о д ш и п н и к и р о т о р а : вязкость; смазывающая способность; механические примеси; термостабильность; термоокислительная стабильность; плотность; содержание воды; водорастворимые кислоты и щелочи; кислотное число; коррозионные свойства; коксуемость; зольность; температура застывания.

П р и в о д ы а г р е г а т о в : вязкость; смазывающая способность; коррозионные свойства; вспениваемость; температура застывания; коксуемость; кислотное число; механические примеси; содержание воды; плотность; термоокислительная стабильность.

О т к а ч и в а ю щ и е н а с о с ы : растворимость воздуха; испаряемость; температура вспышки; вспениваемость; механические примеси; наличие воды.

Система суфлирования: вспениваемость; растворимость воздуха; температура вспышки; испаряемость.

Радиатор: вязкость; теплопроводность; теплоемкость; термоокислительная стабильность; растворимость воздуха; коксуемость; зольность; кислотное число; водорастворимые кислоты и щелочи; сера и серосодержащие вещества; коррозионные свойства.

Редуктор: вязкость; смазывающая способность; термоокислительная стабильность; коррозионные свойства; вспениваемость; температура застывания; коксуемость; зольность; кислотное число; водорастворимые кислоты и щелочи; механические примеси; наличие воды.

11.2. ПРОЦЕССЫ. ЯВЛЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ, НЕПОСРЕДСТВЕННО ЗАВИСЯЩИЕ ОТ СВОЙСТВ МАСЕЛ

Маслобак: заправка и слив; накопление пены.

Нагнетающий насос: кавитация; пульсация давления на выходе; производительность; сопротивление вращению.

Фильтр: закупорка твердыми частицами и липкими образованиями.

Подшипники ротора: охлаждение; износ; лакообразование; коррозия.

Приводы агрегатов: разрушение уплотнений; разрушение зубьев шестерен; коррозия; отвод тепла; лакообразование; сопротивление вращению.

Откачивающие насосы: производительность; кавитация; пульсация давления на выходе.

Система суфлирования: переполнение суфлируемых полостей; испарение легких фракций; увеличение вязкости.

Радиатор: теплоотдача в стенки; отложение лаков; отложение нагара.

Редуктор: фрикционный износ; сила трения; охлаждение.

11.3. ОПАСНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ. ВЫЗВАННЫЕ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫМ КАЧЕСТВОМ МАСЕЛ

Маслобак: трудность обслуживания.

Нагнетающий насос: масляное голодание; разрушение узлов трения.

Фильтр: снижение прокачки; увеличение перепада давления.

Подшипники ротора: затруднение запуска; разрушение подшипников; заклинивание ротора двигателя.

Приводы агрегатов: отказ различных сигналов, утечка масла.

Откачивающие насосы: уменьшение или прекращение производительности.

Система суфлирования: потери масла; затруднение пуска.

Радиатор: высокая температура масла; нагарообразование; лакообразование; рост кислотности; деструкция вязкоемкой присадки; нарушение температурного режима двигателя.

Редуктор: затруднение пуска; разрушение зубьев шестерен; заклинивание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенов А. Ф. Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости. — М.: Транспорт, 1970. — 256 с.
2. Инструкция по применению и контролю качества авиационных горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей в гражданской авиации (приказ министра гражданской авиации СССР от 2 августа 1978 года, Лг 119).
3. Коваленко В. П. Загрязнения и очистка нефтяных масел. М.: Химия, 1978. — 304 с.
4. Ключарев Л. Г. Чистота авиационных топлив, масел и специальных жидкостей и ее контроль: Учебн. пособие. Куйбышев: КуАИ, 1983. — 75 с.
5. Папок К. К., Рагозин Н. А. Словарь по топливам, маслам, присадкам и специальным жидкостям. — М.: Химия, 1975. — 392 с.
6. Резников М. Е. Топлива и смазочные материалы для летательных аппаратов. - М.: Оборонгиз, 1973. - 231 с.
7. Углов Б. А. Эксплуатационные свойства реактивных топлив и надежность авиационных силовых установок: Учебн. пособие. — Куйбышев: КуАИ, 1986. — 68 с.
8. Шишков И. П., Белов В. Б. Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости. М.: Транспорт, 1979. — 247 с.
9. Химмотология в гражданской авиации: Справочник/Пискунов В. \, Зрелое В. Н. и др. — М.: Транспорт, 1983. — 248 с.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. История применения смазочных масел	3
2. Взаимодействие конструктивных элементов и смазывающей среды в узлах трения	5
2.1. Физико-механические свойства поверхностных слоев	5
2.2. Физические явления в смазочном слое (в месте контакта трущихся поверхностей)	6
3. Условия работы масел в двигателях ЛА	9
3.1. Условия работы масел в поршневых двигателях	9
3.2. Условия работы масел в турбореактивных двигателях	10
3.3. Условия работы масел в турбовинтовых двигателях	12
4. Сорта и качество масел для авиационных двигателей	12
4.1. Основные показатели качества минеральных масел для ПД	12
4.2. Основные показатели качества минеральных масел для ТРД	14
4.3. Основные показатели качества минеральных масел для ТВД	15
4.4. Основные показатели качества синтетических масел для ГТД	16
5. Присадки к маслам	18
5.1. Вязостные присадки	18
5.2. Деаэрирующие присадки	19
5.3. Противозносные присадки	20
5.4. Антиокислительные присадки	21
5.5. Противокоррозионные присадки	23
5.6. Противопенные присадки	23
5.7. Моющие присадки	24
5.8. Многофункциональные присадки	25
6. Эксплуатационные свойства масел и методы их определения	26
6.1. Вязкость масел	26
6.2. Смазывающая способность масел	29
6.3. Стабильность масел	32
6.4. Коррозионные свойства масел	37
6.5. Цепляемость масел	37
6.6. Температура застывания	38
6.7. Вспениваемость масел	39
6.8. Радиационная стойкость масел	40
6.9. Контрольные показатели качества масел	41
7. Изменение свойств масел в процессе работы в двигателе	47
7.1. Изменение свойств масел при работе в ГТД	47
7.2. Изменение свойств масел при работе в поршневом двигателе	49
8. Характерные неисправности двигателей и агрегатов масляной системы, обусловленные свойствами масел	51
9. Действие масел на детали из резины	53
10. Организация контроля качества авиационных термостойких материалов	53
11. Влияние эксплуатационных свойств масел на надежность газотурбинных двигателей	55
Библиографический список	57

Автор Борис Алексеевич У г л о в

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ И НАДЕЖНОСТЬ
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Редактор Т. К. К р е т и н и н а Техн. редактор Н. М. К а л е н ю
к Корректор Н. С. К у п р и я н о в а

Св. план, 1988. поз. 98
Сдано в набор 4.04.88 г. ЕО 00185.
Подписано в печать 12.05.88 г.
Бумага оберточная белая. Печать высокая.
Гарнитура литературная.
Уел. п. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,4. Т. 500 экз.
Заказ 506. Цена 15 к.
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. академика С. П. Королева, г.
Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.