

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель практических занятий

Практические занятия являются важной составной частью программы изучаемого студентами курса «Техническая эксплуатация и ремонт авиационной техники».

Цель данных практических занятий – закрепление студентами знаний лекционного материала по разделу программы «Технология технического обслуживания летательных аппаратов».

Материал, представленный в данном пособии, позволяет студентам достаточно подробно познакомиться с особенностями технологии технического обслуживания (ТО) силовых установок (СУ) и систем, относящихся к ним (исключая специальное оборудование), в процессе технической эксплуатации современных типов летательных аппаратов (ЛА).

1.2. Основные вопросы, подлежащие изучению по теме занятий

1. Влияние условий эксплуатации на надежность силовых установок ЛА.
2. Типовые отказы и повреждения основных элементов конструкции авиадвигателей.
3. Методы и средства контроля и диагностирования силовых установок.
4. Особенности технического обслуживания силовых установок ЛА.
5. Особенности запуска и опробования газотурбинных двигателей (ГТД).

1.3. Указания по проведению занятий

Порядок проведения практических занятий предусматривает:

1. Получение накануне студентами у преподавателя контрольных вопросов по разделам данных методических указаний и литературы для подготовки к занятиям.
2. Подготовку всеми студентами материала по всей совокупности выданных контрольных вопросов и составление кратких рефератов. Рефераты включают: основные сведения о двигателе и его системах, типовые отказы и их причины, методы поиска и устранения отказов, порядок проверки работоспособностей, особенности ТО, необходимые эскизы, схемы, графики и т.п.
3. Выборочный опрос студентов на занятиях.
4. Дополнительное изучение с участием преподавателя наиболее существенных особенностей технической эксплуатации силовых установок.
5. Подведение итогов занятия.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Влияние условий эксплуатации на надежность силовых установок

Силовая установка ЛА состоит из двигателя, а также систем и устройств, обеспечивающих его работу. К числу основных систем СУ относятся: топливная, масляная, охлаждения, противопожарная, противообледенительная, запуска, всасывания и выпуска; к устройствам относятся: крепления двигателя, гондола, управление силовой установкой и воздушный винт (у поршневого и турбовинтового двигателей).

2.1.1. Влияние атмосферных условий

На техническое состояние двигателей и систем силовой установки в значительной мере оказывают влияние условия эксплуатации авиационной техники как на земле, так и в полете. ЛА гражданской авиации эксплуатируются в различных климатических условиях и на трассах неодинаковой протяженности.

Внешние условия окружающей среды влияют на работу силовых установок на земле и в процессе взлета и набора высоты. При низких температурах наружного воздуха значительно ухудшаются условия работы СУ прежде всего на переходных режимах: при запуске, прогреве и изменении режимов двигателя. Кроме того, при низких температурах из-за увеличения вязкости масла ухудшаются условия смазки трущихся поверхностей двигателей и происходит повышенный их износ.

Низкие температуры окружающей среды ухудшают эластичность резиновых изделий, применяющихся в большом количестве в силовых установках в виде уплотнений, дюритовых соединений, шлангов, что приводит часто к нарушению герметичности указанных соединений.

При высоких температурах наружного воздуха возникают повышенные термические нагрузки в горячих частях двигателя (камер сгорания, элементов турбины), ухудшаются условия охлаждения масла при работе двигателей на земле, что приводит к значительному уменьшению вязкости масла и ухудшению смазки двигателя.

К внешним условиям окружающей среды, влияющим на техническое состояние СУ, следует отнести также состояние аэродромов и степень запыленности воздуха. Наличие посторонних предметов на ВПП, рулёжных полосах и стоянках самолета может привести к повреждению лопаток компрессоров и воздушных винтов. Характерно, что досрочная съемка отдельных типов ТРД из-за попадания в компрессор посторонних предметов достигает 40-50% от общего количества досрочно снятых с эксплуатации двигателей. Для предотвращения попадания посторонних предметов в

компрессор двигателя необходимо тщательно следить за состоянием ВПП, рулежными дорожками (РД) и местами стоянки ЛА, а также производить своевременное выключение двигателей в случаях выкатывания самолета за пределы ВПП.

При эксплуатации поршневых двигателей в условиях пыльных аэродромов происходит повышенный износ цилиндро-поршневой группы. Имеющиеся сетчатые пылефильтры не могут обеспечить в достаточной мере очистку воздуха от пыли.

При эксплуатации ГТД в условиях повышенной пыльности происходит износ лопаток компрессоров, жаровых труб из-за попадания абразивных веществ в проточную часть двигателей. Кроме того, находящиеся в воздухе абразивные частицы попадают в масло и топливо, в результате чего происходит ускоренный износ подшипников, размывание каналов топливных форсунок, засорение топливных и масляных фильтров. Кроме того, происходит загрязнение компрессоров двигателей.

Поэтому при эксплуатации двигателей в условиях пыльных аэродромов необходимо принимать меры, предотвращающие возникновение пыли и попадание её в двигатели, необходимо своевременно герметично закрывать воздухозаборники и реактивные насадки.

К внешним условиям, влияющим на техническое состояние двигателей, следует также отнести влажность воздуха. При эксплуатации двигателей в условиях повышенной влажности, в особенности в зонах жаркого морского климата, происходит коррозия деталей газоздушного тракта, выполненных из алюминиевых и магниевых сплавов. Поэтому возникает необходимость их периодического контроля и дополнительной защиты в эксплуатации путем нанесения лакокрасочных покрытий и масляных пленок. В условиях повышенной влажности наблюдаются случаи отказов в работе систем зажигания поршневых двигателей из-за попадания влаги в магнето и в коллекторы проводников высокого напряжения.

2.1.2. Влияние режимов эксплуатации

Наиболее существенное влияние на надежность двигателей оказывают условия летной эксплуатации. В зависимости от протяженности воздушных трасс будет различная наработка двигателей в пределах заданного ресурса на взлетном, номинальном режимах и соответствующее количество запусков. Указанные режимы являются наиболее напряженными, вследствие чего по ним ограничивается ресурс двигателей.

Выполненный статистический анализ досрочного съема двигателей АИ-20, эксплуатировавшихся на линиях различной протяженности, позволил установить, что один час наработки на взлетном режиме влияет на интенсивность отказов почти в 4 раза выше, чем один час работы на номинальном режиме.

На техническое состояние двигателей существенное влияние оказывают не только режимы, используемые при взлете и наборе высоты, но и режимы горизонтального полета. Длительное использование повышенных крейсерских режимов снижает усталостную прочность основных нагруженных узлов двигателей. В настоящее время используются автоматические регистраторы наработки двигателей по режимам, что позволяет контролировать эксплуатацию двигателей в полете, предупреждать нарушения в использовании режимов в полете двигателя и может быть исходным материалом для увеличения индивидуальных ресурсов двигателей.

Состояние двигателей и систем силовой установки во многом зависит от качества применяемых смазочных материалов и топлив. Применение некачественных топлив для ГТД приводит к быстрому засорению топливных фильтров, повышенному износу топливных насосов и топливорегулирующей аппаратуры ГТД.

Наличие в топливах сульфата натрия, окиси ванадия при определенных условиях приводит к образованию легкоплавких соединений на лопатках турбины и вызовет высокотемпературную газовую коррозию лопаток. Заправляемые топлива и масла должны соответствовать техническим условиям и в эксплуатации должна обеспечиваться тщательная их фильтрация.

На техническое состояние СУ существенное влияние оказывает также качество технического обслуживания, своевременное выполнение всех регламентных работ, правильная регулировка агрегатов силовой установки, качественное выполнение монтажных работ и др.

2.1.3. Влияние условий эксплуатации на помпаж и обледенение

Несмотря на наличие в двигателях специальных автоматических устройств по предотвращению помпажа, он всё же возможен на различных режимах работы двигателя и в различных условиях полета, если будет хотя бы кратковременное превышение (заброс) допустимой температуры газа перед турбиной. Во время запуска двигателей помпаж возможен при значительных отклонениях температуры окружающего воздуха от нормальной как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения: в первом случае – из-за уменьшения весового расхода воздуха и нарушения непрерывности потока воздуха в компрессоре, во втором – из-за увеличения момента трения в подшипниках, для преодоления которого требуется повышение мощности турбины увеличением температуры газа.

Заброс температуры газа при запуске электростартером возможен из-за недостаточно напряжения тока, подводимого к стартеру.

Резкое перемещение рычага управления двигателем (РУД), особенно если нарушена регулировка автомата приемистости, может вызвать заброс температуры газа и помпаж.

В ТВД возможен заброс температуры при снижении режима работы с винтами «на упоре».

Изменение наружного давления не изменяет запаса устойчивости двигателя по помпажу. Изменение температуры наружного воздуха приводит к изменению приведенных оборотов и запаса по помпажу.

Возможность возникновения помпажа под влиянием внешних условий обуславливается характеристикой компрессора, и при его появлении следует руководствоваться инструкциями соответствующего типа двигателя.

Понижение температуры и увеличение влажности наружного воздуха может вызвать обледенение воздухозаборников и деталей входного устройства двигателя: стоек переднего корпуса и направляющего аппарата компрессора. В ТВД могут обледенеть и воздушные винты.

Обледенение возможно в любое время года, на различных режимах работы двигателя, на земле и в полете, если в воздухе есть пары или капельки воды, а температура деталей ниже нуля. Следует иметь в виду, что во входном канале происходит ускорение потока воздуха и его температура падает. Поэтому обледенение возможно и при плюсовых температурах наружного воздуха.

Наиболее интенсивное обледенение наблюдается в полете на малых высотах (ниже 3-5 км) и когда в воздухе содержится вода в жидком состоянии (в слоисто-кучевых облаках и в переохлажденном дожде) или в виде кристалликов льда - при температуре воздуха от +5 до +12 С. Возможность обледенения зависит и от скорости полета.

Если скорость полета выше 800-900 км/ч, то обледенение маловероятно из-за кинетического нагрева деталей входного устройства.

Если полет происходит в области возможного обледенения, то необходимо включать противообледенительные системы.

При наличии условий обледенения противообледенительные системы включаются на земле перед взлетом и в полете перед входом в облачность.

Особенно опасно в полете запоздалое включение противообледенительных систем, так как накопившийся лёд может повредить рабочие лопатки компрессора.

2.1.4. Влияние эксплуатационных факторов на работу топливных систем

Особенности работы топливных систем определяются главным образом летно-техническими данными самолетов, типом двигателей, применяемым сортом топлива и условиями эксплуатации. Отечественные сорта топлива должны обладать определенными эксплуатационными свойствами, от которых в значительной степени зависит надежность и работоспособность топливных систем. К их числу относятся: испаряемость, воспламеняемость, горючесть,

склонность к образованию отложений, коррозионная активность, прокачиваемость, противоизносные свойства, стабильность, безопасность.

Применяемые в авиации топлива содержат загрязнения, образующиеся в процессе их изготовления, транспортировки, хранения и при эксплуатации самолетов. Загрязнениями следует считать вязкие твердые, жидкие и газообразные примеси. К числу наиболее опасных и часто встречающихся загрязняющих веществ относятся: металлы, окислы металлов, неметаллы (сера, двуокись кремния, вода, кислород).

Атмосферная пыль, попадающая в топливо, вызывает интенсивный износ трущихся пар агрегатов топливных систем. Топливо в процессе эксплуатации, особенно при хранении на складах ГСМ, в значительной степени загрязняется продуктами коррозии.

Вода является одним из наиболее активных веществ, способствующих образованию твердых частиц загрязнений, включающих смолистые вещества. Эти загрязнения ухудшают качество и термоокислительную стабильность топлива, засоряют топливные фильтры, вызывают нагарообразование в камере сгорания и т.д.

Главной причиной обводненности углеводородных топлив является их обратимая гигроскопичность. Это свойство при изменении внешних условий (температуры, давления и влажности окружающей среды) вызывает фазовые переходы воды в топливе. В связи с этим вода в топливе может находиться в растворенном, эмульсионном состоянии или в виде отстоя. Зависимость растворимости воды \bar{C} в топливе от его температуры t_T представлена на рис. 1.

Газообразными загрязнениями являются воздух, кислород и сероводород. Сероводород является агрессивным веществом, способствующим образованию продуктов коррозии, кислород - активный окислитель. В ГА нормируется степень очистки заправляемого топлива. В нем не должны быть механические частицы размером более 5 мкм и масса механических примесей не должна превышать 0,0002%, свободной воды - 0,003% массы топлива (по международным требованиям - 0,00012% и 0,003% соответственно).

При значительных суточных колебаниях температуры наружного воздуха во время длительной стоянки самолета в недозаправленных топливном баках наблюдается накопление отстойной воды. Вследствие наличия разности температуры стенок бака и надтопливного пространства испаряющаяся из топлива вода конденсируется на стенках бака и стекает на его дно. В некоторых случаях, когда концентрация воды в топливе близка к максимальной растворимости, резкое понижение температуры вызывает образование в топливе эмульсионной воды.

Подъем самолета на высоту сопровождается падением давления, понижением температуры и относительной влажности атмосферного воздуха. В топливных баках эти параметры изменяются иначе, рис. 2 и 3. При этом

вследствие падения давления в баке происходит пересыщение топлива растворенной водой.

Для горизонтального полета самолета характерно дальнейшее понижение температуры топлива, которая стабилизируется лишь после 4...5 ч полета, при этом концентрация воды в топливе значительно уменьшается, рис. 4.

Таким образом, в каждом полете самолета вследствие понижения давления и температуры в топливном баке происходит выделение растворенной воды из топлива, сопровождаемое фазовыми её превращениями, рис. 5.

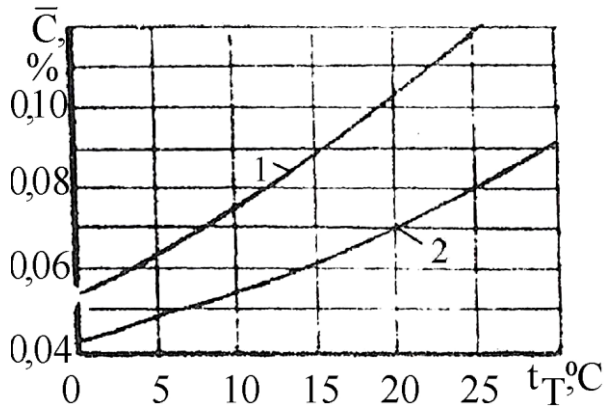


Рис. 1. Зависимость растворимости воды \bar{C} в авиатопливах от температуры t_T : 1 – бензин; 2 – керосин

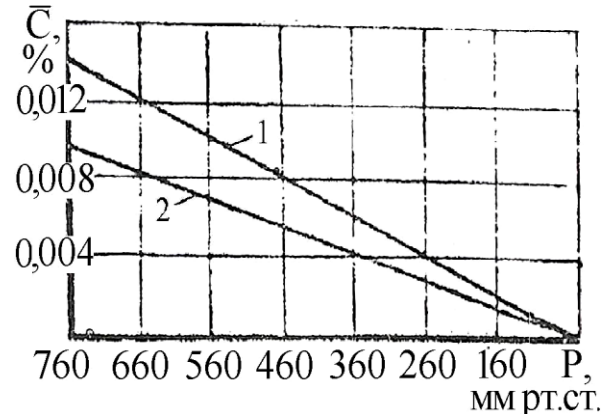


Рис. 2. Зависимость растворимости воды \bar{C} в авиатопливах от атмосферного давления P : 1 – бензин; 2 – керосин

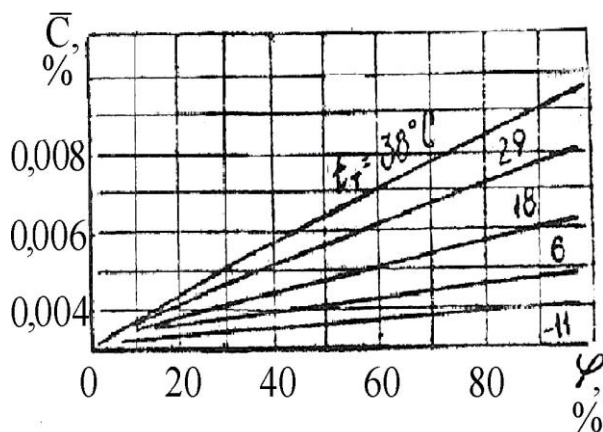


Рис. 3. Зависимость растворимости воды \bar{C} в керосинах от относительной влажности воздуха φ

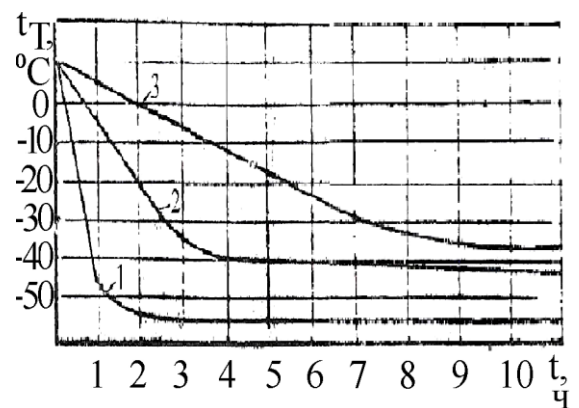


Рис. 4. Изменение t_T : 1 – t_{TV} ; 2 – t_T в баках; 3 – t_T в расходных баках

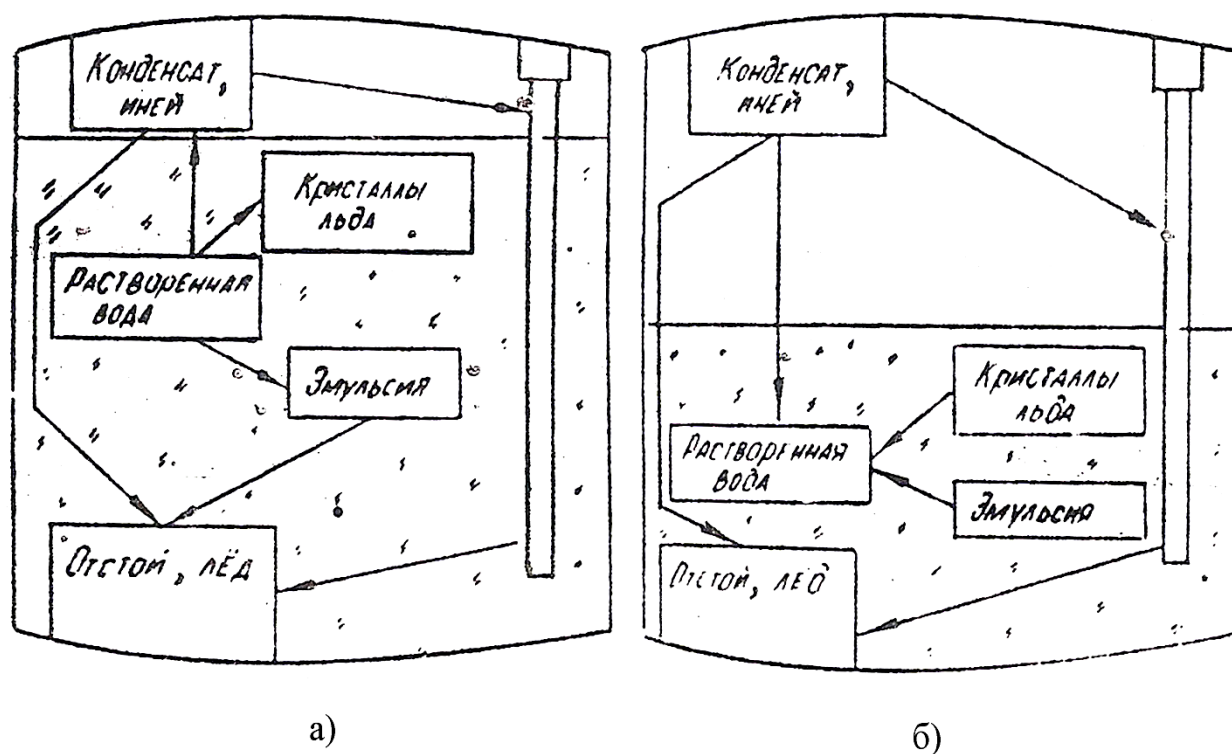


Рис. 5. Фазовые переходы воды в топливе и баке:

- а - при снижении температуры наружного воздуха $t_{н.в.}$;
 б - при повышении $t_{н.в.}$.

В виду большого объема заправляемого в баках современных реактивных самолетов накапливается значительное количество воды, представляющее опасность для эксплуатации.

Основным отрицательным последствием наличия воды в топливе считается образование кристаллов льда, которое может привести к забивке топливных фильтров и сеток подкачивающих насосов. Открытие перепускного клапана топливного фильтра после его забивки приводит к попаданию воды и загрязнений в каналы топливорегулирующей аппаратуры, имеющей прецизионные пары с зазорами менее 5 мкм. В результате возникают заклинивание, коррозия и износ плунжерных пар, подшипников и других элементов топливной аппаратуры.

Значительной коррозии в топливных системах, содержащих эмульсионную воду, подвергаются детали агрегатов, имеющие кадмиевые покрытия.

Наличие воды в топливе приводит также к искажению показаний электроемкостных топливомеров.

2.1.5. Условия работы масляных систем

Надежность работы силовой установки во многом зависит от условий смазки трущихся поверхностей двигателя и достаточного отвода тепла от его агрегатов и деталей. Смазка подвижных соединений двигателя необходима для уменьшения трения и износа деталей, предохранения их от коррозии, отвода тепла, выделяющегося при трении, а также для выноса твердых включений, которые образуются между трущимися поверхностями. Прекращение подачи масла, даже кратковременное, приводит к перегреву двигателя (рис. 6), разрушению его подшипников, заклиниванию ротора ГТД или обрыву шатунов ПД. Зависимость вязкости масла от его температуры представлена на рис. 7.

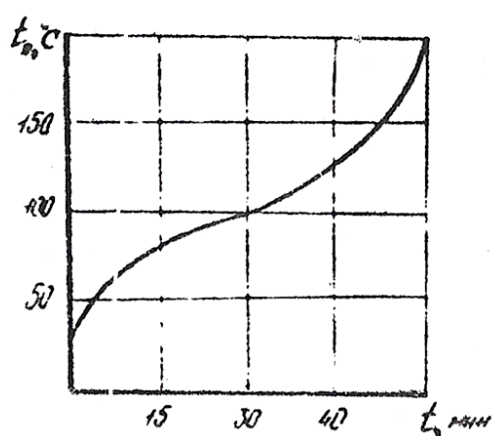


Рис. 6

Рис. 6. Зависимость температуры трущейся поверхности t_n от времени (после включения подачи)

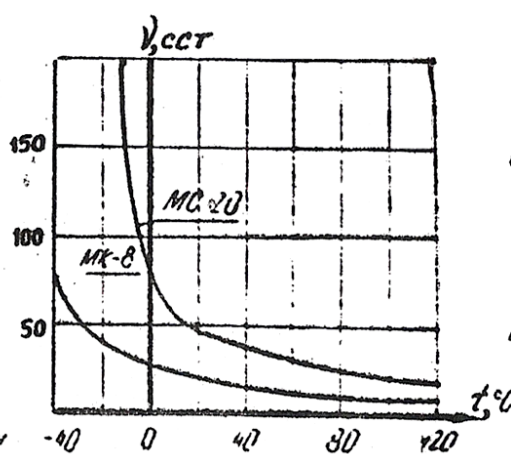


Рис. 7

Рис. 7. Зависимость вязкости масла ν от температуры t , °C

Масляные системы современных ЛА выполняются исключительно циркуляционного типа. При этом в них осуществляется очистка масла, его охлаждение и подготовка к последующему циклу.

В ТРД, ТРДД и турбовальных ГТД потребителями масла являются подшипники опор роторов, детали приводов агрегатов (подшипники, шестеренки) и элементы трансмиссии (подвижные узлы соединения роторов компрессора и турбин, подшипники и узлы соединения валов отбора мощности.) В ТВД к потребителям, кроме отмеченных, следует отнести детали редукторов и втулки винтов изменяемого шага.

Сорт применяемого масла определяется нагрузками на смазываемые детали, их рабочими температурами и типом применяемых подшипников.

В зависимости от диапазона рабочих температур в маслосистемах ГТД используют нефтяные или синтетические масла. Допустимые рабочие

температуры, при которых нефтяные масла существенно не изменяют свойств, лежат в диапазоне от -40° до $+130^{\circ}\text{C}$, а для синтетических масел верхний предел температур может достигать $200^{\circ}\dots 300^{\circ}\text{C}$.

Высокоскоростные подшипники опор роторов требуют применения масел низкой вязкости, которые не оказывают большого сопротивления вращению и обладают хорошей прокачиваемостью, обеспечивая отвод необходимого количества тепла от подшипников. Поэтому в ТРД, ТРДД и турбовальных ГТД используют нефтяные масла низкой вязкости, такие как МК-8, трансформаторное, веретенное и их смеси. Для смазки высоконагруженных зубчатых зацеплений редукторов ТВД необходимы масла высокой вязкости (МК-22, МС-20), имеющие достаточную прочность масляной пленки для обеспечения граничного трения в зонах контакта зубьев шестерен. Поскольку большинство ТВД имеют объединенные системы смазки двигателя и редуктора, в этих системах применяют смеси, состоящие из 75% (по объему) масел низкой вязкости и 25% масел высокой вязкости.

Высокотемпературные синтетические масла используют в маслосистемах ГТД, имеющих высокие параметры рабочего цикла и быстроходные подшипники опор роторов с повышенным внутренним тепловыделением. Наиболее распространены синтетические масла следующих марок: Б-3В, ИМП-Ю, ВНИИ НП50-І-4Ф.

Одной из особенностей конструкции ПД является наличие у них больших по площади трущихся поверхностей, удельные давления на которых составляют 250кг/см и более (в подшипниках скольжения, например, они достигают $600\dots 800\text{кг/см}$). Этим обусловлена повышенная теплоотдача в масле, что приводит к необходимости большой прокачки его через двигатель ($50\dots 70\text{л/мин}$). Чтобы обеспечить жидкостную смазку узлов трения в условиях повышенных удельных давлений и высокой температуры, а также хорошее уплотнение зазоров между поршнем и цилиндром, необходимы масла с вязкостью $20\dots 22\text{ сст}$ при температуре 100°C , рис. 8.

При недостаточной вязкости жидкий слой масла не может удержаться в зазорах, в результате усиливается износ деталей. Кроме того, увеличивается заброс масла в цилиндры, из-за чего растет его расход, усиливается нагарообразование.

Слишком высокая вязкость масла также нежелательна, так как она увеличивает силы трения и при работе двигателя вызывает повышенную потерю мощности. При низких температурах из-за высокой вязкости масла затрудняется запуск холодного двигателя, а после запуска замедляется прокачка и ухудшается разбрызгивание масла. Масло к узлам трения своевременно не поступает, а находившееся в зазорах при трении разогревается и вытекает. Возникают масляное голодание, повышенный износ и заедание трущихся пар двигателя.

Для обеспечения надежной смазки ПД а таких тяжелых условиях работы наиболее приемлемыми являются нефтяные масла МС-20 и МК-22, которые смешиваются между собой в любых соотношениях.

Состояние двигателей и работоспособность самой маслосистемы во многом зависит от качества и чистоты смазки. Заправляемые масла должны соответствовать техническим условиям и в эксплуатации должна обеспечиваться их тщательная фильтрация.

2.2. Типовые отказы и повреждения элементов конструкции авиадвигателя и его систем

2.2.1. Характерные отказы и повреждения элементов конструкции ГТД

Вследствие высокой напряженности элементов конструкции ГТД, интенсивности тепловых и газодинамических процессов в нем происходящих, сложности системы автоматического управления двигателем при эксплуатации ГТД разных типов имеет место большое разнообразие причин, приводящих к отказам и неисправностям ГТД. К числу основных причин следует отнести конструктивно-производственные недостатки авиационных двигателей и отдельные нарушения требований и условий их технической эксплуатации.

Накопленный опыт эксплуатации ЛА позволяет классифицировать по группам основные виды типовых отказов и повреждений, встречающихся в узлах, агрегатах и системах ГТД и нарушающие их работоспособность, рис. 8. Рассмотрим характерные повреждения, имеющие место в процессе эксплуатации ГТД, по их основным конструктивным элементам.

Компрессор. Наибольшее число повреждений компрессоров связано с попаданием в двигатель посторонних предметов. Крупные предметы, например, камни, птицы, крупный град, куски льда с ВПП или РД могут вызывать локальные забоины и вмятины на деталях проточной части, большие их общие остаточные деформации или даже полное разрушение (обрыв) рабочих лопаток с последующими вторичными разрушениями элементов по всему тракту двигателя.

Забоины, вмятины и общие остаточные деформации лопаток приводят к нарушению расчетной формы проточной части компрессора, что сопровождается падением его КПД, увеличением удельного расхода топлива и температуры газа перед турбиной. Искажение расчетной геометрии поврежденных лопаток вызывает разбалансировку ротора и повышение уровня вибрации двигателя, а также может стать причиной появления новых резонансных режимов и автоколебаний лопаток.

Механические повреждения создают повышенную концентрацию напряжений в лопатках, что совместно с вибронагружением приводит к их ускоренному усталостному разрушению.

Распространенным повреждением вентиляторов ТРДД является расстыковка рабочих лопаток по антивибрационным полкам в результате их деформации от ударов посторонними предметами или износа поверхности контакта полков. Это повреждение сопровождается увеличением уровня вибронегруженности лопаток из-за утраты полками своих демпфирующих свойств и снижения жесткости рабочего колеса.

К числу эксплуатационных мер по предупреждению повреждений деталей компрессора посторонними предметами относятся такие, как тщательная уборка ВПП и РД, уменьшение времени руления ЛА на аэродроме за счет их буксировки, применение аэродромных средств отпугивания птиц и т.п.

Попадание в двигатель вместе с воздухом большого количества песка и пыли приводит к интенсивному эрозионному износу лопаток компрессора, ухудшающему их аэродинамические и прочностные характеристики.

Наличие в атмосферном воздухе вязких видов загрязнений (влажных частиц глины, речного ила и т.п.) постепенно вызывает загрязнение проточной части компрессора, которая существенно ухудшает параметры двигателя, в том числе его топливную эффективность. В этом случае для восстановления свойств компрессора осуществляют промывку проточной части синтетическими моющими средствами.

Атмосферный воздух некоторых районов содержит химически активные вещества, например, соли морской воды или солончаковой пыли, которые являются причиной коррозии детали компрессора, особенно лопаток последних степеней, где коррозия активизирована повышенными температурами. Эти повреждения создают повышенную концентрацию напряжений и возможность развития усталостных трещин в лопатках при колебаниях.

Кроме повреждений деталей проточной части компрессоров возможны повреждения других элементов, в частности износ подшипников опор и деталей приводов агрегатов, разрушение масляных уплотнений подшипников, засорение датчиков обледенения, заклинивание противопомпажного механизма поворота лопаток НА и др.

Камера сгорания. К основным повреждениям камер сгорания, обнаруживаемым в эксплуатации, относятся прогары, коробления и трещины. Причинами появления этих повреждений являются возникновение нерасчетных повреждающих факторов и отклонения в технологии изготовления и сборки данного узла.

Возникновению повреждений способствует нагарообразование, появление которого свидетельствует о неполном сгорании топлива и некачественном процессе его горения в камере сгорания. Отложение нагара на торцах форсунок искажает фронт пламени и поле температур. Это приводит к прогарам или перегреву и короблению стенок жаровой трубы, что еще более искажает структуру газового потока. Образование нагара на стенке жаровой трубы приводит к изоляции стенки от охлаждающего воздуха, местному повышению температуры и короблению данного участка жаровой трубы. К короблению и последующему трещинообразованию стенок жаровой трубы

приводит применение нестандартного или загрязненного топлива. В этом случае частичное засорение отдельных форсунок приводит к резкому перераспределению, подаваемого в камеру топлива и искажению структуры газового потока.



Рис. 8. Классификация основных видов типовых отказов и повреждений ГТД

Распространенным дефектом, выявляемым при периодическом осмотре внутренних полостей камер сгорания, является трещинообразование. Основная

причина появления трещин - повышенный уровень термоциклического воздействия в зонах, имеющих значительный температурный градиент, например, на кромках отверстий подвода вторичного воздуха, в местах стыка горячей и относительно холодной оболочек. Появлению таких трещин способствуют отклонения в геометрии деталей или технологии их изготовления и сборки: чрезмерно острые кромки отверстий, остаточные напряжения после сварки, перекосы и несоосности при монтаже.

Другая причина образования трещин - резонансные колебания в тонкостенных оболочечных конструкциях камер сгорания. Такие колебания выявляются в процессе длительных стендовых испытаний и впоследствии устраняются усилением конструкции или перераспределением ее жесткости.

Газовые турбины. Большинство повреждений рабочих лопаток имеет усталостный характер и связано с переменными повреждениями, возникающими при колебаниях по низшим формам. При интенсивных колебаниях по первой изгибной форме возможны растрескивание и усталостные разрушения хвостовиков лопаток.

Одной из причин возникновения повреждений лопаток в процессе эксплуатации является газовая коррозия, обусловленная наличием в продуктах сгорания химически активных соединений.

Разрушения бандажированных лопаток часто связано с уменьшением в процессе наработки натяга по бандажным полкам и возникновением износа и наклепа из-за появления зазора между ними.

Характерным для турбинных лопаток является термоциклическое нагружение и возможность перегрева, что снижает сопротивление лопаток не только динамическим, но и статическим нагрузкам. В этом случае обрывы лопаток носят следы пластической деформации.

Наиболее опасным видом повреждений турбин является возникновение трещин и разрушение дисков, так как последнее не локализуется в пределах корпуса двигателя. Трещины, как правило, образуются в местах концентрации напряжений: в пазах для елочных хвостовиков, отверстиях для соединения дисков и прохода охлаждающего воздуха. Основная причина появления трещин - малоцикловая усталость, возникающая при повторных нагружениях в процессе запуска и остановки двигателя.

Опоры роторов. Все повреждения и разрушения подшипников, происходящие в условиях эксплуатации можно разделить на следующие группы:

1. Разрушение от усталости материалов в зоне контакта тел качения и беговых дорожек.
2. Повреждения от повышенного износа.
3. Разрушения, вызываемые изменением зазоров и посадок между деталями подшипников.
4. Повреждения с последующим разрушением из-за кратковременного или полного прекращения подачи масла при работе двигателя.

Установочное разрушение наблюдается в виде точечного выкрашивания материала дорожек и тел качения. Причинами, способствующими усталостному разрушению, являются:

большие нагрузки от центробежных сил тел качения в высокоскоростных подшипниках;

снижение твердости материала из-за кратковременного нагрева выше температуры отпуска как при изготовлении подшипника (прижоги при шлифовании), так и в эксплуатации.

Наиболее распространенными отказами и повреждениями для поршневых двигателей являются:

- трещины гильз и головок цилиндров;
- негерметичность соединений всасывания и выхлопа;
- повышенный износ поршней, поршневых колец, гильз цилиндров;
- обгорание и обрыв грибка клапана выпуска;
- нарушение зазоров между роликами рычагов штоками клапанов.

2.2.2. Характерные отказы и повреждения топливных систем

Отказы и повреждения элементов систем топливопитания обусловлены: конструктивно-производственными недостатками; проявлением неблагоприятных свойств топлива, которые могут оказывать решающее действие на элементы конструкций двигателя действием вибрации, передаваемых от двигателя; нарушениями технологии технического обслуживания и правил эксплуатации систем топливопитания на земле и в полете.

К характерным повреждениям систем относятся следующие:

1. Течь топлива из баков - кессонов и сливных клапанов. Негерметичность баков и клапанов слива отстоя обнаруживается по следам течи топлива на нижних панелях крыла, нишах шасси или под центропланом. Основная причина течи баков - ослабление заклепочных соединений панелей баков-кессонов, недоброкачественная их герметизация, а сливных клапанов - разрушение уплотнительных колец.

2. Отказы подкачивающих и перекачивающих насосов. Они связаны с разрушением подшипников электродвигателей, износом манжет уплотнения насоса и, как следствие, течью топлива из дренажных штуцеров насосов, износом щеток и разрушением коллекторного узла электродвигателя.

3. Нарушение работы кранов (пожарных, кольцевания и д.р.). Оно происходит по причинам износа и разрушения уплотнений, элементов привода заслонок, отказа электромеханизмов.

4. Разрушение корпусов топливных фильтров. Оно вызывается повышенными пульсациями топлива в системе.

5. Разрушение мембран, окисление контактов сигнализаторов давления.

6. Засорение фильтрующих элементов топливных фильтров кристаллами льда при низких температурах наружного воздуха. Кристаллы льда засоряют фильтр магистрали низкого давления, что приводит к существенному увеличению гидравлического сопротивления магистрали и ухудшению кавитационных характеристик основного топливного насоса. Замерзание отстоя воды в полости подкачивающего насоса может вызвать примерзание его ротора к корпусу и разрушению валика привода насоса при запуске двигателя.

7. Засорение фильтроэлементов и форсунок микрозагрязнениями при высоких температурах топлива (выше 100°C 110°C). При этом из этого топлива в виде осадка выделяются сернистые соединения, оксиды металлов, смолы и твердые углеродные частицы, образующиеся в результате разложения термических нестабильных фракций топлива. Этот осадок вызывает также повышенный износ топливного насоса.

8. Попадание воздуха в систему. Оно приводит к нарушению режимов работы топливных регуляторов, колебаниям частоты вращения ротора и выключению двигателя.

9. Разрушения топливных трубопроводов. Оно происходит в результате их колебаний и составляют значительную часть всех отказов усталостного происхождения в ГТД. Разрушение трубопроводов наблюдается, как правило, в местах концентрации напряжений: в зонах приварки или припайки ниппелей, по переходу цилиндрического участка трубы в развальцованный конический, под зажимами труб и в местах их максимальной изогнутости. Трещины вдоль образующей трубопровода возникают под действием пульсации давления топлива, а окружные трещины - в результате циклического изгиба вибрации, передаваемыми от корпуса двигателя. Снижению усталостной прочности трубопроводов способствуют искажения формы их поперечного сечения, монтажные напряжения, поверхностные повреждения (вмятины, забоины, риски и т.д.). Поэтому к качеству монтажа трубопроводов предъявляются высокие требования.

2.2.3. Характерные отказы и повреждения масляных систем

Основная часть отказов и повреждений систем смазки связана с повреждениями их агрегатов либо с повышенным износом деталей элемента двигателя, омываемых маслом, вследствие взаимного влияния указанных причин, а также из-за нарушений технологии технического обслуживания маслосистемы и двигателя в целом.

К числу опасных признаков ухудшения работы маслосистемы относятся: сильное повышение расхода масла, уменьшение подачи масла к потребителям, его загрязнения и перегревы.

Повышенный расход масла. Он наблюдается обычно в случаях разгерметизации масляных магистралей, по различным причинам, например, при разрушении от вибрации трубопроводов и их соединений, в результате

износа уплотнений опор ротора, при возникновении трещин в коробках приводов и т.п.

Большие потери масла могут быть связаны с его выбросом в атмосферу через систему суфлирования в случаях разрушения приводов центробежного суфлера или воздухоотделителя. Сильное увеличение расхода масла недопустимо из-за возможности последующего полного прекращения его подачи в двигатель, которое приведет к разрушению подшипников опор ротора.

Уменьшение подачи масла в двигатель. Оно сопровождается ухудшением смазки и охлаждением узлов трения, вызывавшими их интенсивный износ, перегревом масла и может привести к заклиниванию ротора из-за перегрева подшипников. “Масляное голодание” возникает при падении давления масла за нагнетающим насосом и увеличении сопротивления магистрали нагнетания вследствие засорения фильтра тонкой очистки или закоксования масляных форсунок. Причинами падения давления в магистрали нагнетания могут быть большие потери масла, повышенный износ деталей нагнетающего насоса, ослабление затяжки пружины редукционного клапана или его “зависания” в открытом положении при засорении механическими частицами.

Засорение фильтра тонкой очистки. Оно приводит, как правило, к открытию перепускного клапана, предохраняющего сетки фильтра от разрыва, в результате чего неочищенное масло поступает в двигатель и к агрегатам маслосистемы. При этом продукты изнашивания деталей, как и другие примеси, могут вызвать повышенный износ узлов трения и уплотнений опор, закоксование масляных форсунок, заклинивающие качающих узлов маслонасосов и разрушение их приводов, загрязнение радиаторов и т.д.

Перегрев масла в двигателе. Он происходит за счет повышенного тепловыделения при интенсивном износе смазываемых деталей, в результате “масляного голодания”, а также при забросах частоты вращения ротора, температуры газов, приводящих к превышению расчетных нагрузок на узлы трения и дополнительному подводу к ним тепла от нагретых элементов конструкции двигателя.

Превышение допустимых температур вызывает: окисление масла; выделение из него кокса и смол, засоряющих фильтры и форсунки; ухудшение смазывающих и антикоррозионных свойств.

2.3. Методы и средства контроля и диагностирования силовых установок

Объективное определение технического состояния авиадвигателей и силовых установок в целом и отслеживание его изменения в процессе длительной эксплуатации требует измерения, регистрации и последующей обработки большого числа параметров, характеризующих исправность и работоспособность узлов, агрегатов и систем силовых установок.

Для современных ГТД гарантийные ресурсы увеличены до 6000...12000 ч. Практика эксплуатации показывает, что лишь незначительная часть современных двигателей большого ресурса полностью вырабатывают этот ресурс, остальные снимаются с эксплуатации досрочно из-за обнаруженных в них различного рода повреждений.

Для оценки технического состояния ГТД используются различные современные методы и средства их контроля и диагностирования (рис. 9).

Свыше 60% всех повреждений авиационных ГТД обнаруживают в результате визуального контроля. При этом выявляют следы подтекания топлива и масла, коробления и деформации конструкции, разрушение покрытий и коррозию, забоины, трещины и разрывы материала, отложения нагара и т.п.

Различают методы внешнего и внутреннего визуального осмотра двигателей.

Для проведения внутреннего осмотра двигателей используют эндоскопы, представляющие собой оптико-механические приборы, позволяющие осуществлять подсветку заданного места, наблюдение и, в отдельных случаях, устранение повреждения (Н-200, УСП-8М, РНП-49I, Н-170 - жесткие линзовые эндоскопы; Н-300 - гибкий эндоскоп).

Дальнейшее развитие получают методы и средства неразрушающего контроля: ультразвуковой, вихретоковый, рентгеноскопии, радиографии (граммаспектроскопии), акустической эмиссии, голографической интерферометрии.

Инженерный анализ физических процессов ухудшения состояния двигателя в эксплуатации позволяет классифицировать их на две группы:

1. Процессы ухудшения газодинамического состояния проточной части ГТД, отражаемые изменением термогазодинамических параметров;

2. Процессы ухудшения "механического" состояния двигателя, определяемые постепенным изнашиванием опор роторов, исчерпанием несущей способности высоконагруженных деталей по длительной прочности (ползучести), малоцикловой и многоцикловой усталости, термоциклической прочности.

Отражение этих процессов обеспечивается при применении следующих основных видов диагностирования:

1) по термогазодинамическим параметрам (путем сравнения измеряемых параметров с нормами, последующего определения места локализации дефекта и выявления внутренних причин появления признаков повреждения);

2) по контролю состояния масла (путем определения концентрации металлов в масле, скорости нарастания концентрации и размера частиц металлов, содержащихся в масле);

3) виброакустическим методом (путем использования информации, содержащейся в колебательных процессах, сопровождающих функционирование ГТД).

На рис. 10, 11 приведены примеры технологии контроля лопаток компрессора и состояния камеры сгорания.

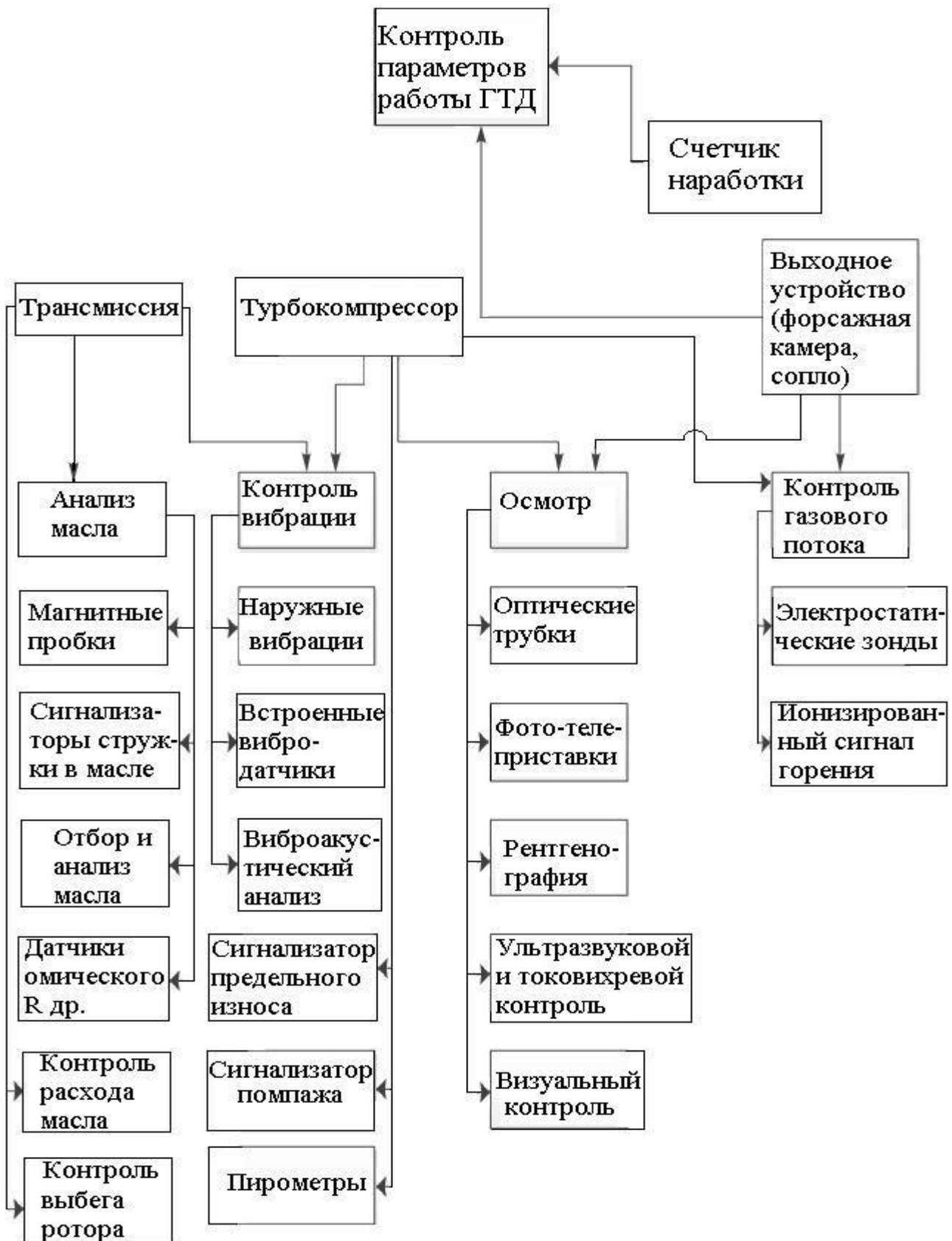
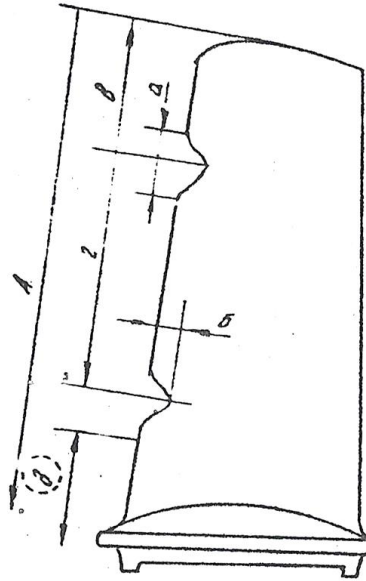
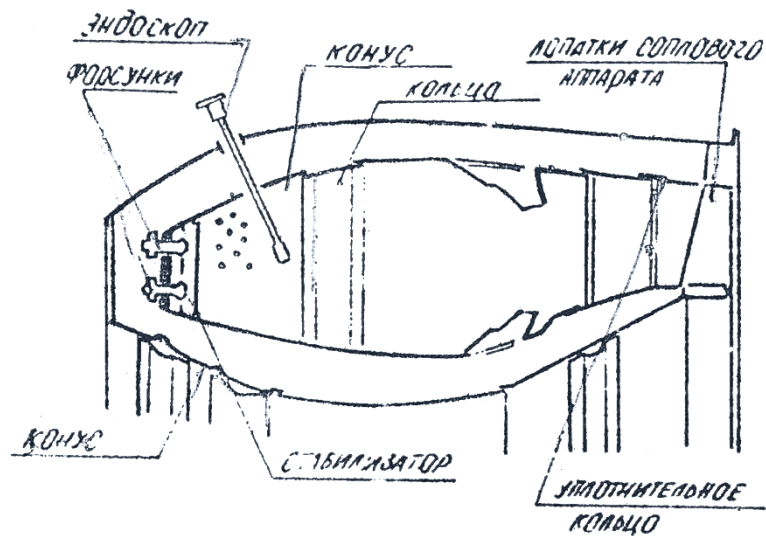


Рис. 9. Методы и средства контроля и диагностирования ГТД в эксплуатации



Повреждение	Размеры (мм)				Допускаемое КОЛ-ВО
	а	б	в	г	
Забоины на входной кромке	до 0,1	до 0,5	до 5	$\geq 1,5$	1
Без зачистки	до 0,4	до 0,2	-	$\geq 1,5$	1
С зачисткой $\nabla 9$	до 0,4	до 0,3	до 250	≥ 30	2
	до 2	до 1			3
На участке $\partial = 4\text{мм}$	Не допускается				
Трещины в любом месте	Не допускается				

Рис. 10. Контроль лопаток компрессора ГТД



Наименование узла или детали	Допуски на повреждение
Стабилизаторы форсунок 1 контура	Глубина прогара кромок до 8 мм
Конусы и кольца	Коробление, трещины, прогары по фотоэталону
Места соединения уплотнительных колец с кожухами	Отрывы по точечной сварке не допускаются
Уплотнительные кольца	Трещины не допускаются
Лопатки соплового аппарата 1 ступени турбины	Прогары не допускаются

Рис. 11. Контроль состояния камеры сгорания ГТД с помощью эндоскопов

2.4. Содержание и технология технического обслуживания силовых установок

2.4.1. Техническое обслуживание газотурбинных двигателей

Надежная работа СУ во многом зависит от правильной ее эксплуатации, качественного выполнения всех видов осмотров и регламентных работ.

К основным работам, выполняемым на ГТД, объем и содержание которых определяется видами их подготовки к полетам и периодического ТО, относятся: внешний осмотр деталей, узлов и систем ГТД, проверка работоспособности двигателя и его систем, устранение отказов и повреждений, обнаруженных в полете и при ТО, а так же подогрев ГТД при низких температурах окружающего воздуха, заправка ГСМ и зарядка газами, запуск и опробование ГТД.

При работе двигателя на земле или в полете необходимо выдерживать режимы, установленные инструкциями по эксплуатации. Двигатель и его элементы необходимо содержать в чистоте, предохранять от попадания в них влаги, песка, пыли и других посторонних предметов. Осмотр и регламентные работы на двигателях производятся при закрытых входных каналах, лентах перепуска воздуха и выхлопных трубах. Открытые концы трубопроводов и штуцеров на снятых агрегатах закрываются резьбовыми или колпачковыми заглушками. Применять для этих целей бумагу, обтирочный материал, а также устанавливать заглушки внутрь трубопроводов запрещается.

К числу основных видов работ по ТО ГТД и правил, подлежащих соблюдению в процессе их выполнения, относятся следующие:

1. Уборочно-протирачные и мелкие восстановительные работы, выполняемые систематически с целью поддержания ГТД в исправном и чистом состоянии. Удаляется пыль, грязь и влага, устраняется коррозия, восстанавливается затяжка болтовых соединений, заменяются поврежденные контрольные элементы. Выполняются необходимые смазочные работы и др.

2. Регулировочные работы выполняются в случаях отклонения параметров от установленных допусков, так как двигатель с такими параметрами считается неисправным и к летной эксплуатации не допускается. Перечни разрешаемых в эксплуатации регулировок и методики их выполнения содержатся в инструкциях по эксплуатации и техническому обслуживанию двигателей. Регулировки осуществляются только штатными инструкциями и приспособлениями, прилагаемыми каждому двигателю или содержащимися в групповых комплексах.

3. Замена деталей, узлов и агрегатов производится в тех случаях, когда невозможно выполнить регулировочные работы или устранить повреждения на месте. Перечень деталей, узлов и агрегатов, замена которых разрешается в эксплуатации, содержится в технической документации на двигатель. После замены повреждения новых узлов и агрегатов, их работоспособность и

соответствие параметров техническим требованиям проверяются на работающем двигателе.

4. Замена двигателей производится в случаях возникновения отказов и повреждений, а также после выработки им межремонтного или назначенного ресурса. Замена производится на отремонтированный двигатель или двигатель 1-й категории. Подлежащий замене двигатель, проходит внутреннюю консервацию, после чего он демонтируется с летательного аппарата и устанавливается в специальную тару.

Новый двигатель перед монтажом на летательный аппарат осматривают, проверяют формуляр и другую документацию на двигатель, устанавливают ее комплектность и наличие и комплектность инструмента, проверяют срок консервации и производят наружную расконсервацию двигателя.

5. После монтажа двигателя на летательном аппарате осматривают все соединения коммуникации и систем, органов управления двигателем, проверяют их надежность, удаляют все посторонние предметы, заправляют маслобак, проводят холодную прокрутку роторов, а затем запускают двигатель и выполняют подрегулировку, осматривают и промывают фильтры топливной и масляной систем.

6. Окончательной проверкой вновь установленного двигателя является контрольный облет детального аппарата. В процессе облета проверяют работоспособность двигателя на различных рамках в установленном инструкцией диапазоне скоростей и высот полета, а также соответствие его параметров (по приборам контроля) требованиям технических условий. В случае обнаружения при облете или при осмотре дефектов, которые после устранения требуют проверки в полете, производится второй облет.

Таким образом, техническое обслуживание ГТД предусматривает дефектацию и устранение выявленных повреждений, выполнение проверочных и профилактических работ.

Внешний осмотр деталей, узлов и систем ГТД производится при хорошем дневном освещении или при свете матовых ламп и ламп дневного света. При необходимости применяются набор луп с 2...10 кратным увеличением. Для осмотра труднодоступных мест применяются зеркала с гибкими управлениями державками.

Осмотр деталей во внутренних полостях узлов осуществляется через специально предусмотренные для этой цели смотровые отверстия в корпусах этих узлов, вскрываемые на период осмотра, при помощи специальных оптических устройств с автономной системой освещения, допускающих 1,5...3-кратное увеличение (типа технических эндоскопов).

При осмотре с целью проверки соответствия техническим требованиям ряда параметров (зазоров, люфтов, усилий перемещения деталей и др.) применяют соответствующий контрольно-проверочный инструмент и приспособления.

Для осмотра ГТД вскрывают необходимые люки двигательного отсека (гондолы двигателя) летательного аппарата. Осмотру (в пределах доступности и видимости) подлежат:

- внутренние поверхности подводящего канала воздухозаборника; лопатки первых ступеней осевого компрессора. При помощи кулака проверяют зазор между торцами лопаток первой ступени роторов компрессора и его корпусом и при необходимости - качку лопаток;

- детали во внутренних полостях узлов – лопатки компрессора и турбины, карбовые трубы и топливные форсунки камеры сгорания – с помощью специальных оптических устройств;

- внутренние полости и детали удлинительной трубы, лопатки последних ступеней турбины. При помощи щупа проверяют зазор между торцами лопаток последней ступени роторов турбины и ее корпусом и, если это предусмотрено, качку лопаток. Зазор проверяют в восьми точках: первый раз при произвольном положении роторов турбины, второй раз после роторов на угол 180^0 ;

- реактивное сопло и органы его управления; агрегаты двигателя, органы их управления и их крепление;

- трубопроводы топливных, масляных и воздушно-газовых коммуникации двигателя, их соединения и крепление;

- узлы крепления, двигателя к летательному аппарату;

- органы управления двигателем;

- воздушный винт (у ТВД) и др.

- при осмотре проверяют состояние деталей, узлов и агрегатов, прочность их крепления, надежность болтовых соединений и соединений тяг и рычагов, зазоры и люфты, герметичность корпусов и коммуникаций (визуально), легкость, плотность и диапазоны перемещения органов управления, рычага управления двигателем (РУД) и рычага управления реверсом двигателя (РУР).

Основной причиной ухудшения характеристик компрессора ГТД является его загрязнение. На поверхностях компрессора откладываются угольная пыль, окись ванадия, сера и соль. Это приводит к ухудшению его аэродинамической эффективности и уменьшению воздушного потока. В результате повышается температура газа в турбине, увеличивается расход топлива и сокращается срок службы между восстановительными работами.

Наиболее распространенными способами очистки компрессора в эксплуатации являются пескоструйная обработка и промывка жидкостью, однако пескоструйная обработка имеет ряд недостатков: абразивные вещества могут проникать в другие части двигателя и вызывать их повреждение; вместе с загрязнением может уничтожиться защитное покрытие (например, антикоррозионное). Второй способ очень прост: струя негорючей жидкости вводится в воздухозаборник при работающем двигателе. Так как жидкость может свободно протекать через двигатель, не требуется его специальной подготовки, к тому же жидкость не повреждает защитных покрытий.

В эксплуатации широко используется жидкость Р-МС (Rivenaes Motor Cleaning). Это нетоксичная и негорючая биоразрушающая смесь третичных аминов и кислой фракции дегтя с высокой точкой кипения, диспергированная в очищенной воде. На загрязненных поверхностях компрессора жидкость создает пленку, активные вещества которой разрушают образовавшиеся отложения, а ингибиторы коррозии препятствуют образованию новых. При промывке используются установленное на тележке оборудование, которое обеспечивает регулируемую подачу жидкости под давлением через шланг, прикрепляемый к входной кромке воздухозаборника. Двигатель вращается со скоростью 800 об/мин, расход моющего вещества составляет 3,8 л/мин. Весь цикл промывки компрессоров - от запуска до основного двигателя - 30 мин, потребное количество моющего вещества - 19 л.

2.4.2. Техническое обслуживание топливных и масляных систем

Основные виды работ, выполняемые в процессе эксплуатации ЛА при техническом обслуживании топливных и масляных систем, представлены на рис. 12. Ввиду особой пожароопасности топливных систем наиболее важными работами является контроль и обеспечение герметичности топливных магистралей, агрегатов, баков-кессанов и мягких (резиновых) баков.

При осмотре мягких топливных баков необходимо убедиться, нет ли расслоения губчатой резины, отслоений ткани от наружного резинового слоя баков, трещин на фланцах баков в местах крепления агрегатов, трещин по периметру монтажных люков, нет ли местных вспучиваний стенок топливных баков, свидетельствующих о начале разрушения баков. Во всех перечисленных случаях топливные баки подлежат замене.

При эксплуатации силовых установок необходимо топливные и масляные системы ЛА заправлять сортами топлива и масла, предназначенными для двигателя данного типа.

Организация и обеспечение заправки ЛА ГСМ, а также ответственность за качество ГСМ и состояние заправочных средств возлагается на службу ГСМ и спецавтобазу авиапредприятия. При этом перед допуском к заправке ЛА топливо и масло подвергается лабораторному анализу, а заправочные средства - контрольному осмотру.

После заправки из топливных баков сливают отстой топлива и проверяют его чистоту. Если в топливе будет обнаружена вода или механические примеси, необходимо немедленно принять меры к их удалению (вплоть до полной замены топлива в баках) и выполнению источников их появления.

Вода в топливо вызывает при отрицательных температурах появление кристаллов льда, нарушающих подачу топлива в двигатель.

Для предотвращения образования кристаллов льда в топливных баках и предохранения от обледенения топливных фильтров принимается ряд

различных мер: подогрев топлива, добавление присадок, вымораживание, высушивание, очистка фильтрами - сепараторами и электростатическими фильтрами. Использование противоводокристаллизационных (ПВК) присадок понижает температуру кристаллизации в топливе ниже эксплуатационного уровня (-60°C).

Применяемые в настоящее время у нас в стране эффективные присадки, такие как этилцеллозольв (жидкость И) тетрагидрофурфуриловый спирт (ТГФ, И-М, ТГФ-М), а за рубежом – метилцеллозольв, вводятся в топливо непосредственно перед заправкой самолета, что значительно усложняет его подготовку и обслуживание перед вылетом.

Одним из методов местной защиты фильтров от забивки кристаллами льда является подогрев топлива до фильтра.

а) Топливные системы

Основные работы при ТО							
Проверка герметичности	Полная заправка	До заправка	Слив топлива, слив отстоя	Контроль чистоты топлива	Промывка фильтров	Очистка патрубков дренажа	Проверка работы кранов, насосов сигнализаторов

б) Системы смазки

Основные работы при ТО								
Проверка герметичности соединений (по течи масла)	Проверка состояния и крепления агрегатов	Проверка работы регуляторов температуры	Проверка и промывка масляных фильтров	Промывка баков и радиаторов	Контроль уровня масла в баке	Замена масла в системе	Контроль качества масла	Проверка работоспособности форсунок подачи масла

Рис. 12. Основные виды работ, выполняемые при техническом обслуживании топливных и масляных систем

Подогрев может осуществляться горячим воздухом, отобранном от двигателя, и за счет теплообмена с горячим маслом масляной системы, кроме того, может быть использован электроподогрев от бортовой системы питания ЛА.

При эксплуатации топливных систем ЛА происходит постепенное засорение фильтров грубой и тонкой очистки топлива другими механическими загрязнениями.

Замену фильтров с целью их очистки производят периодически в соответствии с регламентом технического обслуживания или при срабатывания сигнализаторов предельного перепада давления.

Техническое состояние фильтров определяется степенью их засорения и зависит от чистоты топлива, расхода, времени наработки и ряда других случайных факторов. Поэтому наработка не определяет однозначно состояние фильтров. Наиболее рациональным методом замены фильтрующих элементов является замена их по состоянию. Состояние фильтров может оцениваться по перепаду давления или по изменению давления за фильтром.

Очистку топливных фильтров грубой очистки производят в чистом бензине волосяными щетками. При промывке фильтрующих элементов необходимо закрывать внутренние полости специальными приспособлениями (заглушками), предохраняющими их от загрязнения.

Очистку никелево-саржевых сетчатых фильтрующих элементов тонкой очистки, загрязненных механическими примесями и смолистыми веществами, осуществляют ультразвуковым методом. Сетка саржевого плетения имеет капиллярные каналы, эффективная очистка которых возможна только при наличии нормально действующих сил в этих каналах. Такие силы возникают в момент захлопывания кавитационных пузырьков при воздействии ультразвуковых колебаний на моющую жидкость. При этом в кавитационных пузырьках происходит местное повышение давления и температуры, что обеспечивает удаление загрязнений.

Для создания ультразвуковых колебаний используются специальные установки типа УЗГ-10. В качестве моющей жидкости используется водный раствор, в состав которого входят тринатрийфосфат, продукт ОП-07 и натрий азотисто-кислый. После промывки фильтры просушивают при температуре 120° С.

Контроль качества очистки пакетов фильтрующих элементов осуществляют прибором контроля фильтров (ПКФ) при погружении их в жидкость АМГ-10. Время заполнения внутреннего объема фильтроэлемента должно составлять не более установленного значения (порядка 5 сек). Промытые пакеты фильтрующих элементов проверяют на герметичность. Готовые к установке пакеты фильтрующих элементов упаковывают специально в тару и комплектно доставляют на летательный аппарат при выполнении периодического технического обслуживания.

В качестве профилактических работ по маслосистеме ГТД производится замена масла, съемка и очистка маслофильтров и др. (рис. 13).

Контроль уровня масла в баке дает возможность своевременно обнаружить возникшие в ГТД или в системе повреждения. Во всех случаях, когда после полета обнаруживается, что масло из бака не расходуется или в

баке наблюдается повышение уровня масла, необходимо проверить масло на наличие в нем топлива. Причиной такого явления может быть нарушение герметичности топливно-масляного радиатора, масляных полостей, топливорегулирующей аппаратуры.

Чрезмерная заправка бака приводит к выбрасыванию масла через дренаж. Недостаточное заполнение бака является причиной перегрева и снижения давления масла. Кроме того, вследствие уменьшения времени циркуляции масла затрудняется выделение из него воздуха, что способствует понижению высотности масляной системы.

По качеству масла судят о состоянии трущихся поверхностей, о перегревах двигателя, износе его лабиринтных уплотнений и т.д. В целях более раннего обнаружения неисправностей разрабатываются различные способы контроля масла. К ним относятся, например, спектрографический и химический анализ периодически отбираемых проб масла для установления связи между содержанием в нем металлических частиц и началом разрушения подшипников.

В процессе эксплуатации масляной системы проверяют количество масла в баке, контролируют давление и температуру его на входе в двигатель, а для самолета с ТВД следят за положением створок воздушно-масляного радиатора. Для большинства типов двигателей давление масла на пониженных режимах составляет 2...3, а основных 4...6 кгс/см².

Верхние допустимые значения температуры минеральных масел по соображениям удовлетворительной вязкости не должны превышать 120⁰ С на выходе из двигателя и 80⁰ С на входе. Нижняя граница температуры масла на входе в двигатель, определяемая условиями запуска, зависит от типа двигателя и сорта применяемого масла. Для ГТД она составляет минус 15⁰ С.

При эксплуатации ГТД может происходить отложение кокса в форсуночных отверстиях, через которые подводятся смазка к опорам, расположенным в горячей части двигателя. Поэтому периодически проверяют их состояние путем замера подачи масла через форсунки.

2.4.3. Консервация и хранение ГТД

Консервация ГТД может быть частичной и полной. При частичной производится только внутренняя консервация, а при полной – внутренняя и наружная.

Внутренняя консервация осуществляется непосредственно на авиазаводах. Перед ее проведением сливают отработанное масло из двигателя, маслорадиатора и бака, снимают и промывают топливные и масляные фильтры, заправляют бак свежим маслом. Затем консервацию ГТД производят специальной установкой с бачком емкостью 30-40 л, обеспечивающей принудительную подачу масла в магистраль топливной системы под давлением 1.0-1.8 кг/см² и перевод питания двигателя топлива на масло. Далее для

проведения консервации установку подсоединяют к специальным штуцерам топливной системы. Потом двигатель запускают и, проработав на режиме малого газа 1-2 минуты, переводят питание его на масло. После выработки 15-20 л масла ГТД останавливают.

Некоторые типы ГТД (например, РД-3М-500) консервируют не на работающем двигателе, а в процессе проведения двух-трех холодных прокруток. Заполнение топливной системы маслом контролируют по вытеканию его из дренажных трубок кожуха камеры сгорания и реактивного сопла ГТД.

Наружная консервация. Если двигатель подлежит отправке в ремонт, то после внутренней консервации его снимают авиатехники и производят наружную консервацию. Перед этим поверхность ТД и его агрегатов очищают от пыли, грязи и масляных потеков. Затем полости, трубопроводы и отверстия двигателя, имеющие непосредственное сообщение с атмосферой, хорошо закрывают предохранительными заглушками. Наружные поверхности, детали, не имеющие защитных покрытий, смазывают техническим вазелином или нейтральной пушечной смазкой, и далее двигатель упаковывают в ящик и пломбируют.

Хранение. При хранении авиатехники сроком до одного месяца через 20 дней хранения, если двигатели были не законсервированы, производят их запуск с последующим выводом на режим 0.4-0.6 номинального. Проработав на этом режиме 5-8 минут, двигатель выключают. При длительном хранении через каждые 20 дней хранения производят переконсервацию ГТД.

Технология расконсервации двигателей устанавливается соответствующими инструкциями. Так, например, для двигателей АИ-20 внутренняя расконсервация сводится к проведению ложного запуска, т.е. прокрутка двигателя в течение полного цикла работы автоматики запуска с подачей топлива, но с выключенным зажиганием. После этого продувают газоздушный тракт, сделав две-три холодные прокрутки для удаления скопившегося в двигателе топлива во избежание пожара.

Консервационные смазки. Широко используемые для внешней консервации пушечная смазка УНЗ (универсальная низкоплавкая защитная) и технический вазелин УН (универсальная низкоплавкая смазка) представляет собой продукт сплавления нефтяного масла повышенной вязкости с твердыми углеводородами – петралатумом, церезином, парафином (количество загустителя до 75%). В пушечную смазку добавляется около 0,02% натриевой щелочи для нейтрализации кислот. Пушечная смазка применяется для консервации стальных изделий. Технический вазелин не содержит щелочи, используется для консервации изделий из цветных металлов (оцинкованных, кадмированных и других изделий с покрытиями) и для нанесения на полихлорвиниловые консервационные чехлы. Обе смазки влагостойки, влагопроницаемость их примерно в 10 раз меньше смазки ЦИАТИМ-201.

Эффективность нанесенных покрытий – от 1-2 лет на открытом воздухе до нескольких лет в складских условиях.

Смазки для внутренней консервации. Широкое применение имела смазка К-15 – маслянистая темно-коричневая жидкость, которая состоит из масел МС-20 (55-60%) и трансформаторного (до 40%), загущенных влагостойким литиевым мылом (около 2%). В неё входит синтетический каучук (1%) для лучшего образования пленки и присадка ЦАТИМ-339 (1%), содержащая соединения фенолов с барием. Присадка действует на металл, способствуя образованию защитной пленки, нейтрализует кислоты, а также препятствует осаждению защитной пленки, нейтрализует кислоты, а так же препятствует осаждению на поверхностях продуктов окисления и разложения масла или топлива. Смазка К-15 может использоваться и для внешней консервации ГТД.

2.5. Особенности запуска и опробования ГТД

Запуск и опробование двигателей на самолетах предназначены для приведения их в рабочее состояние, а также для контроля работоспособности или выявления неисправностей в двигателе и связанных с ним системах.

Запуск двигателей производится в автоматическом режиме. При запуске и опробовании двигателей впереди и сзади самолета образуются опасные зоны. Подсасывание впереди самолета может привести к повреждению ГТД вследствие попадания в него посторонних предметов; оно опасно также и для личного состава – возможно засасывание в воздухозаборники. Сзади самолета опасно действие реактивной струи газа, имеющей большие скорости потока и высокие температуры. Поэтому запуск и опробование ГТД на самолетах производят на специальных площадках, оборудованных: упорами и швартовочными приспособлениями, позволяющими безопасно выводить двигатель на максимальный и форсажные режимы; отражателями, которые направляют струю газа вверх, а перед входом в воздухозаборник – защитным приспособлением, предохраняющим от засасывания крупных механических частиц.

Защита ГТД от повреждений. Перед запуском ГТД необходимо: очистить площадку перед всасывающим соплом; убрать все предметы, находящиеся впереди и сзади самолета на расстоянии 30 м; привести в готовность противопожарные средства; установить перед всасывающим соплом самолета (и на окна дополнительного воздухозаборника) защитные устройства с сеткой; установить под колеса основных ног шасси тормозные стояночные (упорные) колодки; снять заглушки с сопел самолета и присоединить наземные источники питания.

Определение запуска и опробование ГТД. Под запуском двигателя понимают процесс приведения двигателя при помощи системы запуска из нерабочего состояния в состояние устойчивой самостоятельной работы на минимальном режиме (режиме малого газа). При этом различают режим

земного малого газа при запуске на земле и режим высотного малого газа при запуске в воздухе. Для ТРД с центробежным компрессором значение земного малого газа составляет 20-25%, для ТРД с осевыми компрессорами – 35 – 40%, для ТВД – 60-85% максимального числа оборотов ротора двигателя.

Под опробованием ГТД понимается процесс проверки его работоспособности на заданных (установившихся и переходных) контрольных режимах, которые применяются в процессе эксплуатации. Опробование двигателя выполняется с целью контроля соответствия параметров, определяющих надежность работы двигателя и агрегатов.

Наиболее характерными причинами незапуска ГТД при исправном состоянии всех элементов могут быть: невоспламенение пускового либо рабочего топлива или зависание оборотов ротора двигателя. Особенно важен подвод к топливовоздушной смеси тепловой энергии. Понижение напряжения тока, подводимого к свечам, и давления топлива, подводимого к пусковым форсункам, а также повышение скорости воздуха в зоне воспламенения являются причинами невоспламенения пускового топлива.

Зависание оборотов, или затяжная раскрутка ротора ГТД в процессе запуска называется недостаточным избыточным моментом (моментом ускорения), подводимым к ротору. Если зависание оборотов ротора наблюдается на оборотах ниже оборотов отключения стартера, то причиной может быть недостаточная мощность стартера, запаздывание в подаче рабочего топлива, заниженное давление топлива перед форсунками, увеличение силы трения вследствие низкой температуры окружающего воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чинючин Ю.М. Технологические процессы технического обслуживания летательных аппаратов: учебник. – М.: Университетская книга, 2008. – 408с.
2. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: учебник для вузов / Н.Н. Смирнов, Н.И. Владимиров, Ю.М. Чинючин и др. /под ред. Н.Н. Смирнова. - М.: Транспорт, 1990 - 423с.
3. Устройство и эксплуатация силовых установок самолетов Ил-96-300, Ту-204, Ил-114: учебное пособие для вузов / Б.А. Соловьёв и др. /под ред. Б.А. Соловьёва. - М.: Транспорт, 1993. - 171с.
4. Пивоваров В.А. Авиационный двигатель ПС-90А (особенности конструкции, работа и эксплуатация): учебное пособие для вузов. - М.: МИИГА, 1989. - 92с.
5. Наставление по технической эксплуатации и ремонту авиационной техники в ГА (Н/ЭРАТ ГА-93). - М.: Воздушный транспорт, 1994. - 316с.
6. Василенко В.Т., Черненко Ж.С. Влияние эксплуатационных факторов на топливную систему самолета. - М.: Машиностроение, 1986. – 184с.
7. Вич М.М., Вейнберг Е.В., Сурнов Д.Н. Смазка авиационных газотурбинных двигателей/ Л.П.Лозицкий, В.П. Степаненко и др. – М.: Транспорт, 1985.- 102с.
8. Практическая диагностика авиационных газотурбинных двигателей / Л.П. Лозицкий, В.П.Степаненко и др. - М.: Транспорт, 1985. - 102с.
9. ОСТ 54 71003 – 84. Система стандартов безопасности труда. Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Техническое обслуживание силовых установок. Общие требования безопасности. - М.: МГА, 1984. - 10с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
1.1. Цель практических занятий	3
1.2. Основные вопросы, подлежащие изучению по теме занятий	3
1.3. Указания по проведению занятий	3
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
2.1. Влияние условий эксплуатации на надежность силовых установок.....	4
2.1.1. Влияние атмосферных условий	4
2.1.2. Влияние режимов эксплуатации	5
2.1.3. Влияние условий эксплуатации на помпаж и обледенение	6
2.1.4. Влияние эксплуатационных факторов на работу топливных систем	7
2.1.5. Условия работы масляных систем	11
2.2. Типовые отказы и повреждения элементов конструкции авиадвигателя и его систем	13
2.2.1. Характерные отказы и повреждения элементов конструкции ГТД	13
2.2.2. Характерные отказы и повреждения топливных систем	17
2.2.3. Характерные отказы и повреждения масляных систем	18
2.3. Методы и средства контроля и диагностирования силовых установок	19
2.4. Содержание и технология технического обслуживания силовых установок	24
2.4.1. Техническое обслуживание газотурбинных двигателей	24
2.4.2. Техническое обслуживание топливных и масляных систем	27
2.4.3. Консервация и хранение ГТД	30
2.5. Особенности запуска и опробования ГТД	32
ЛИТЕРАТУРА.....	34