

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Е.А. Коняев, М.Л. Немчиков, М.Г. Голубева

ХИММОТОЛОГИЯ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ.

Москва 2009

УДК621.892:629.7

ББК31.353+39.55

К 65

Печатается по решению редакционного издательского совета
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты:

Коняев Е.А, Немчиков М.Л.М.Г. Голубева

К 65 Химмотология реактивных топлив. Учебное пособие. М.:МГТУ
ГА,2009. -с.

ISBN 978-5-86311-642-6

Учебное пособие содержит сведения, охватывающие широкий круг вопросов, описывающих особенности поведения реактивного топлива в условиях эксплуатации авиационной техники.

Приведена информация, позволяющая молодому специалисту разобраться в том, как функционирует топливная система самолета, какие требования предъявляются к авиатопливам. Изучить их ассортимент, физико-химические и эксплуатационные характеристики, а также комплекс методов контроля качества в объеме требований действующих нормативных документов на всех этапах технологической цепочки на стадиях от производства на предприятии изготовителе, условиях транспортировки, хранения и заправки в воздушное судно в ТЗК, до непосредственного сгорания в двигателе.

В рамках пособия приводится объемный статистический материал, отражающий основные причины летных происшествий и авиакатастроф, связанных с отказами работы топливной системы отечественных ВС и качеством авиационного топлива. Приведена информация о взаимозаменяемости различных сортов реактивного топлива отечественного и импортного производства.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 160901 специализации 160901/8 «Эксплуатация систем топливообеспечения аэропортов и ВС ГА»

Оглавление

Введение.....	5
Химмотология как прикладная техническая наука.	5
1.1 Цели и задачи химмотологии.	5
1.2. Авиационная химмотологическая система	7
1.2.1. Назначение химмотологической системы.....	7
1.2.2. Структура системы.	7
2. Состав авиационных топлив (элементный, фазовый, групповой).....	8
2.1 Классификация топлив	8
3. Классификация двигателей авиационного транспорта.	11
3.1 Контроль качества авиаГСМ. Общие положения.	17
3.2 Организация контроля качества реактивных топлив	17
Контроль качества ГСМ в авиапредприятиях РФ.....	18
3.3 Комплекс квалификационных методов испытаний топлив для авиационных газотурбинных двигателей.	19
3.3.1 Испаряемость	20
3.3.2 Фракционный состав реактивных топлив.....	20
3.3.3 Давление насыщенных паров реактивных топлив.....	20
3.3.4 Воспламеняемость и горючесть.....	21
3.3.4.1 Температура вспышки реактивных топлив	21
3.3.5. Теплота сгорания реактивных топлив.	22
3.3.5.1 Энергетические свойства топлив.....	22
3.3.6 Высота некоптящего пламени	27
3.3.7 Люминометрическое число	27
3.3.8 Содержание ароматических углеводородов в реактивных топливах определяют по ГОСТ 6994-74.	27
3.3.9 Содержание бициклических (нафталиновых) ароматических углеводородов определяют по ГОСТ 17749-72.	27
3.3.10 Оценка характеристик сгорания топлив.....	27
3.3.10.1 Пределы устойчивого горения.	27
3.3.10.2 Склонность топлива к нагарообразованию	28
4. Анализ статистики отказов агрегатов топливной системы летательных аппаратов, связанных с качеством топлива.	29
Состав нефтяных топлив.	35
5.1 Фракционный и компонентный состав топлив	35
5.2. Групповой химический состав топлив.....	35
Групповой химический состав реактивных топлив	36
5.4 Склонность к образованию отложений.....	37
Изменения в составе и качестве топлив в условиях хранения и применения	39
6.1. Эксплуатационные свойства топлив.	39
Загрязнения в топливах для ГТД	40
6.3. Эксплуатационные свойства топлив, которые проявляются в топливных системах ЛА и топливной аппаратуре ГТД.	44

6.4. Кристаллы льда, образующиеся в топливной системе.	45
6.5 Осадкообразование и термостабильность топлива.	47
6.6 Фрикционный износ топливных насосов.	48
6.7 Коррозионные свойства топлива.	49
7. Эксплуатационные свойства топлив, которые проявляются при сжигании в ГТД	50
7.1. Огневое воздействие.	50
7.2. Загрязняющее воздействие продуктов сгорания.	53
7.3. Газовая коррозия.	54
8. Свойства топлив, которые проявляются при их хранении и обслуживании полетов.	55
8.1 Условия хранения топлив.	55
8.2.1 Применение противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ).	56
8.3. Электризация топлива.	57
Ассортимент реактивных топлив.	58
9.1 Качество топлив	59
9.1.1 Прямогонные реактивные топлива.	59
9.1.2 Термостабильные реактивные топлива.	60
10. Взаимозаменяемость отечественных и зарубежных авиатоплив.	64
11. Альтернативные авиационные топлива.	64
Литература	66

Введение

Современная авиация в основном оснащена воздушно-реактивными двигателями (ВРД). В этих двигателях топливо в камеру сгорания подается непрерывно, и вследствие этого процесс горения протекает постоянно.

В ВРД топливо из баков самолета под небольшим давлением (0,02-0,03 МПа) подается подкачивающим насосом через систему тонкой очистки к основному топливному насосу-регулятору высокого давления (0,8-1,0 МПа). С помощью последнего топливо, проходя через форсунки, распыляется в камере сгорания в нагретый и сильно завихренный поток воздуха, что обеспечивает увеличение поверхности испарения топлива и равномерное распределение его паров по всему объему камеры сгорания двигателя.

В турбореактивных двигателях (ТРД) топливо, проходя через топливно-масляный радиатор, снижает температуру смазочного масла, т.е. выполняет функцию охлаждающей среды. Помимо этого, топливо используют и для смазывания трущихся деталей топливных насосов. Кроме того, изменяя подачу топлива с помощью топливорегулирующей аппаратуры, изменяют скорость полета и режим работы двигателя самолета.

В данном учебном пособии рассматривается комплекс вопросов взаимодействия топлив с узлами и агрегатами топливной системы самолета, что относится к проблемам химмотологии, а также круг проблем, связанных с его производством, транспортировкой и хранением, а также особенностями его заправки в воздушные суда.

Излагаются теоретические и прикладные аспекты, отражающие физико-химические и эксплуатационные основы, позволяющие студентам изучить и понять поведение топлив в двигателях различных конструкций, а также познакомиться с основными требованиями, действующих нормативных документов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию воздушных судов с точки зрения грамотного и правильного выполнения всех процедур контроля качества на всех этапах его применения на ВС ГА.

Химмотология как прикладная техническая наука.

1.1 Цели и задачи химмотологии.

Химмотология относится к числу относительно молодых отечественных прикладных наук, имеющих большое значение для практики. Как новое научное направление она была сформулирована в середине 60-х годов прошлого столетия.

Химмотология определяет требования к уровню качества ГСМ для обеспечения заданной надежности машин и механизмов и сохранения их технических характеристик в условиях эксплуатации.

Основной задачей химмотологии является установление устойчивых количественных связей между качеством ГСМ и надежностью техники, в которой они используются.

Обеспечения требуемой надежности и заданных технических характеристик машин и механизмов достигается путем регламентирования необходимого уровня качества ГСМ, исключающего какие-либо сбои в работе техники и определения возможных негативных последствий при снижении уровня ниже допустимого.

Наиболее продуктивный способ решения основной задачи возможен через интерпретацию ГСМ в виде технической составляющей машин и механизмов, поэтому ГСМ следует рассматривать как элемент конструкции техники. Для объективного сопоставления показателей надежности техники с показателями качества ГСМ последние должны рассчитываться по аналогии с долговечностью или прочностью любой механической детали машины.

В отличие от технологии получения ГСМ химмотология оперирует диаграммой «эксплуатационные свойства ГСМ - надежность техники», а не диаграммой «эксплуатационные свойства ГСМ - их состав». При использовании первой из указанных диаграмм показатели, характеризующие качество ГСМ, должны иметь возможность адекватного сопоставления с показателями надежности техники или ее отдельных составляющих. В этом случае химмотология должна «переводить» язык химии нефтепродуктов на язык физики машин и механизмов, т.е. как бы распространять физические или физико-технические представления на химические системы.

В настоящее время химмотология оперирует термином «качество ГСМ», практически не располагая его обобщенной количественной интерпретацией, спроецированной на надежность техники.

Для повышения эффективности химмотологии ученым необходимо постоянно стремиться к развитию собственной теории, которая, в свою очередь, должна:

- быть направлена на успешное решение задач химмотологии, призванной «примеривать» качество ГСМ к надежности техники;
- строго нацеливаться на практику, а не носить отвлеченный характер, типичный для фундаментальных наук;
- формироваться на основе анализа результатов, полученных при решении конкретных практических проблем;
- оптимизировать пути и способы решения практических задач и способствовать эффективному формированию более совершенной методической базы;
- оперировать в конечном итоге объектами исследования, где доминирующая роль отводится узлам машин и механизмов, предположительно отличающимся пониженной надежностью при работе на заданных ГСМ.

Анализ показывает, что развитие химмотологии в начале XXI века будет подчинено реализации триединой задачи:

- оптимизации энергопреобразования в тепловых химических двигателях на основе физико-химической модификации энергоносителей;
- интенсификации энергосбережения в технике и увеличению ее ресурса на основе применения новых материалов и технологий;
- уменьшению техногенного воздействия на окружающую природную среду и человека.

1.2. Авиационная химмотологическая система

1.2.1. Назначение химмотологической системы.

Совокупность химмотологических связей представляет собой химмотологическую систему, в которой определяются закономерности, характеризующие влияние ГСМ на безотказность, долговечность и экономичность техники, а во многих случаях и на ее основные потребительские свойства, на сроки и масштабы внедрения, на экологическую обстановку, а также на характер и объем работ при обслуживании техники.

1.2.2. Структура системы.

Применительно к тренажерной, коммерческой и специальной авиации химмотологические связи сводятся в трехзвенную химмотологическую систему (рис. 1). Первое ее звено — ЛА — летательные аппараты (самолеты, вертолеты) как совокупность двигателя и связанных с ним других элементов силовой установки, бортовых систем, агрегатов и оборудования, конструкция, режим и условия работы которых зависят от ГСМ или влияют на них. Второе звено — ГСМ — топливо и смазочное масло для двигателя, смазки и специальные технические жидкости для бортовых систем, агрегатов и оборудования ЛА. Третье звено — ТЭ — техническая эксплуатация в широком понимании включающая эксплуатацию авиационной техники.

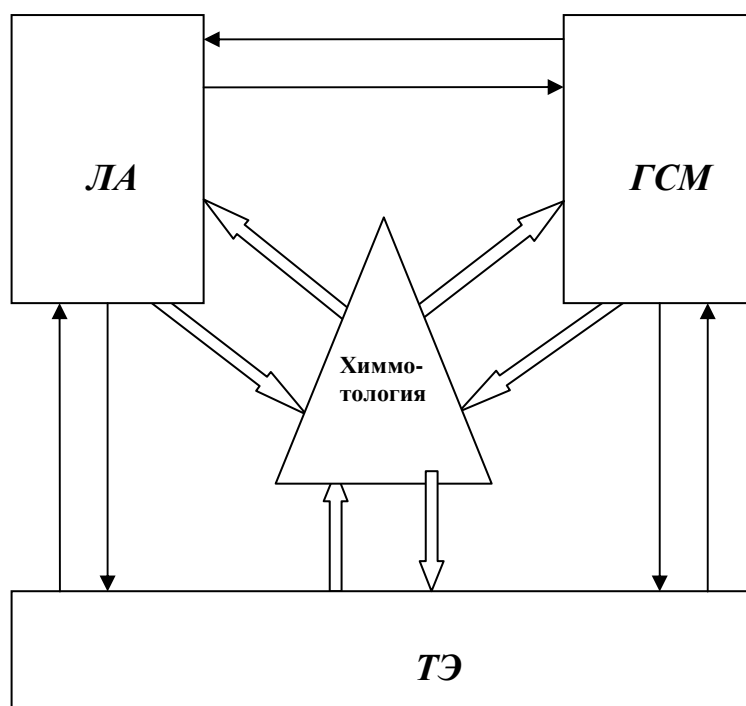


Рис. 1. Трехзвенная авиационная химмотологическая система. Химмотология- химмотологические явления и процессы, определяемые совместным влиянием звеньев системы и оказывающие на них воздействие.

При взаимодействии первого и второго звеньев авиационной химмотологической системы — ЛА и ГСМ — проявляются три важные особенности. Пер-

вая — это весьма жесткие условия для ГСМ, связанные с тепловой и силовой напряженностью конструкций авиационной техники. Вторая — высокие требования к эффективности ГСМ, поскольку каждый их килограмм, взятый в полет, соответственно снижает полезную нагрузку ЛА. Третья — высокая вероятность катастрофических последствий отказа или неисправности авиационной техники, вызванных низким качеством, неправильным или неумелым применением ГСМ. Последнее заставляет главное внимание обращать на эксплуатационные свойства авиационных ГСМ.

В третьем звене — ТЭ — выявляется уровень совершенства авиационной химмотологической системы как в плане влияния ГСМ на безотказность полетов, так и на возможные ограничения при выполнении задач (по дальности, продолжительности и высоте полета на крейсерских скоростях и т. п.).

Общей особенностью всей авиационной химмотологической системы является ее чрезвычайная сложность, обусловленная большим числом автоматических регулирующих устройств, множеством контрольно-измерительных приборов, резервированием ряда бортовых систем и агрегатов, большим количеством операций наземной подготовки и предполетного контроля, взаимодействием нескольких служб обеспечения полетов.

Взаимодействие между звеньями авиационной химмотологической системы происходит большей частью не посредством двусторонних связей, а через химмотологические явления и процессы, определяемые совместным влиянием всех звеньев системы (узел X на рис. 1). Любое химмотологическое явление (например, выделение твердых осадков при нагреве ГСМ, кристаллизация воды в топливе, фрикционный или коррозионный износ узлов трения, образование дисперсного углерода при горении топлива и т. п.) представляет собой узел-«сток» этих влияний, отражающих роль каждого звена в его возникновении, а в итоге определяющих интенсивность явления. Одновременно это и узел-«исток» воздействия на звенья системы, которое зависит как от интенсивности явления, так и от чувствительности к нему соответствующего звена (но не от вклада этого звена в возникновение явления).

Следует иметь в виду, что реальное проявление вредных эффектов в химмотологической системе имеет не регулярный, а вероятностный характер, особенно отказы, поломки и неисправности. Ожидаемое возникновение некоторых из них может выходить за пределы установленного срока службы техники, но при неблагоприятном сочетании ряда факторов, действующих со стороны различных звеньев системы, реально создаются условия для отказа в работе, разрушения двигателя и других инцидентах.

2. Состав авиационных топлив (элементный, фазовый, групповой).

2.1 Классификация топлив

Классификация топлив осуществляется с учетом объектов их применения по следующим признакам:

По назначению

- а) для двигателей с искровым зажиганием (бензин);
- б) для двигателей с воспламенением от сжатия (дизельное топливо);
- в) для газотурбинных двигателей (газотурбинное топливо);
- г) для котельных агрегатов (топочный, флотский, мартеновский мазут);
- д) для маломощных отопительных установок, среднмощных сельскохозяйственных теплогенераторов (печное топливо, керосин)

По сырьевому источнику (нефтяное, из альтернативного сырья).

По технологии получения (прямогогонное, вторичных процессов).

В химмотологии предпочтительна классификация топлив по назначению.

Требования к качеству топлив таковы, чтобы применяемые продукты обеспечивали надежную, экономичную эксплуатацию двигателей, топочных агрегатов и других тепловых машин. Но в зависимости от вида топлив к ним предъявляются специальные требования.

Реактивные топлива должны иметь:

- хорошую испаряемость для обеспечения высокой полноты сгорания;
- хорошие низкотемпературные свойства для надежной прокачиваемости топлива при отрицательной температуре;
- низкую склонность к образованию отложений в топливных системах, высокую химическую и термоокислительную стабильность;
- хорошую совместимость с металлическими и неметаллическими материалами топливных систем двигателя, оборудования для хранения и транспортировки топлива;
- хорошие противоизносные свойства, не допускающие повышенного износа деталей топливных агрегатов;
- электропроводимость, обеспечивающую безопасность при накоплении топливом баков и емкостей.

В связи с введением Федерального закона «О техническом регулировании» был разработан и введен в действие Постановлением Правительства Российской Федерации №118 от 27 февраля 2008 г. «Технический регламент о требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту». Требования, предъявляемые к реактивному топливу. Эти требования содержатся в приложении №4 к названному регламенту и приведены ниже:

Таблица 2.5.1

Приложение №4 к техническому регламенту "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту"

Требования к характеристикам топлива для реактивных двигателей

Характеристики топлива для реактивных двигателей	Единица измерения	Нормы в отношении	
		летательных аппаратов с дозвуковой скоростью полета	летательных аппаратов со сверхзвуковой скоростью полета
Кинематическая вязкость при температуре минус 20оС, не более	мм2/с	8	16
Температура начала кристаллизации, не выше	°С	минус 50	минус 50
или			
температура замерзания, не выше	°С	минус 47	минус 47
Содержание механических примесей и воды	-	отсутствие	отсутствие
Фракционный состав:			
10 процентов отгоняется при температуре не выше	°С	205	220
90 процентов отгоняется при температуре не выше	°С	300	290
остаток от разгонки, не более	процентов	1,5	не нормируется
потери от разгонки, не более	процентов	1,5	не нормируется
Высота некоптящего пламени, не менее	мм	25	20
Температура вспышки в закрытом тигле, не ниже	°С	28	28
Объемная доля ароматических углеводородов, не более	процентов	25	25
Содержание фактических смол, не более	мг/100см3	7	7
Массовая доля общей серы, не более	процентов	0,25	0,1
Массовая доля меркаптановой серы, не более	процентов	0,003	0,001

Термоокислительная ста- бильность при контрольной температуре, не ниже:	°С	260	275
перепад давления на фильтре, не более	мм рт.ст.	25	25
цвет отложений на трубке, баллы по цветовой шкале (при отсутствии нехарактер- ных отложений), не более	-	3	3
или			
термоокислительная ста- бильность в динамических условиях:			
температура начала образо- вания отложений, не ниже	°С	80	150
индекс термостабильности, не более	-	6	2
скорость забивки контроль- ного фильтра, не более	кПа/мин.	0,5	0,2
Удельная электрическая про- водимость:	пСм/м		
без антистатической присад- ки, не более		10	10
с антистатической присадкой		50 - 600	- 600

3.Классификация двигателей авиационного транспорта.

Подвод топлива в двигатель обеспечивают топливная система воздушного судна и система топливопитания двигателя.

Необходимый для полета запас топлива размещают в топливных баках, установленных внутри элементов конструкции воздушного судна (в крыле, фюзеляже) или на внешних подвесках, что наиболее характерно для вертолетов. На каждом баке устанавливают насос для перекачки топлива и один или два расходных бака, из которых подкачивающими насосами его подводят в системы топливопитания двигателей. Порядок включения указанных насосов и выработки топлива из баков должен обеспечивать сохранение центровки воздушного судна в течение всего полета. Процесс выработки топлива из баков, как правило, полностью автоматизирован. Управление этим процессом осуществляют с помощью электроемкостных (или реже поплавковых) датчиков топливомера.

В качестве перекачивающих и подкачивающих насосов топливных систем воздушных судов обычно применяют насосы центробежного типа с электроприводом. Для контроля их работы используют сигнализаторы давления топлива р/Сг.

На схемах систем топливопитания двигателей условно показывают только один бак Б и подкачивающий насос НП. В баках измеряют запас топлива по его уровню Н/П и предусматривают сигнализацию аварийного остатка топлива.

Систему топливопитания двигателя отключают от топливной системы воздушного судна перекрывным (пожарным) краном топлива ПК, имеющим привод от силового электромеханизма. Управление ПК осуществляют с помощью переключателя из кабины экипажа.

В системе топливопитания ГТД можно выделить три характерных магистрали (низкого давления, высокого давления, магистраль пускового топлива) и систему дренажа топлива. Магистрали низкого и высокого давления образуют контур питания основной камеры сгорания или, иначе, систему основного топлива. ТРДФ и ТРДДФ имеют также контуры питания форсажных камер (системы форсажного топлива).

Магистраль низкого давления обеспечивает предварительное повышение давления топлива перед основным топливным насосом и служит для увеличения высотности системы топливопитания. В ее состав входят подкачивающий двигательный насос НМД с регулятором давления, фильтр грубой очистки Ф, расходомер топлива — и топливомасляный радиатор ТМР (который применяют, как известно, только в ТРД и ТРДД). Подкачивающий насос НПД, имеющий привод от ротора двигателя, повышает давление топлива до 0,15...0,5 МПа, в результате чего предотвращает его кавитацию на входе в основной топливный насос на больших высотах.

В качестве НПД наиболее часто применяют насосы центробежного типа с дросселирующими клапанами КД, автоматически поддерживающими заданное давление топлива за счет изменения гидравлического сопротивления выходной топливной магистрали.

Для вертолетных ГТД подкачивающие двигательные насосы обычно не применяют в связи с небольшими высотами полета вертолетов, не требующими существенного повышения давления топлива перед основными топливными насосами по условиям кавитации. Магистраль низкого давления для таких двигателей является как бы продолжением топливной системы вертолета, но отделена от нее отсечным (пожарным) краном топлива. Давление топлива в этой магистрали, создаваемое установленными на расходном баке электроприводными подкачивающими насосами, обычно не превышает 0,15 МПа.

Для очистки топлива в магистрали низкого давления устанавливают фильтр Ф с перепускным клапаном КП, пропускающим топливо по обводному каналу при засорении фильтрующих элементов и возрастании, вследствие этого, перепада давления на фильтре до 0,08...0,12 МПа. Контроль засоренности фильтра осуществляют с помощью сигнализатора перепада давления, вклю-

чающего световое табло при увеличении перепада до 0,04...0,06 МПа. В некоторых ГТД за фильтром предусматривают сигнализацию минимального давления топлива, что позволяет контролировать в эксплуатации не только засоренность фильтра, но и неисправности подкачивающего насоса или его регулятора давления.

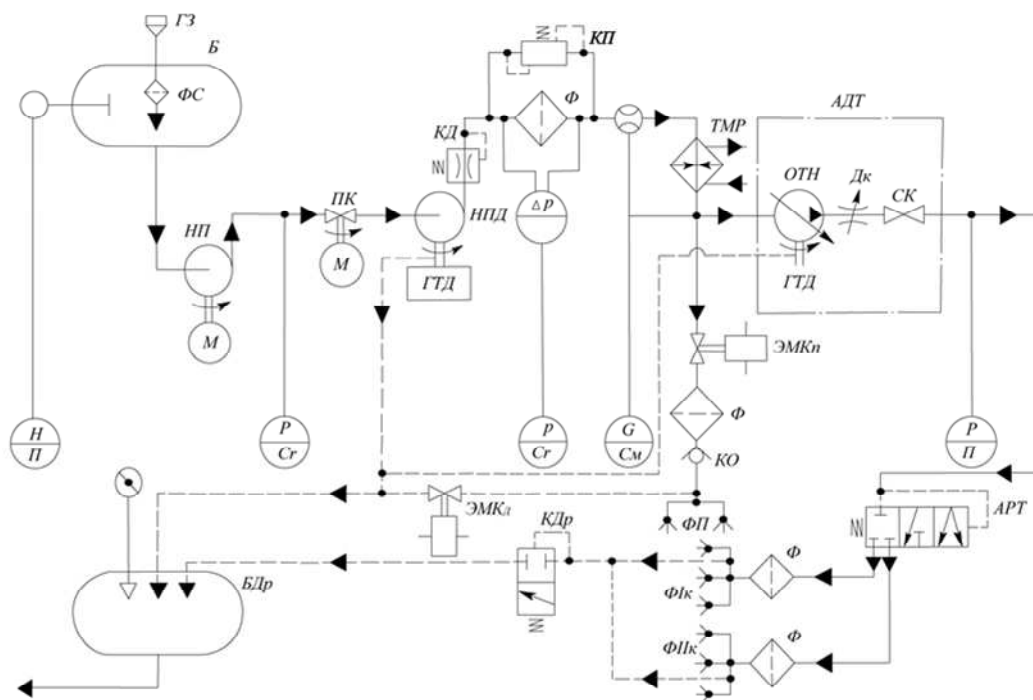


Рис. 3.1 Схема системы топливопитания ГТД.

ФС-фильтрующая сетка; НП-подкачивающий насос; перекрытый (пожарный) кран топлива; НМД-подкачивающий двигательный насос; КД-дросселирующий клапан; КП-перепускной клапан; ТМР-топливо-масляный радиатор; ОТН-основной топливный насос; ДК-дроссельный кран; СК-стоп-кран; АДТ-автомат дозировки топлива; АРТ-автоматический распределитель топлива; Ф1К-первый контур форсунок; Ф2К-второй контур форсунок; ЭМКп-электромагнитный клапан пускового топлива; ЭМКд-электромагнитный клапан дренажа топлива; ЭМКл-электромагнитный клапан; КО-обратный клапан; ФП-пусковые форсунок; КДр-дренажный клапан; ЭМКд-электромагнитный клапан дренажа топлива; БДр-дренажный бак; Н/П-измеритель уровня топлива в баке; р/Сг-сигнализатор давления топлива; ΔP/Сг-сигнализатор перепада давлений на фильтре; G/См-суммирующий расходомер топлива; р/П-измеритель давления топлива перед форсунками.

про

Контроль расхода топлива осуществляют с помощью расходомеров, датчики которых устанавливают обычно в магистрали низкого давления. В качестве датчиков расходомеров используют расположенные в потоке крыльчатки, скорость вращения которых пропорциональна количеству протекающего топлива. Расходомерами измеряют суммарный и (или) мгновенный расход топлива в единицу времени (часовой расход). В схемах систем топливопитания, показаны суммирующие расходомеры G/См.

Топливо-масляный радиатор ТМР также наиболее часто располагают в магистрали низкого давления. В некоторых случаях его устанавливают в магистрали высокого давления за основным топливным насосом. При этом подогрев топлива в ТМР не оказывает отрицательного влияния на износ элементов ка-

чающего узла основного топливного насоса, обусловленного уменьшением вязкости и смазывающих свойств топлива.

Магистраль высокого давления служит для подвода топлива к рабочим форсункам под давлением, обеспечивающим хорошее качество его распыливания в камере сгорания на всех режимах работы двигателя и при любых условиях полета. В этой магистрали размещены элементы системы автоматического управления (САУ) ГТД, производящие автоматическую дозировку топлива в необходимом количестве согласно заданным законам управления расходом топлива.

Для создания необходимого давления топлива перед форсунками служит основной топливный насос ОТН, который на максимальном режиме должен повышать давление до величин 6...9 МПа. ОТН имеет привод от ротора двигателя через коробку приводов агрегатов. Давление топлива перед форсунками измеряют в эксплуатации по указателю р/П.

В зависимости от типа применяемого ОТН и соответствующего ему принципа управления расходом топлива, из совокупности систем топливопитания выполненных ГТД можно выделить две разновидности: системы с основным топливным насосом управляемой и неуправляемой производительности. В системах первого типа управление подачей топлива основано на изменении производительности ОТП элементами автомата дозировки топлива АДТ в соответствии с изменением условий полета и режимов работы ГТД, задаваемых положением рычага управления двигателем РУД, от которого зависит проходное сечение дроссельного крана ДК. В качестве ОТП управляемой производительности применяют плунжерный насос с управляемой наклонной шайбой, на которую оказывают воздействие элементы АДТ, входящие в состав САУ ГТД.

Для систем топливопитания, имеющих ОТН неуправляемой производительности, например шестеренный насос высокого давления, управление расходом топлива может быть реализовано только на основе перепуска избыточного количества подаваемого насосом топлива с его выхода на вход. Этот перепуск должны осуществлять элементы АДТ в таком количестве, чтобы подача топлива в двигатель строго соответствовала заданному режиму его работы и условиям полета.

Простейшим устройством, позволяющим дозировать топливо по указанному принципу, является клапан перепада давления КПД, который автоматически поддерживает заданный перепад давления на дозирующей игле ДИ при любом ее проходном сечении, изменяемом с помощью РУД. Перемещение РУД, например, на снижение режима работы двигателя приведет к уменьшению проходного сечения ДИ и возрастанию перепада давления на ней, под действием которого КПД будет увеличивать перепуск топлива на вход в ОТП до тех пор, пока перепад не уменьшится на величину превышения. При этом подача топлива к форсункам будет снижена до уровня, соответствующего новому положению РУД.

В качестве ОТН неуправляемой производительности наиболее часто применяют шестеренные насосы, а также используют плунжерные насосы с не-

подвижной наклонной шайбой. Последнее особенно характерно для систем топливопитания вертолетных ГТД, в которых обусловленный отсутствием подкачивающих двигательных насосов некоторый недостаток давления топлива на входе в ОТН можно скомпенсировать повышенной устойчивостью плунжерных насосов к кавитации.

Насосы неуправляемой производительности выполняют с большим избытком подачи топлива по отношению к потребной, что необходимо для обеспечения потребной подачи при возможном снижении производительности насосов за счет износа их качающих узлов и уменьшения плотности топлива, дополнительно подогреваемого при перепуске (на больших высотах количество перепускаемого топлива достигает 80...90% от производительности насоса). В наибольшей степени снижение фактической производительности по указанным причинам свойственно шестеренным насосам, для которых запас производительности принимают не менее 1,5.

За автоматом дозировки топлива в магистрали высокого давления устанавливают стоп-кран СК, перекрывающий магистраль при выключении двигателя. Для предохранения от перегрузок качающего узла ОТН и элементов АДТ при резком повышении давления в момент закрытия СК на линии выхода из ОТН располагают предохранительный клапан КП, который при достижении максимально допустимого давления открывает слив топлива на вход в насос. Во многих ГТД применяют стоп-краны специальной конструкции, позволяющей при перекрытии магистрали высокого давления сообщать ее со сливом.

Минимальное давление топлива, при котором центробежные форсунки могут обеспечивать удовлетворительное качество его распыливания в камере сгорания, составляет 0,3...0,4 МПа. Максимальное давление перед форсунками не должно превышать 12...15 МПа по условиям прочности трубопроводов и надежности основного топливного насоса. При таком диапазоне давлений расход топлива через одноконтурные форсунки можно изменить примерно в 5..6 раз, тогда как потребное отношение максимальной подачи топлива к минимальной достигает 15...25. Поэтому в ГТД часто применяют двухконтурные форсунки, которые позволяют увеличивать расход топлива не только путем повышения давления, но и за счет приращения площади проходного сечения последовательным включением в работу сначала первого, а затем второго контура. Иногда используют последовательно подключаемые две отдельные группы форсунок. В ГТД с относительно небольшими расходами топлива его подачу и камеры сгорания осуществляют одноконтурными форсунками.

Для включения и работу двухконтурных форсунок служит автоматический распределитель топлива АРТ, который в общем случае состоит из распределительного клапана и запорных клапанов обоих контуров. Отмеченные элементы АРТ условно объединены в один узел.

Запорный клапан первого контура открывает подвод топлива в соответствующие каналы форсунок Ф1к при давлении, обеспечивающем нормальный распыл топлива на запуске двигателя (0,3..0,4 МПа). На неработающем двигателе он предотвращает подтеkanie топлива в камеру сгорания. Распределитель-

ный клапан, устанавливаемый обычно на линии второго контура, обеспечивает доступ топливу в этот контур при увеличении давления до 1,5...2,5 МПа. Запорный клапан второго контура открывает подвод топлива в каналы форсунок ФК, при давлении более высоком (на 0,1...0,2 МПа), чем давление открытия распределительного клапана. Это способствует быстрому заполнению топливного коллектора и включению в работу распылителей второго контура форсунок.

Для предотвращения засорения форсунок механическими частицами подачу топлива к ним осуществляют через фильтры Ф, которые для простоты размещены перед топливными коллекторами, тогда как в действительности их устанавливают в корпусах форсунок на каналах обоих контуров перед распылителями.

Магистраль пускового топлива служит для питания топливом пусковых форсунок воспламенителей при запуске двигателя. Пусковые форсунки достаточно хорошо распыливают топливо, подведенное к ним под давлением 0,15...0,3 МПа. Поэтому питание данной магистрали осуществляют от подкачивающего двигательного насоса.

Основными элементами магистрали пускового топлива являются: электромагнитный клапан ЭМК, фильтр Ф, обратный клапан ОК и пусковые форсунки ФП. ЭМК служит для включения и выключения подачи топлива к форсункам по автоматическим командам от панели запуска двигателя. ОК предотвращает прорыв горячего газа через форсунки из камеры сгорания в топливную магистраль после запуска ГТД. Фильтры и обратные клапаны обычно устанавливают в пусковых форсунках, число которых должно быть не менее двух для кольцевых камер сгорания и достигает четырех в трубчато-кольцевых камерах.

В системах топливопитания некоторых ГТД магистраль пускового топлива отсутствует. Для запуска таких двигателей используют мощные свечи зажигания поверхностною разряда, воспламеняющие основное топливо, подаваемое в камеру сгорания рабочими форсунками.

Газотурбинные двигатели первых выпусков имели автономные системы пускового топлива с отдельным баком, подкачивающим и пусковым топливными насосами. В качестве топлива для этих систем использовали бензин. Их применяли для питания топливом турбокомпрессорных стартеров и пусковых форсунок воспламенителей.

Система дренажа топлива служит для уменьшения опасности возникновения пожара на двигателе и предусматривает слив небольшого количества топлива из мест его возможного скопления с последующим выбросом в атмосферу. В схемах данная система изображена штриховыми линиями с короткими штрихами.

Топливо сливают в дренажный бак БДр из топливных коллекторов, нижних полостей камеры сгорания и турбины, где оно может скапливаться после выключения или неудачного запуска двигателя. Осуществляют также дренаж полостей между уплотнениями хвостовиков приводных валов топливных насосов. Для слива топлива из коллекторов, полостей камеры сгорания и турбины применяют дренажные клапаны КДр, которые при работе двигателя закрыты

усилиями от высокого давления топлива или газа и открываются усилием затяжки пружины при снижении давления до 0,2...0,4 МПа в момент останова ГТД. Из дренажного бака топливо вытесняется подведенным от компрессора воздухом в выходное устройство двигателя.

3.1 Контроль качества авиаГСМ. Общие положения.

Качество авиаГСМ — это совокупность их свойств, определяющая способность этих материалов удовлетворять установленным требованиям в соответствии с прямым назначением.

В химмотологии все свойства авиаГСМ условно делятся на 3 группы, физико-химические, эксплуатационные и экологические.

Физико-химические свойства — это физические и химические свойства авиаГСМ, которые определяются различными методами анализа в лабораторных условиях. К ним относятся: плотность, вязкость, температура вспышки, теплота сгорания, показатель преломления, испаряемость, кислотность, температура начала кристаллизации и др.

Эксплуатационные свойства — это свойства авиаГСМ, которые проявляются при использовании их непосредственно в двигателях, механизмах и в системах ВС (топливной, масляной, гидравлической). К ним относятся: чистота, детонационные, моющие, коррозионные, противоизносные свойства, склонность к нагаро-, лако- и осадкообразованию, содержание фактических смол и др.

Экологические свойства - это свойства авиаГСМ, которые проявляются при взаимодействии авиаГСМ или продуктов их сгорания с окружающей средой. К ним относятся: токсичность, пожаро- и взрывоопасность, стабильность при хранении и др.

Свойства авиаГСМ характеризуются так называемыми показателями качества, количественная оценка которых позволяет установить соответствие качества продуктов требованиям ГОСТа (ТУ), т. е. их кондиционность.

В предприятиях ГА контроль качества авиаГСМ должен быть систематическим и проводиться на всех этапах от поступления на склад и до выдачи на заправку. Осуществляется контроль качества по важнейшим показателям, указанным в табл.3.1. В перечень показателей качества авиаГСМ, определяемых в лабораториях предприятий, включены такие показатели, которые наиболее подвержены изменениям в процессе транспортирования и хранения.

3.2 Организация контроля качества реактивных топлив

Показатели качества и методы их оценки, включенные в стандарт на топливо, должны позволять быстро определять вид топлива, его марку как в условиях завода-изготовителя, так и у потребителя. В стандарте на топливо обязательно должно быть предусмотрено определение тех свойств, которые склонны к изменению в условиях транспортирования и хранения. Качество топлив систематически контролируют, начиная с момента их производства и кончая заправкой в баки машин и топочных устройств. Анализы проводят в лаборатори-

ях заводов, нефтесбытовых организаций и крупных потребителей и по назначению их подразделяют

Таблица 3.1

Контроль качества ГСМ в авиапредприятиях РФ

ВХОДНОЙ			
Анализы	Проверки	Периодичность	Основание для приема на склад
1	2	3	4
Массовой плотности	Чистоты в приемном резервуаре и средстве доставки. Внешнего вида. Сопроводительной документации. Паспорта изготовителя (поставщика)	При поступлении и приеме каждой партии	Решение по результатам выполненных анализа и проверок
ПРИЕМНЫЙ			
Анализы	Проверки	Периодичность	Основание для приема на склад
5	6	7	8
Массовой плотности. Фракционного состава, вязкости, кислотности, температуры вспышки в закрытом тигле, температуры начала кристаллизации. Содержание фактических смол, содержание водорастворимых кислот	Чистоты в резервуаре. Соответствие результатов анализа и паспорта изготовителя и поставщика и НД	После окончания наполнения. После приема каждого продукта другой партии. Через 12 месяцев.	Заключение анализа пригодности к выдаче
СКЛАДСКОЙ			
Анализы	Проверки	Периодичность	Основание для приема на склад
9	10	11	12
Массовой плотности. Фракционного состава, вязкости, кислотности, температуры вспышки в закрытом тигле, температуры начала кристаллизации, Содержание водорастворимых кислот	Чистоты в резервуаре. Соответствие результатов анализа ГОСТ на продукт	Через 6 месяцев.	Заключение в журнале результатов анализа
АЭРОДРОМНЫЙ			
Анализы	Проверки	Периодичность	Основание для приема на склад
13	14	15	16
Массовой плотности.	Чистоты в расходном резервуаре, средствах очистки и заправки.	В соответствии с разделом 4 руководства	Наличие контрольного талона.

на приемо-сдаточные, контрольные, полные и арбитражные.

Приемосдаточный анализ проводят для установления соответствия поступившего или запланированного к отгрузке топлива тем данным, которые указаны в соответствующих документах. Контрольный может проводиться по ходу приготовления топлива («ходовой» анализ), после перекачки, в процессе хранения и т.д. Полный анализ позволяет дать оценку качества по основным эксплуатационным свойствам, включенным в стандарт на топливо; его проводят для партии топлива, отгружаемой с завода, перед «закладкой» топлива на длительное хранение и в некоторых других случаях.

Арбитражный анализ проводят в случае возникновения разногласий между поставщиками и потребителем в любой нейтральной лаборатории, компетентной в оценке качества топлив и выбранной по соглашению сторон.

Во всех случаях анализ топлива осуществляют по тем показателям, которые включены в стандарт на данное топливо. Однако число контролируемых показателей может быть различным. Например, при оценке изменения качества бензина при хранении в первую очередь определяют такие показатели, как фракционный состав, содержание фактических смол и кислотность. Для арбитражного анализа определяют, как правило, только те показатели, по которым возникли разногласия.

Объем анализов и сроки их проведения на разных этапах системы контроля качества топлив регламентируются соответствующими инструкциями и распоряжениями. Нефтеперерабатывающий завод или комбинат-производитель топлива обязан выдать нефтебазе или потребителю (при отгрузке транзитом) паспорт качества с развернутыми характеристиками качества.

Все особые условия по качеству топлив включают отдельными пунктами в договор о поставке, заключенный между поставщиком и нефтесбытовыми органами или потребителями.

3.3 Комплекс квалификационных методов испытаний топлив для авиационных газотурбинных двигателей.

подавляющее большинство современных самолетов и вертолетов оснащено газотурбинными двигателями. Они независимо от используемого принципа тяги (за счет работы воздушного винта или истечения газов из сопла) работают на топливах для реактивных двигателей. Реактивные топлива представляют собой дистиллятные фракции нефти, выкипающие с учетом топлив различных марок в пределах 60-320 °С. Характерной особенностью применения топлив на авиационной технике являются повышенные требования к безотказности ее работы. В связи с этим реактивные топлива подвергают более тщательному контролю по технологии производства и качеству при выработке, транспортировании, хранении и применении.

Комплекс квалификационных методов испытаний топлив для авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) используют наиболее часто. Ежегодно по нему испытывают свыше десятка образцов реактивных топлив, что дает экономию, исчисляемую миллионами рублей.

В процессе применения за последние годы указанный комплекс существенно развит. В результате - это наиболее полный по оценке эксплуатационных свойств топлив комплекс методов, которым предусмотрено определение всех (за исключением токсичности) эксплуатационных свойств реактивных топлив, в том числе испаряемости, воспламеняемости и горючести, склонности к образованию отложений, совместимости с материалами, прокачиваемости, противоизносных и защитных свойств, электризуемости и стабильности при хранении.

3.3.1 Испаряемость

Авиационные ГТД могут работать на топливах, имеющих испаряемость в очень широком диапазоне. Испаряемость непосредственно характеризует (при прочих равных условиях) скорость образования горючей смеси паров топлива и воздуха и таким образом влияет на полноту сгорания и связанные с этим особенности работы ГТД: легкость запуска, нагарообразование, дымление, теплонапряженность отдельных участков камер сгорания. Кроме того, от испаряемости топлива зависит парциальное давление его паров в надтопливном пространстве баков летательных аппаратов, которое обуславливает потери топлива в полете и избыточное давление в баках, необходимое для обеспечения бескавитационной работы топливных насосов. Уменьшение испаряемости топлива затрудняет организацию его полного сгорания в ГТД, но облегчает бескавитационную работу топливных насосов и снижает потери от испарения.

Испаряемость реактивных топлив оценивают такими показателями: фракционным составом, давлением насыщенных паров.

3.3.2 Фракционный состав реактивных топлив

Определяют по ГОСТ 2177-82. Испытание проводят в основном так же, как и для бензинов. Отличием является скорость нагрева колбы с пробой до падения первой капли конденсата в приемник. Время нагрева образцов реактивных топлив должно составлять 10-15 мин. Кроме того, в отличие от бензинов контролируемые показатели фракционного состава реактивных топлив является температура начала перегонки, а также перегонки 10, 50, 90 и 98% фракции.

Фракционный состав современных реактивных топлив характеризуется данными, приведенными в табл.5.1.5.

3.3.3 Давление насыщенных паров реактивных топлив

По комплексу методов определяют двумя разными методами в зависимости от фракционного состава топлив. Для топлив типа Т-2, содержащих преимущественно бензиновые фракции, давление насыщенных паров определяют по ГОСТ 1756-52 при температуре 38 °С в приборе типа бомбы Рейда. Давление насыщенных паров реактивных топлив по указанному методу составляет:

Марка топлива	Давление насыщенных паров	
	мм рт.ст.	кПа
T-2	60-100	7,9-13,3
ТС-1	20-30	2,6-3,9
T-1	20-30	2,6-3,9
PT	20-33	2,6-4,5

3.3.4 Воспламеняемость и горючесть

Воспламенение подготовленной к сгоранию топливо-воздушной смеси в камере сгорания ГТД перед началом его работы происходит от электрической искры или от специальных воспламенителей. При работе двигателя непрерывно поступающая смесь воспламеняется от образовавшегося факела.

В связи с указанными особенностями работы ГТД воспламеняемость топлива в основном влияет на легкость запуска двигателя и форму факела пламени горящего топлива, определяющего геометрию температурного поля внутри камеры сгорания, а следовательно, теплонапряженность отдельных ее частей. Кроме того, воспламеняемость характеризует огнеопасность топлива при нахождении его в топливных системах летательных аппаратов и при обращении с ним в процессе производства, хранения, транспортирования и заправки.

Воспламеняемость топлив обычно характеризуется концентрационными и температурными пределами воспламенения, температурами вспышки, воспламенения и самовоспламенения, а также в отдельных случаях взрываемостью. В комплексе квалификационных методов испытаний реактивных топлив предусмотрено оценивать воспламеняемость температурой вспышки.

3.3.4.1 Температура вспышки реактивных топлив

Это минимальная температура жидкого топлива, при которой его пары образуют смесь с воздухом, способную загораться при поднесении пламени. Ее определяют по ГОСТ 6356-75 в закрытом тигле. Скорость нагрева топлива в приборе регулируют, причем вначале она составляет 5-8°С/мин, а за 30 °С до ожидаемой температуры вспышки –2 °С/мин. Допускаемые расхождения между параллельными определениями составляют 1 °С при температуре вспышки до 50 °С и 2°С-при более высокой.

Эксплуатационное свойство реактивного топлива, определяемое непосредственно процессом сгорания его в ГТД, проявляется по разным направлениям. Во-первых, как и для других топлив, оно характеризуется количеством тепла, выделяющегося при сгорании, во-вторых, склонностью к неполному сгоранию, и, в-третьих, тепловой радиацией пламени. От теплосодержания топлива непосредственно зависит такая важная характеристика летательного аппарата, как дальность полета.

Неполное сгорание топлива, имеющее место в авиационных ГТД, как правило, незначительно влияет на количество выделяющейся энергии, однако

приводит к нежелательным явлениям, связанным с образованием нагара в камере сгорания и дымностью отработавших газов. Нагарообразование в ГТД - это потеря его мощности, забивка форсунок, коробление и выход из строя камер сгорания, разрушение рабочих лопаток газовых турбин и направляющего аппарата и ряд других отрицательных последствий. Дымность отработавших газов вызывает загрязнение окружающей среды, а повышенная тепловая радиация пламени приводит к местным перегревам камер сгорания ГТД с последующим их короблением и даже растрескиванием.

В комплексе квалификационных методов горючесть принято оценивать следующими показателями:

- удельной теплотой сгорания,
- плотностью топлива,
- высотой некоптящего пламени,
- люминометрическим числом,
- содержанием ароматических углеводородов (общее и отдельно бициклические),
- массой нагара,
- полнотой сгорания топлива в модельной камере сгорания.

3.3.5. Теплота сгорания реактивных топлив.

3.3.5.1 Энергетические свойства топлив

Оценивают удельной теплотой сгорания и плотностью.

Удельная теплота сгорания – количество тепла, которое выделяется в процессе сгорания, отнесенное к единице массы или объема, молю топлива или единице объема или массы (молю) горючей смеси – топливо+воздух.

Высшая теплота сгорания учитывает теплоту конденсации продуктов реакции сгорания.

Низшая теплота сгорания не учитывает теплоту конденсации продуктов сгорания и по величине меньше высшей.

Плотность характеризует удельную энергоемкость топлива – потенциальный запас тепловой или химической энергии, заключенной в единице массы или объема топлива при стандартных условиях.

Теплота сгорания есть результат измерения внутренней энергии топливной смеси и произведенной работы газов.

Удельные теплоты сгорания углеводородов

Таблица 3.3.5.1

Углеводороды	Плотность при 20°С, кг/м ³	Удельная теплота сгорания	
		Массовая кДж/кг	Объемная кДж/л
Н-декан	729,9	44380	32490
3,3 диэтилгексан	762,4	44380	33787
3,3,4,4 тетраметил- пентан	782,4	44380	34667
Н-бутилциклогексан	799,2	41868	33461
1,2,3,4 тетраметил-	821,9	41868	34411

гексан			
Н-бутилбензол	860,3	41575	35767
1,2,3,4 тетраметилбензол	904,6	41114	37192

Теплота сгорания зависит от строения углеводородов. Массовая теплота сгорания алканов намного выше, чем ароматических, а объемная сгорания выше у ароматических, за счет увеличения плотности.

Удельный расход топлива в реактивных двигателях определяет дальность полета самолета. Он снижается с увеличением полноты сгорания топлива, а также с повышением низшей теплоты сгорания.

Для различных условий эксплуатации самолета более важное значение имеет массовая, либо объемная теплота сгорания. В сверхзвуковых самолетах, где объем топливных баков строго лимитирован, превалирующее значение имеет объемная теплота сгорания. Для всех марок реактивных топлив стандартами и техническими условиями регламентируется массовая теплота сгорания. Значение объемной теплоты сгорания топлива регламентируется косвенно, так как она равна произведению массовой теплоты сгорания топлива на его плотность. Для топлив, предназначенных для сверхзвуковых самолетов, необходимо иметь более высокие значения объемной теплоты сгорания. Поэтому плотность таких топлив устанавливается на более высоком уровне, чем для топлив, предназначенных для полетов на дозвуковых скоростях полета.

Теплота сгорания топлив определяется углеводородным составом (Табл.3.3.5.2)

Табл. 3.3.5.2

Зависимость теплоты сгорания от углеводородного состава топлив

Пределы выкипания фракций, °С	Парафиновые углеводороды		Нафтеновые углеводороды		Моноциклические ароматические углеводороды	
	кДж/кг	кДж/л	кДж/кг	кДж/л	кДж/кг	кДж/л
100-150	45,1-43,8	33,2-32,3	43,3-41,8	35,5-31,0	41,6-41,1	35,6-34,3
150-200	44,8-43,9	34,1-31,9	43,5-42,3	36,0-32,2	41,9-40,4	37,5-34,7
200-250	44,6-43,8	35,8-33,7	43,7-42,3	36,3-31,9	41,6-41,3	38,0-36,0
250-300	43,8-43,1	34,6-34,4	43,2-42,3	37,0-32,9	41,8-40,9	39,1-36,2

Массовая теплота сгорания обуславливается соотношением водорода и углерода (H/C): наибольшее для парафиновых и наименьшее для ароматических углеводородов.

Объемная теплота сгорания для углеводородов зависит от их массовой теплоты сгорания и плотности. Ароматические углеводороды имеют наиболее высокие значения плотности, особенно нафталиновые. Их объемная теплота сгорания существенно выше, чем у нафтенных и парафиновых углеводородов.

Влияние массовой (кДж/кг) и объемной (кДж/л) теплот сгорания реактивных топлив на относительную дальность полета самолета иллюстрируют данные, приведенные в таблице 3.3.5.3 (за 100% принята дальность полета на топливе Т-1, образец 1)

Таблица 3.3.5.3

Влияние массовой и объемной теплот сгорания на дальность полета

Марка топлива	Плотность, кг/м ³	Теплота сгорания		Дальность полета, %
		кДж/кг	кДж/л	
Т-1:				
Образец 1	810	42,8	35,5	100
Образец 2	800	42,8	34,2	98,8
ТС-1	775	42,8	33,2	95,6

Зависимость секундного расхода массы газа ВРД от топлива

Секундный расход массы газа равен сумме расходов топлива и потребного окислителя: $m_m = m_m \times m_o$. Без учета влияния конструкции двигателя расход топлива определяется скоростью горения. Нужную для полного сгорания топлива массу окислителя можно определить, используя уравнения реакций окисления:

Реакция	Молекулярная масса, кг
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	12,01 + 32
$H_2 + 0,5O_2 \rightarrow H_2O$	2,016 + 16
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	32 + 32

Из этих данных видно, что на окисление 1 кг водорода (16:2, 016 \approx 7,94) расходуется почти в 3 раза больше молекулярного кислорода, чем на окисление 1 кг углерода (32: ,: 12,01 \approx 2,66), и почти в 8 раз больше, чем на окисление серы (32:32 \approx 1). Количественные соотношения, в которых вещества реагируют друг с другом без остатка, называются стехиометрическими, а стехиометрическое отношение массы окислителя к массе топлива — стехиометрическим коэффициентом топливовоздушной смеси γ_o . В ВРД для окисления топлива используют атмосферный воздух, 1 кг которого содержит 0,231 кг кислорода. Масса воздуха, идущая на окисление топлива, в 4,33 (1:0,231) раза больше, чем масса кислорода. Для окисления 1 кг водорода требуется 34,4 кг воздуха, а для 1 кг углерода — 11,5 кг. Чтобы определить, сколько кислорода требуется для полного сгорания 1 кг топлива, нужно знать его элементный состав (массовое содержание в нем горючих элементов;

$$m_o = 2,66 [C] + 7,94 [H] + 1 [S]$$

Например, для сгорания 1 кг топлива, состоящего из 0,86 кг углерода и 0,14 кг водорода, необходимо кислорода $t_o = 0,86 \cdot 2,66 + 7,94 \cdot 0,14 = 3,4$ кг или воздуха $I_o = 3,4 / 0,231 = 14,7$ кг.

Отсюда видно, что секунднй расход массы газа зависит от химического состава топлива и заметно увеличивается с ростом концентрации водорода. При использовании только водорода расход массы газа при одинаковом расходе топ-

лива, а следовательно, и тяга двигателя в 3 раза больше, чем при использовании углерода. Это показывает, что стехиометрический коэффициент относится к важнейшим энергетическим характеристикам топлива. Чем он выше, тем с большей эффективностью может быть использована энергия топлива. Однако стехиометрический коэффициент топлива, зависящий от природы топлива как параметр, влияющий на расход массы газа и тягу двигателя, может иметь ограничения. Это связано с тем, что при больших значениях l_0 следует подавать в камеру сгорания много сжатого воздуха, для получения которого требуется мощный компрессор, а для его привода — мощная турбина. Это влечет за собой увеличение габаритов двигателя, его массы и, как следствие, снижение полезного использования химической энергии топлива. Значения стехиометрического коэффициента для некоторых топлив приведены в табл.3.3.5.4

Таблица 3.3.5.4

Масса воздуха, необходимая для полного окисления некоторых топлив.

Топлива	Относительный элементный состав			Масса воздуха для окисления, кг
	С	Н	О	
Парафиновые	0,845	0,155	-	15,05
Нафтенy, олефины	0,857	0,143	-	14,78
Ароматические	0,90	0,10	-	13,80
Метан	0,749	0,251	-	17,23
Метанол	0,375	0,125	0,500	6,47
Этанол	0,522	0,130	0,348	9,00

Реальный состав горючей смеси в двигателях обычно отличается от стехиометрического. Его принято характеризовать коэффициентом избытка воздуха a , представляющим собой отношение действительной массы воздуха в смеси к стехиометрическому. При $a = 1$ (стехиометрическая смесь) топливо сгорает полностью, при $a > 1$ (бедная смесь) после полного сгорания топлива остается избыток кислорода, при $a < 1$ (богатая смесь) топливо сгорает частично из-за недостатка кислорода. Поэтому для реальных условий работы ВРД секундный расход массы газа

$$m_c = m_t(1 + al_0) = m_t\{1 + a(34,4[H] + 11,5[C] + 4,33[S])\}$$

При использовании керосиновых фракций всегда $a > 1$. Это связано с необходимостью снижения температуры газа из-за недостаточной высокотемпературной стойкости материала стенок камеры сгорания, соплового аппарата и лопаток турбины.

При сгорании 1 кг топлива температура газа (приблизенно) рассчитывается по формуле:

$$T_r = q/C_r(1 + al_0)$$

где : q — теплота сгорания топлива, Дж/кг; C — удельная теплоемкость газа, Дж/(кг.К).

Из этой формулы следует, что температура продуктов сгорания может быть снижена или за счет увеличения коэффициента a , или применения топлива с более низкой теплотой сгорания, или высокого значения C_r . При использовании нефтяных топлив температуру продуктов сгорания снижают путем увеличения коэффициента a , что ведет к росту расхода газа.

Теплота сгорания топлива определяется его элементным составом: чем больше в составе топлива водорода, тем больше теплота сгорания. Так, теплота сгорания парафиновых углеводородов равна 44 000 кДж/ кг, нафтеновых и непредельных всего равна 41 000 кДж/кг. Зная элементный состав топлива, по данным формул можно подсчитать его теплоту сгорания. При этом следует учесть энергию, затрачиваемую на разрыв связей в молекулах углеводородов и кислорода при сгорании в двигателе. Такой учет необходимо выполнить потому, что теплота сгорания по формулам определена для элементарных топлив, а не для углеводородов. Эта энергия для нефтяных топлив невысока и имеет значение около 1800 — 2000 кДж/кг. Высшую теплоту сгорания рассчитывают в килоджоулях на килограмм:

$$q_B = 32\,500 [C] + 143\,000[H.] - 1900.$$

При ее определении учитывают теплоту конденсации паров воды, образующуюся при сгорании. При конденсации воды выделяется 2500 кДж/кг энергии.

При работе двигателя теплота конденсации паров, выбрасываемых в атмосферу, не используется, поэтому для характеристики топлива применяют *низшую теплоту сгорания*. Она меньше высшей на теплоту конденсации паров воды. При сгорании 1 кг топлива образуется 9 кг воды, поэтому низшая теплота сгорания в килоджоулях на килограмм q_B — 22 500 [Н] . Если, например, 1 кг топлива содержит 0,86 кг углерода и 0,14 кг водорода, то его низшая теплота сгорания

$$q_H = 32\,500 \cdot 0,86 + 143\,000 \cdot 0,14 - 1900 - 22500 \cdot 0,14 = 42\,850 \text{ кДж/кг.}$$

Итак, теплота сгорания топлива — результат перехода энергии электронов в кинетическую энергию продуктов сгорания в результате сложной цепи физико-химических процессов разрушения и образования связей между атомами. Значение ее, зависящее от химической природы горючего и окислителя, может быть измерено температурой продуктов сгорания, которая для топлива "водород-кислород" примерно равна 3373 К, "фтор-водород" — 4273 К, "керосин-кислород" — 2873 К. Теплота сгорания топлива относится к важнейшим физико-химическим показателям его качества, характеризующим его энергетические свойства. Поэтому этот показатель нормируют. В

отечественных стандартах на топлива теплоту сгорания выражают количеством тепла, выделяемым при полном сгорании 1 кг топлива в атмосфере кислорода. Нормируют низшую теплоту сгорания.

3.3.6 Высота некоптящего пламени

Определяют по ГОСТ 4338-74. Сущность метода заключается в сжигании навески испытуемого топлива в специальном приборе - фитильной лампе ЛВП с хлопчатобумажным фитилем и измерении максимальной высоты некоптящего пламени.

3.3.7 Люминометрическое число

Определяют по ГОСТ 17750-72. Оно характеризует интенсивность теплового излучения пламени при сгорании топлива-радиацию пламени. Его устанавливают по температурам газов в камере сгорания специального прибора ГТЛЧТ-69 при сжигании опытного и эталонных образцов топлив (тетралина и изооктана) при одинаковом уровне монохроматического излучения пламени этих топлив в зелено-желтой полосе видимого спектра. Температура газов над пламенем опытного и эталонных топлив определяется при интенсивности свечения их пламени, равной интенсивности свечения пламени тетралина в точке дымления. Указанным методом может быть найдена также максимальная высота некоптящего пламени реактивных топлив.

3.3.8 Содержание ароматических углеводородов в реактивных топливах определяют по ГОСТ 6994-74.

3.3.9 Содержание бициклических (нафталиновых) ароматических углеводородов определяют по ГОСТ 17749-72.

Метод основан на различной интенсивности светопоглощения ароматическими углеводородами в ультрафиолетовой области с длиной волны 285 нм интенсивность поглощения бициклических в десять раз выше моноциклических ароматических углеводородов, а насыщенные углеводороды вообще не поглощают света в этой области спектра. Метод предназначен для определения суммарного содержания бициклических ароматических углеводородов в топливах, выкипающих до 315 °С.

3.3.10 Оценка характеристик сгорания топлив

Включает определение пределов устойчивого горения и склонность топлив к нагарообразованию.

3.3.10.1 Пределы устойчивого горения.

Состав смеси, соответствующий появлению пламени на выходе из камеры сгорания, т.е. перед сопловым аппаратом, условно принимают за предел устойчивого сгорания топлива на богатых смесях, а состав смеси, соответствующий срыву пламени, - за предел устойчивого горения на бедных смесях. Проведение испытания заключается в следующем. Устанавливают расход воздуха G_B

~ 0,25 кг/с и его температуру $t_B = 60^\circ\text{C}$. Прогревают камеру сгорания в течение 5 мин и затем состав смеси постепенно обогащают, повышая давление подачи топлива до появления на выходе из камеры сгорания начала факела. Для фиксации предела устойчивого горения топлива на бедных смесях при указанном начальном режиме работы установки плавно уменьшают подачу топлива до срыва пламени. В моменты появления факела на выходе из камеры сгорания и полного угасания пламени в ней измеряют расход топлива и воздуха. Допускаемые расхождения между двумя параллельными определениями - не более 5%.

3.3.10.2 Склонность топлива к нагарообразованию

Оценивают по массе отложений нагара в жаровой трубе малоразмерной камеры сгорания при постоянных условиях испытания. Определение проводят при работе установки на следующем режиме: $G_B = 0,25$ кг/с, $t_B = 60^\circ\text{C}$.

После одного часа работы камеру сгорания разбирают, среднюю часть жаровой трубы с отложившимся на ней нагаром взвешивают и по разнице масс камеры сгорания до и после испытаний определяют массу нагара. Перед взвешиванием с целью удаления топлива среднюю часть жаровой трубы опускают в бензин на 15 мин и затем высушивают при температуре 150°C до постоянной массы. Допускаемые расхождения между параллельными определениями не должны превышать 20%.

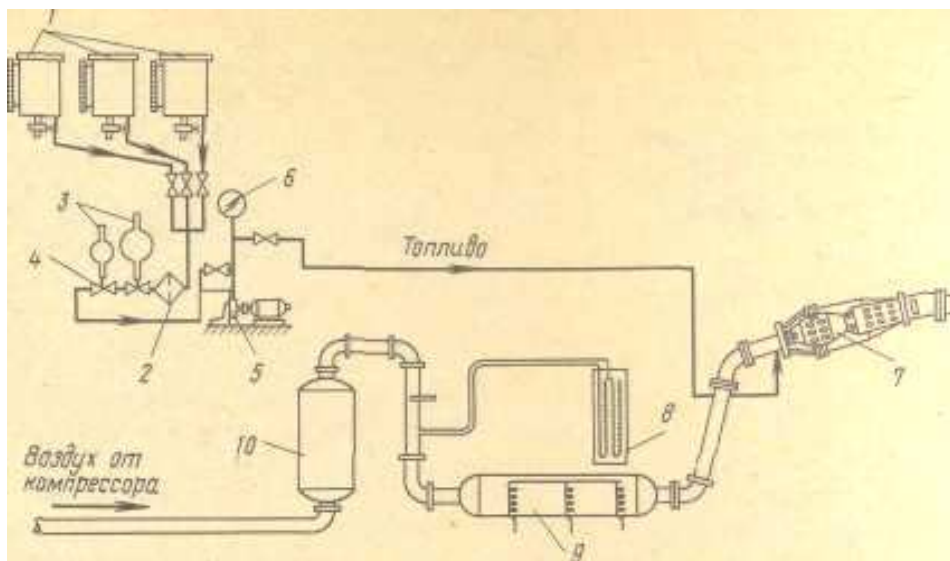


Рис. 3.3.10.1. Схема малоразмерной однокамерной установки:

1- топливные баки; 2-фильтр; 3-штихпроберы; 4-краны; 5-топливный насос; 6-манометр; 7-малоразмерная камера сгорания -приборы, измеряющие расход и давление воздуха; 9- электроподогреватель воздуха; 10 -ресивер.

Склонность топлив к нагарообразованию можно описать одной формулой:

$$G_H = B \times \xi_p \times p^2 (6,3 + 0,7A) \times 10^{-18}$$

где G_K - масса нагара в модельной камере сгорания, г; B - коэффициент, зависящий от конструкции экспериментальной установки с модельной камерой сгорания; t_{cp} - усредненная температура кипения топлива, °С; p - плотность топлива, кг/м³; A - содержание ароматических углеводородов в топливе, % (масс).

Численное значение коэффициента B составляет 215 при определении на установке У-314М и 280-на установке ВНИИ НП.

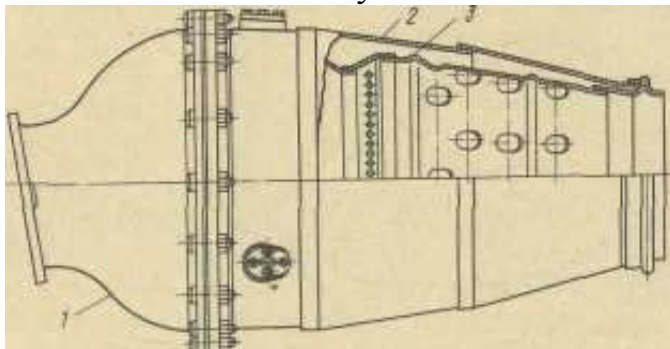


Рис. 3.3.10.2. Схема малоразмерной камеры сгорания:
1-диффузор; 2-кожух; 3-жаровая труба.

4. Анализ статистики отказов агрегатов топливной системы летательных аппаратов, связанных с качеством топлива.

За период с 1991 по 2005 гг. произошло 96 событий, связанных с отказом топливной системы самолета и двигателей в процессе подготовки и выполнения полетов.

Сводные данные по количественным показателям событий в зависимости от типа ЛА, этапов полета, характеристики события и сезона приведены в таблице 4.1.

Анализ данных, приведенных в табл. 4.1 показывает, что наибольшее число событий относится к наиболее массовому самолету типа ТУ-154Б-М (23 события); затем идут вертолеты Ми-2, Ми-8 (12 событий), самолеты Ан-24, Ан-28 (11 событий), Ил-62 (5 событий), Ту-134 (4 события), Як-40, Як-42 (3 события), Ан-12 (2 события).

По последствиям указанные летные происшествия характеризуются следующим образом: 2 катастрофы, 1 авария, 6 серьезных инцидентов, остальные – инциденты.

Большинство происшествий произошло в зимний период (46 событий), в летний период – (17 событий).

Катастрофы произошли с вертолетами Ми-2. Оба типа событий произошли из-за отказов 2-х двигателей в полете вследствие обмерзания топливных фильтров и прекращения подачи топлива.

В обоих случаях обнаружено отсутствие противоводокристаллизационной жидкости (ПВКЖ) «И-М».

Авария произошла на самолете Л-410 в результате самовыключения двигателей в результате полной выработки топлива по причине утечки топлива из баков ВС из-за неплотного закрытия заливной горловины.

Наибольший интерес представляют серьезные инциденты и инциденты, произошедшие с самолетами Ту-154 -М.

Ниже приведено описание события с самолетом Ту-154М, связанное с последовательным самовыключением 3-х двигателей в полете.

12 января 2000 года на самолете Ту-154М RA-85763 ОАО "Авиакомпания "Сибирь" выполнялись рейсы по маршруту Толмачево - Радужный - Краснодар - Радужный - Толмачево. До выполнения рейса Радужный - Толмачево замечаний по функционированию авиационной техники не было.

После выполнения рейса из Краснодара, в баках самолета осталось 5000 литров топлива ТС-1. В аэропорту Радужный в самолет было заправлено 10000 литров топлива РТ+ТС-1. Суммарная заправка ВС составила 15000 литров.

Первые замечания по работе двигателей самолёта появились в полёте из Радужного в Толмачево. Во время смены эшелона полета с 10600 до 10100 метров РУД двигателей № 1 и № 3 были установлены в положение "малый газ", при этом произошел провал оборотов ниже оборотов малого газа (МГ) с колебанием параметров работы двигателей № 1 и № 3. Также наблюдалось кратковременное загорание красной лампы сигнализации отключения генератора двигателя № 1. Параметры восстановились после увеличения режима работы двигателей.

Данная особенность повторилась в начале снижения с эшелона для захода на посадку в аэропорту Толмачево.

Перед третьим разворотом, после выпуска шасси и закрылков на 28град. и уменьшения режима работы двигателей до МГ, на высоте 640 метров произошел отказ двигателя № 2. Экипаж доложил об отказе двигателя диспетчеру ДПК и продолжил заход.

При выполнении четвертого разворота у членов экипажа возникли сомнения в правильности работы курсового канала системы КУРС МП-70.

В результате пилотирования по недостоверным показаниям ПНП, вследствие несигнализируемого отказа первого полукомплекта системы КУРС МП-70, полет на предпосадочной прямой до удаления 5500 метров от порога ВПП осуществлялся с плавным отклонением от курса влево. На удалении 5500 метров и высоте 270 метров, при боковом отклонении влево 450 метров и отклонении от курса посадки на 25град., экипаж идентифицировал ложные показания ПНП. Практически одновременно с этим диспетчер старта проинформировал экипаж об отклонении влево от курса.

Правильно оценив положение самолета как непосадочное, КВС дал команду об уходе на второй круг. Практически в этот же момент времени произошел отказ двигателя № 3.

К моменту отказа двигателя № 3, экипаж уже установил визуальный контакт с огнями ВПП. В сложной ситуации, характеризующейся непосадочным положением самолета и отказом двух двигателей, КВС принял правильное решение перейти на визуальный полет и выполнить S-образный маневр для вы-

полнения посадки на ВПП. Проявив высокий профессионализм и умелое руководство экипажем, командир ВС Долгов М.В. S-образным маневром по исправлению бокового уклонения и коррекции высоты, с максимальным использованием маневренных характеристик ВС, вывел самолет на курс посадки.

Пересечение порога ИВПП произошло на высоте 100 метров. На выравнивании, на высоте 9 метров, произошел отказ двигателя № 1. Посадка была произведена на удалении 1200 метров от входного торца ВПП. Для остановки в пределах ВПП экипаж применил аварийное торможение, что привело к разрушению всех 12 пневматиков колес основных опор шасси. Самолет остановился за 600 метров до выходного торца ВПП. Никто из находившихся на борту пассажиров и членов экипажа не пострадал. При исследовании насосов-регуляторов НР-ЗОКУ-4 было выявлено заклинивание роторов и залипание золотниковых пар агрегатов в результате отложения на их элементах значительного количества посторонних смолообразных отложений. Отказ топливорегулирующих агрегатов привел к выключению двигателей в полете.

Анализ проб топлива, взятых из баков самолета Ту-154М RA-85763, показал наличие в нем элементов, отсутствующих в топливе, соответствующем требованиям ГОСТ 10227-86.

При оценке технического состояния фильтров тонкой очистки (ФТО) двигателей также были обнаружены нехарактерные отложения, масса которых примерно в 3 раза превышала среднестатистическую массу отложений, снимаемых с ФТО нормально работавшей авиатехники. Данные отложения были идентифицированы как отвержденная дефенилолпропановая эпоксидная смола, присутствие которой в топливе является недопустимым.

Топливо, содержащее недопустимые примеси, в баки самолета было заправлено в аэропорту Краснодар 12 января 2000 года перед выполнением рейса по маршруту Краснодар - Радужный.

Заправка самолета производилась из топливозаправщика ТЗ-22 № 176, имеющего заводское цинковое покрытие внутренней поверхности цистерны, и ТЗ-22 № 212, внутренняя поверхность емкости которого была покрыта эпоксидным антикоррозионным покрытием ЭП-0010у, нанесенным в процессе эксплуатации. При исследовании смолообразований, снятых с элементов топливорегулирующих агрегатов и фильтров двигателей, был установлен факт попадания компонентов эпоксидного покрытия цистерны ТЗ-22 № 212 в топливо, которым заправлялся самолет Ту-154М RA-85763.

Причиной отказа двигателей на самолете Ту-154М RA-85763 в полете 12.01.00 является загрязнение топлива компонентами лакокрасочного антикоррозионного покрытия на эпоксидной основе внутренней поверхности цистерны ТЗ-22 № 212 из-за некачественно выполненных работ по нанесению покрытия, а также возможной недостаточной топливостойкости покрытия в ожидаемых

Таблица 4. 1.

Анализ причин прекращения полета из-за отказов топливной системы

Тип ЛА								
Этап полета, событие, сезон	Ту-154	Ту-134	Як-40	Як-42	Ми-2 Ми-8	Ил-62	Ан-12	Ан-24 Ан-28
Взлет (Пред. старт)	17		1	1	2			6
Набор высоты		2						2
Горизонт полет	6	1			9	5	2	1
Снижение		1	1		1			2
Катастрофа					2			
Авария			1(Л-410)					
Серьезный инцидент	1				5			
Инцидент	22	4	2	1	7	5	2	11
Зима	16	4	1	1	9	5	2	5
Лето	7		1		3			6

Таблица 4.2.

Отказы двигателей, связанные с заклиниванием золотниковых пар

ТРА

Дата события	Система	Агрегат	Вид отказа
15.12.90	Распределение топлива	НР-30КУ	Недопустимое изменение параметров
24.03.93	Регулирование топлива	Заклинивание золотников диф.клапанов НР-30КУ	Самопроизвольное выключение двигателей №1, №3 при включении реверса
14.02.94	Регулирование топлива	НР-30КУ	Самопроизвольное выключение двигателя
23.07.95	Регулирование топлива	Заклинивание золотника диф.клапана НР-30КУ	Самопроизвольное выключение двигателя при снижении с эшелона
13.07.96	Регулирование топлива	НР-30КУ	Невыход двигателя №2 на взлётный режим
12.01.00	Регулирование топлива	Заклинивание золотников диф.клапанов	Самопроизвольное выключение 3-х двигателей на глиссаде при уборе РУД

		НР-30КУ	
09.10.01	Топливная система (Ту-134А)	Залипания золотников диф. клапанов НР-30	Самопроизвольное выключение 2-х двигателей на пробеге

условиях эксплуатации топливозаправщиков ТЗ-22.

Аналогичные события, вызванные отказом двигателей в полете по причине заедания (залипания) золотниковых пар, имели место и ранее. Краткая характеристика этих событий приведено в табл.4. 2.

Наибольшее количество инцидентов на самолете Ту-154Б-М произошло по причине забивки топливных фильтров примесями различного происхождения (мехпримеси, смолы, лед).

Характерным событием такого типа является инцидент с самолетом Ту-154Б-2, произошедший в а/п Пекин:

После взлёта в наборе высоты на Н=7000 метров загорелась сигнализация "ФИЛЬТР ЗАСОРЁН" на СУ№3. На Н=10800 метров произошло срабатывание сигнализации "ФИЛЬТР ЗАСОРЁН" на СУ№2 и СУ№1. Экипаж произвёл вынужденную посадку в аэропорту вылета Пекин.

Причиной вынужденной посадки самолёта ТУ-154Б-2 RA-85583 явилось загорание в полёте табло "ФИЛЬТР ЗАСОРЁН" на всех двигателях. Причиной загорания табло на всех двигателях самолёта в полёте явилось попадание на топливные фильтроэлементы ФТО самолёта вещества не топливного происхождения органического характера из топливозаправщика ТЗ-22 № 21 аэропорта Толмачёво вследствие контакта материала фильтрующего элемента ЭФБ-5/10 (г. Чехов) с ПВК-жидкостью И-М повышенного содержания (более 1,0%).

Статистические данные по причинам отказов ФТО приведены в таблице 4.3.

Анализ статистических данных показывает, что наибольшее число отказов ФТО связано с засорением их мехпримесями, обмерзанием льдом, по причине отсутствия ПВКЖ «И-М», малой ее концентрации или передозировкой.

Значительное место в ряду инцидентов занимает самовыключение двигателей. Статистика по ним приведено в таблице 4.4. (всего 13 сл.).

Основные причины самовыключения двигателей: - механические загрязнения в топливе; - отсутствие или пониженное содержание ПВКЖ «И-М»; - залипание золотников ТРА из-за наличия смол в топливе; - передозировка ПВКЖ.

Данные инциденты произошли из-за не согласованности действий служб ИАС и ГСМ. Ответственность за данные инциденты несет ИАС.

Приведенные выше примеры и статистические данные показывают огромное значение знания основ химмотологической науки при расследовании летных происшествий и разработке мероприятий по обеспечению безопасности полетов.

Таблица.4.3.

Статистика по отказам фильтров тонкой очистки («фильтр засорен»)

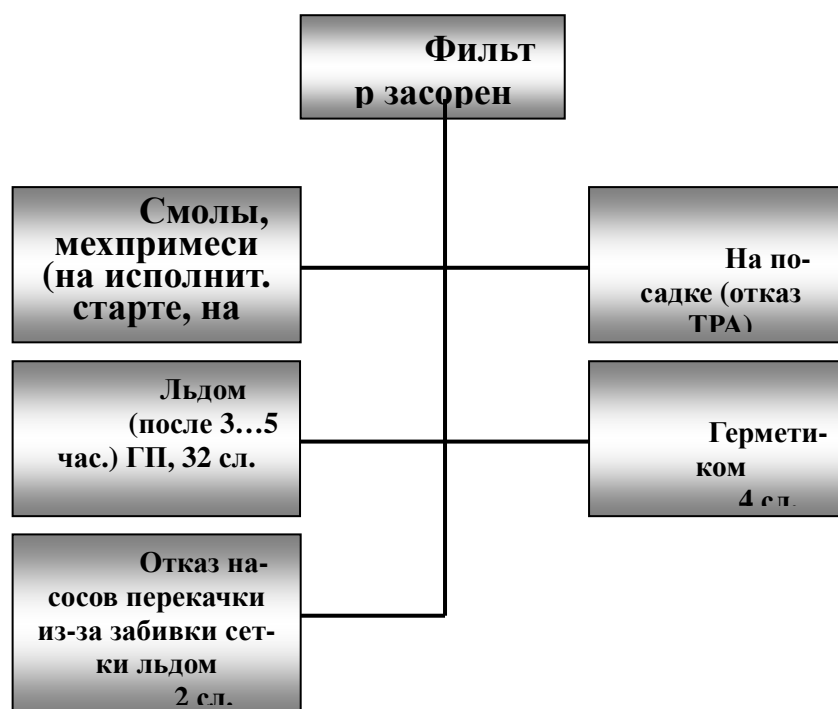


Таблица. 4.4

Самовыключение двигателей

Як-40	Некачественное топливо
Ан-24	(Отказ ТРА)
Ми-2	(Самовыключение 2х двигателей) катастрофа, без ПВКЖ
Ка-26	(Отказ 2х двигателей), с. инцидент, в п. на болото
Ми-2	(С выкл. 1го дв. и переход на МГ 2го) катастрофа, топливо без ПВКЖ
Ми-8	(Отказ 2х двигателей через 4 мин. после взлета) с. инцидент, повышенный % ПВКЖ
Ил-76	Самопроизвольное падение $n < 55\%$ в наборе Н (отказ ТРА).
Ми-8	Раскачка n и P_T двигателя, ВП
Ми-8	Раскачка n и P_T двигателя, ВП
Як-40	Самовыключение двигателя № 3 (вода в топливе)
Ту-154	Самовыключение двигателя на пробеге (загрязнение топлива)
Ту-154	Отказ 3х дв. (12-01-00) с. инцидент, на посадке. Залипание золотников
Ми-8Т	Самовыключение двигателя, смолы, передозировка ПВКЖ, через 2 мин. после взлета. ВП.
Ту134А	Самовыключение 2х двигателей в конце пробега (залипание золотников)

*-ВП-вынужденная посадка

Выброс топлива из-за незакрытия заливной горловины

Л-410, Ан-28, Як-40 11 сл. Ту-134 1 сл.

Ми-2 1 сл.

Состав нефтяных топлив.

Состав нефтяных топлив в значительной мере определяет их эксплуатационные свойства. Топлива характеризуются фракционным, компонентным, групповым химическим (углеводородным и неуглеводородным), индивидуальным и химическим (элементным) составом. Наибольшее влияние на эксплуатационные и экологические свойства бензинов, реактивных, дизельных, котельных топлив оказывает групповой химический состав топлива.

Групповой химический состав дистиллятных топлив (бензинов, реактивных и дизельных топлив) характеризует содержание в них соединений различных классов и определяется как составом нефтяного сырья, так и технологией получения топлива. Поэтому групповой химический состав топлив различного типа сильно различается. От углеводородного и неуглеводородного состава зависят эксплуатационные свойства топлив: антиокислительные, антикоррозионные, низкотемпературные, противоизносные, химическая и термическая стабильность и др.

5.1 Фракционный и компонентный состав топлив

Все товарные топлива получают компаундированием фракций первичных и вторичных процессов. Между фракционным и компонентным составом топлив существует непосредственная связь.

Таблица 5.1.1

Фракционный и компонентный состав основных видов топлив			
Топливо	Пределы выкипания °С	выки-	Основные компоненты
Бензин	35-200		Прямогонная фракция, риформат, изомеризат, алкилат, другие легкие углеводороды
Реактивные топлива	140-280		Прямогонная, гидроочищенная керосиногазойлевая фракция

5.2. Групповой химический состав топлив

В состав топлив входит углеводороды и неуглеводородные (гетероатомные) соединения различных классов, в основном определяющие физические, физико – химические и эксплуатационные свойства товарных топлив.

Групповой химический состав основных видов топлив

Топливо	Углеводороды	Гетероатомные соединения
Бензины	Алканы, циклоалканы, моноциклические арены, олефины	Серо-, азот-, кислород-, металлосодержащие соединения, высокомолекулярные полигетероатомные соединения (смолы)
Реактивные, дизельные топлива	Алканы, моно- и бициклические алканы и арены, олефины	сокомолекулярные полигетероатомные соединения (смолы)

Сернистые соединения в топливах в основном представлены сульфидами алифатического, циклоалканового (тиофены), ароматического и смешанного строения, производными тиофена и бензотиофена, меркаптанами алифатического, циклоалканового, ароматического и смешанного строения. Азотистые соединения присутствуют в значительно меньших (на порядок) концентрациях в виде производных пиридина; хинолина, изохинолина, индола, карбазола, порфирина и аминов. Кислотные соединения (продукты окисления углеводородов) присутствуют в топливах в переменной концентрации, среди них преобладают спирты, эфиры, альдегиды, кетоны и соединения смешанного строения. Высокомолекулярные полигетероатомные соединения (смолы) являются продуктами взаимодействия, полимеризации, поликонденсации малостабильных углеводородов и гетероатомных соединений.

Особенность состава реактивных, дизельных топлив по сравнению с бензинами – более высокая молекулярная масса и степень цикличности углеводородов, гетероатомных соединений по сравнению с бензинами. Концентрация гетероатомных соединений и смол возрастает от бензиновых к керосиновым и газойлевым фракциям. Котельные топлива содержат углеводороды смешанного строения и в значительных концентрациях (до 50 – 70%) – смолы и смолисто-асфальтеновые соединения.

Групповой химический состав реактивных топлив

Реактивные топлива являются среднестиллятными нефтяными фракциями с частично перекрывающимся пределами выкипания. В них содержатся углеводороды различных классов, гетероатомные соединения и неорганические примеси.

Товарные реактивные и дизельные топлива содержат следующие классы углеводородов (%):

алканы (нормального и изо строения).....	10-40
циклоалканы.....	20-60
моноциклические арены.....	13-25
бициклические арены.....	1-5

Содержание алканов нормального в реактивных 5-7, в дизельных топливах 10-20%. Изоалканы в топливах характеризуется малоразветвленным строением, количество боковых цепей невелико, их длина – до 2-5 атомов углерода. Среди циклоалканов обнаружены моно-, ди-, три- и тетразамещенные циклогексаны и циклопентаны, в боковых цепях содержатся 1-3 атома углерода. Присутствуют и бициклические конденсированные циклоалканы (декалин и его гомологи).

5.4 Склонность к образованию отложений

Топливные системы летательных аппаратов с газотурбинными двигателями в сравнении с другими видами техники отличаются повышенной теплонапряженностью. Это связано со стремлением конструкторов к повышению к.п.д., удельной мощности двигателей и к снижению их габаритов. Кроме того, на летательных аппаратах топливо, как правило, используется и в качестве хладагента для охлаждения различных агрегатов, и в качестве смазочного материала в топливорегулирующей системе двигателя.

Несмотря на то, что реактивные топлива представляют собой в нормальных условиях гомогенные жидкости, при нагревании, а также при длительном хранении в обычных условиях в них может образовываться вторая фаза. Она представляет собой в основном продукты окисления, полимеризации и конденсации гетероатомных соединений. Эти образующиеся в топливе соединения, имеющие различное агрегатное состояние и размеры частиц, могут приводить к отрицательным явлениям при эксплуатации авиационной техники, в том числе забивать фильтры, нарушать работу топливорегулирующей аппаратуры, форсунок, теплообменников, загрязнять топливные баки и др.

Склонность к образованию отложений реактивных топлив оценивается следующими показателями:

йодным числом,

зольностью,

содержанием фактических смол,

термической стабильностью (в статических и динамических условиях).

Йодное число характеризует наличие непредельных углеводородов в топливе. Эти углеводороды наиболее склонны к окислению, что может служить косвенной характеристикой реактивного топлива к образованию отложений окислительного характера. Определяют йодное число по ГОСТ 2070-82. Содержание непредельных углеводородов рассчитывают по величине йодного числа и по средней молекулярной массе испытуемого топлива, которая для топлив Т-2, ТС-1 и Т-1 принимается равной 175.

Зольность реактивных топлив характеризует наличие в них неорганических примесей. Ее определяют по ГОСТ 1461-75

Содержание фактических смол определяют по ГОСТ 1567-56 или ГОСТ 8489-58, причем в том и другом методах находят массы остатка от испарения топлива в струе нагретого воздуха или водяного пара на специальных приборах. Спецификой определения содержания фактических смол для реактивных топ-

лив является проведение испытаний при температуре 180°С вместо 150-160°С для бензинов.

Хотя смолы и называют «фактическими», в действительности указанные методы позволяют определять не все смолистые вещества, присутствующие в реактивном топливе, поскольку часть их уносится при испытании потоком газа (воздуха или пара). Кроме того, определяются не только фактически присутствующие в топливе смолистые вещества, но и вновь образующиеся в нем при высоких температурах во время испытания.

Показатель содержания фактических смол (с продувкой воздухом) не имеет такого значения для реактивных топлив как для бензинов, где он отражает в определенной степени поведение топлива в карбюраторе двигателя. Для реактивных топлив этот показатель в основном является косвенной сравнительной характеристикой склонности к отложениям.

Термоокислительная стабильность. Методы определения термоокислительной стабильности реактивных топлив делятся на статические и динамические. Сущность статических методов заключается в окислении образца топлива в изолированном объеме с последующим определением массы образовавшегося осадка, содержания растворимых и нерастворимых смол. В динамических методах в потоке топлива оценивают его склонность при нагревании к образованию смолистых соединений в виде второй фазы, забивающей фильтры и образующей отложения на нагретой поверхности. Динамические методы по сравнению со статическими в большей степени воспроизводят условия пребывания топлива в топливной системе самолетов.

Термоокислительную стабильность в статических условиях определяют по ГОСТ 9144-79 (для топлив Т-2, ТС-1 и Т-1) и по ГОСТ 11802-66 (для всех реактивных топлив).

Испытание по ГОСТ 9144—79 предусматривает определение стабильности топлива к образованию осадков при нагревании его в среде воздуха. Испытания проводят в приборах ЛСА-1 или ЛСА РТ при 150°С в течение 4 ч в присутствии катализатора – пластинки из электролитической меди. На одно определение необходимо 50 мл испытуемого топлива. Термоокислительную стабильность выражают массой образовавшегося осадка (в мг) на 100 см³ топлива. Допускаемые расхождения между параллельными определениями на топливо составляют более 2 на 100 см³ при термической стабильности соответственно до 10 мг.

Испытание по ГОСТ 11802-66 характеризует стабильность топлива к образованию осадков и накапливанию смолистых соединений при нагревании в среде воздуха в течение 5 ч (так же, как и по ГОСТ 9144-79, но при большей продолжительности нагрева). Испытание ведут в приборе ТСРТ-2. В топливе после отделения осадка определяют растворимые смолы (как фактические). Если помимо осадка на дно стакана выпадают нерастворимые в топливе смолы, то их растворяют спиртобензольной смесью (25 мл) и содержание этих смол определяют после испарения растворителя (как фактические смолы). Оценочными

показателями являются масса осадка, а также массы растворимых и нерастворимых смол

Термоокислительную стабильность в динамических условиях определяют тремя различными квалификационными методами на установках ДТС-1М, ДТС-2 и ДТС-2М.

Определение термоокислительной стабильности на установке ДТС-1М регламентировано ГОСТ 17751-79. Метод заключается в оценке склонности топлива к образованию нерастворимых продуктов окисления под действием высоких температур в условиях однократной прокачки через трубчатый подогреватель с оценочной трубкой и с контрольным фильтром. Образующиеся продукты окисления отлагаются на оценочной трубке, изменяя ее цвет, и забивают поры контрольного фильтра, вызывая увеличение перепада давления на указанном фильтре.

Установка ДТС-1М состоит из двух блоков: технологического и электроуправления. Бак установки и соединительные трубопроводы выполнены из нержавеющей стали. Трубчатый подогреватель топлива имеет два нагревающих элемента из нихромовой проволоки; один смонтирован в оценочной трубке, другой на наружной поверхности корпуса подогревателя.

Изменения в составе и качестве топлив в условиях хранения и применения

6.1. Эксплуатационные свойства топлив.

Как было описано в предыдущих разделах эксплуатационные свойства топлив – это свойства, которые проявляются при их использовании непосредственно в топливной системе и двигателе в процессе эксплуатации. К ним относятся испаряемость (оценивается фракционным составом и давлением насыщенных паров), воспламеняемость (оценивается концентрационными и температурными пределами воспламенения и температурами вспышки и самовоспламенения), горючесть (оценивается удельной теплотой сгорания, плотностью топлива, высотой некопящего пламени, люминометрическим числом, содержанием ароматических углеводородов, массой нагара, полнотой сгорания топлива), склонность к образованию отложений (оценивается йодным числом, зольностью, содержанием фактических смол, термической стабильностью), коррозионная активность и совместимость с материалами (оцениваются кислотностью, содержанием общей серы, сероводорода, меркаптановой серы, водорасстворимых кислот и щелочей, коррозионными потерями при контакте с металлами, воздействием на резину и герметики), прокачиваемость (оценивается кинематической вязкостью, температурой начала кристаллизации и застывания, содержанием мыл нафтеновых кислот, содержанием воды и механических примесей), противоизносные свойства (оцениваются вязкостью, смазывающей способностью), стабильность (оценивается физической, химической и биологической стойкостью), безопасность в процессе использования (оценивается токсичностью, пожароопасностью, склонностью к электризации).

Как видно из перечня, эксплуатационные свойства весьма разнообразны. Ниже рассмотрены эксплуатационные свойства топлив, влияющие на работоспособность топливных систем, данные по которым в отечественной литературе ограничены.

Загрязнения в топливах для ГТД

Применяемые в авиации топлива содержат загрязнения, образующиеся в процессе их изготовления, транспортировки, хранения, а так же поступающие в процессе эксплуатации самолетов.

Загрязнениями следует считать всякие твердые, жидкие и газообразные примеси, которые ухудшают нормируемые физико-химические свойства топлива, а также эксплуатационно-технические характеристики элементов самолетных топливных систем.

Загрязненность рабочих жидкостей характеризуются следующими параметрами:

- общей массой загрязнений в единице объема жидкости (мг/л, г/м³);
- относительным массовым содержанием (% от массы топлива);
- относительным объемным содержанием (% от объема топлива);
- гранулометрическим составом частиц загрязнений (частиц/100 мл жидкости по диапазонам дисперсности загрязнений);
- относительным распределением массы дисперсной фазы по размерам частиц;
- максимальным размером частиц (мкм);
- числом волокон, которыми считаются частицы, с соотношением длины к диаметру не менее 10:1 и диаметром не более 30 мкм (частиц/100мл).

Гранулометрический состав загрязнений в рабочих жидкостях, в том числе в авиационных топливах, регламентируется с государственным стандартом ГОСТ 17216-71, которым предусматриваются 19 классов чистоты. В соответствии с ГОСТ 17216-71 классы чистоты авиационных топлив должны указываться в технических требованиях к топливам топливным системам при изготовлении, транспортировке, хранении, заправке и эксплуатации.

Следует отметить, что всеми зарубежными авиакомпаниями и поставщиками авиационных топлив чистота топлив для ГТД в условиях эксплуатации нормируется по массе загрязнений.

Загрязнения топлив для ГТД подразделяются на твердые (механические примеси), аморфные, жидкие, газообразные (рис. 6.1). Наличие одних видов загрязнений способствует образованию других. Вследствие высокой поверхностной активности эмульсионная вода и смолы обладают способностью коагулировать тонкодисперсную фазу в топливе в крупные частицы. Кроме того, вода ухудшает качество топлива и способствует возникновению электрохимической коррозии и развитию микроорганизмов. В свою очередь, продукты коррозии-окислы и гидроксиды – являются активными катализаторами окислительных процессов в топливе и способствуют образованию в нем осадков.

Отрицательное воздействие различных загрязнений на работоспособность элементов топливных систем далеко не одинаково. Более того, некоторые из загрязнений (смолы, некоторые окислы и др.) при определенных условиях могут положительно влиять на работу топливных агрегатов, так как улучшают противоизносные свойства топлив.

Степень влияния загрязнений на работоспособность элементов топливных систем зависит в первую очередь от свойств и количественного состава загрязнений. Среди множества загрязняющих веществ, насчитывающих более ста наименований, как наиболее опасные и часто встречающиеся следует выделить:

металлы (сталь, алюминий, медь, хром, титан, кобальт, молибден);

окислы металлов (окись алюминия, окись железа, окись хрома, окись магния);

неметаллы (сера, двуокись кремния, вода, кислород).

Атмосферная пыль, относящаяся к твердым загрязнениям, состоит из частиц разного размера и имеет различный состав. Основными компонентами пыли являются окислы кремния (кварц). Содержание кварца в пыли составляет 65...98%. В пыли содержатся в небольших количествах окислы железа и алюминия. Остальные составляющие пыли представляет с собой смесь органических веществ с неорганическими. Частицы пыли имеют высокую твердость, и их присутствие в топливе вызывает интенсивные износ трущихся пар агрегатов. Содержание частиц пыли в топливе зависит от запыленности воздуха и условий эксплуатации ЛА.

Топливо в процессе эксплуатации в значительной степени загрязняется продуктами коррозии средств хранения, транспортировки, перекачки и заправки. Определение элементного состава загрязнения топлива, взятого из резервуаров на складах ГСМ аэропортов различных климатических зон, свидетельствует о том что их зольную часть в основном составляют продукты коррозии железа (до 50%), а также элементы, попадающие в топливо из окружающей среды – кремний и алюминий.

Таким образом, твердые загрязнения обладают повышенной твердостью, плотностью и дисперсностью. По мере увеличения плотности частицы большого размера выпадают в осадок, а мелкодисперсные со временем коагулируют, объединяясь с загрязнениями различных видов.

Аморфные загрязнения представляют сложную смесь высокомолекулярных продуктов окислительного уплотнения сернистых, азотистых и кислородных соединений топлив для ГТД. Содержание этих загрязнений увеличивается с развитием окислительных процессов, т.е. с повышением температуры и увеличением продолжительности пребывания топлива в контакте с кислородом воздуха. В результате этого создается система топливоаморфных загрязнений, которая находится в подвижном равновесии.

Вода является одним из наиболее активных веществ, способствующих коагуляции твердых частиц загрязнений и образованию агрегатов, включающих смолистые вещества- частицы неорганического происхождения. Укрупнение частиц и их накопление происходит на границе раздела фаз: топливо-вода. Про-

межуточный слой представляет с собой зону взаимодействия частиц различных видов. При перемешивании топлива, обусловленном в эксплуатационных условиях конвекцией, движением масс топлива при эволюциях самолета, заправкой и прокачкой топлива, вибрациями крыла и др., хаотическое движение струй топлива способствует сближению частиц твердых загрязнений и микрокапель воды, а силы взаимного притяжения заставляют их соприкасаться. Проникновению частиц внутрь капли воды препятствует поверхностное натяжение, создающее как бы реакцию на площадке контакта частицы с каплей, уравнивающую силу взаимного притяжения и гидродинамические силы. Кроме того, на поверхности капель и частиц адсорбируются поверхностно-активные вещества, содержащиеся в топливе.

В связи с этим на площадке контакта частицы с каплей возникают силы сцепления, способствующие образованию многофазных комплексов загрязнений. Поверхностные силы сцепления и сила взаимного притяжения препятствуют разрушению таких агрегатов под действием гидродинамических сил. Таким образом, в условиях эксплуатации в топливах происходит укрупнение частиц загрязнений, их оседание и накопление в ёмкостях.

По мере увеличения относительной молекулярной массы загрязнения все труднее растворяются в топливе, укрупняются и выпадают из углеводородного раствора в виде полутвердой фазы. Эти загрязнения ухудшают качество и термоокислительную стабильность топлив, засоряют топливные фильтры, вызывают нагарообразование в камере сгорания, осмоление внутренних поверхностей ТМР и т.д.

Основным загрязнителем является вода.

Главной причиной обводненности углеводородных топлив является их обратимая гигроскопичность.

Это свойство при изменении внешних условий (температуры, давления, влажности, окружающей среды) вызывает фазовые переходы воды в топливе. В связи с этим вода в топливе может раствориться в растворенном, эмульсионном состоянии или в виде отстоя.

Газообразными загрязнениями авиационных топлив является воздух, кислород и сероводород. Сероводород является агрессивным веществом, способствующим образованию продуктов коррозии, кислород – активный окислитель, вызывающий образование других загрязнений (смола, окислов и т.п.).

В условиях эксплуатации авиатехники загрязнения в топливах связаны между собой в комплексы, включающие механические примеси, влагу, окислы и т.д.

Стандартами и техническими требованиями на авиационные топлива предусматриваются нормирование показателей по содержанию загрязнений.

Исследования показывают, что современный уровень фильтрации в нашей стране обеспечивает чистоту топлива, соответствующую современным требованиям.

Международная ассоциация авиационного транспорта рекомендует в качестве норм предельно допустимой концентрации механических примесей и

воды в авиационных топливах 0,00012% и 0,003% от массы топлива т.е 1,2 г/т и 30 г/т соответственно.

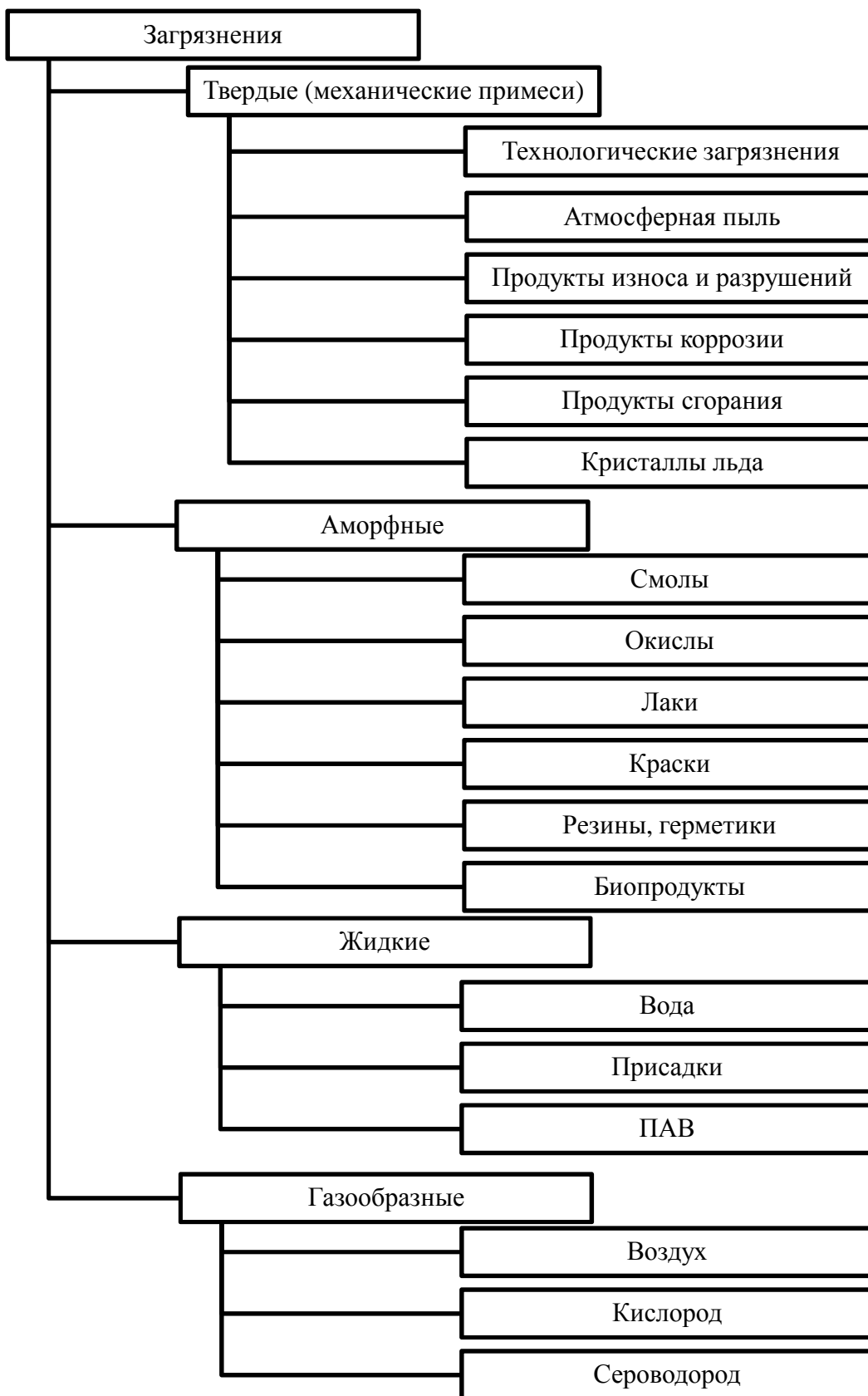


Рис.6.1 Классификация загрязнений топлив.

Анализ данных по фактической загрязненности заправляемых топлив показывает, что концентрация механических примесей ниже предельно нормируемой. Чаще всего концентрация механических примесей в топливе составляет 0,5.....1,0 г/т.

6.3. Эксплуатационные свойства топлив, которые проявляются в топливных системах ЛА и топливной аппаратуре ГТД.

Внешнее загрязнение топлива. Работоспособность и надежность системы топливопитания существенно зависят от качества топлива. Наибольшее число отказов и неисправностей топливных агрегатов ЛА и ГТД, относящихся к качеству топлива, обусловлено не его природой, а внешними загрязнениями, по отношению к топливу. Вредное воздействие на топливную аппаратуру оказывают не только те загрязнения, которые видимы невооруженным глазом, но и невидимые микрозагрязнения. При отсутствии взвешенных или осевших частиц размером больше 25—30 мкм (предел разрешающей способности глаза при ярком боковом освещении) 1 л топлива содержит тысячи — десятки тысяч невидимых частиц размером 20 ± 5 мкм, сотни тысяч частиц размером 10 ± 5 мкм, много миллионов еще меньших частиц порядка 1—5 мкм.

Состав частиц, их форма, твердость, адгезия на поверхности различных материалов весьма разнообразны. Происхождение частиц трудно установить: часть их попадает из перерабатываемой нефти, какая-то доля представляет собой технологические загрязнения из заводского, складского, транспортного, заправочного оборудования, атмосферную пыль почвенного и промышленного происхождения, являются продуктами коррозии или износа насосов, разрушения неметаллических материалов (прокладок, рукавов, фильтров), образуются вследствие коагуляции смол и других нестабильных веществ, образующихся из самого топлива, результатом жизнедеятельности микроорганизмов.

Для прецизионных элементов топливной аппаратуры с зазорами порядка 5—10 мкм наиболее опасны частицы такого же размера. При попадании в зазоры они препятствуют нормальной работе топливорегулирующих устройств, могут заклинить их. Более мелкие частицы вызывают износ трущихся пар, более крупные засоряют каналы форсунок, липкие частицы образуют отложения в дроссельных пакетах и других дозирующих устройствах. Фильтры внутри топливной системы, предназначенные для защиты от вредного воздействия микрозагрязнений, забиваются при большом количестве частиц преимущественно того масштаба, который имеют поры фильтровального материала. Поэтому система наземной очистки топлива (рис. 6.1) должна предусматривать удаление основной массы таких и более крупных частиц (как правило, не препятствующих прокачке топлива).

Вопрос о допустимом количестве микрозагрязнений достаточно сложен и противоречив. Официальных норм на него в отечественной практике не устанавливалось. Обычно указываемый желательный предел содержания микрозагрязнений не более 2 г/т (то есть 0,0002 %), с одной стороны, достигается с большим трудом путем многократной фильтрации в сочетании с другими мера-

ми. С другой стороны, он влечет введение примерно 1 кг загрязнений за 100 ч полета на фильтр и в топливные агрегаты ЛА (по расчету). При этом не учитывается вероятность забивки этими загрязнениями фильтров, зависящая от преваляющего размера частиц и наличия ПАВ в топливе, тормозящего его прокачку. Интересным решением проблемы может быть применение присадок, коагулирующих микрзагрязнения в крупные частицы, легче поддающиеся фильтрации.

6.4. Кристаллы льда, образующиеся в топливной системе.

В зимний период при температуре топлива ниже 0 °С (а при длительных высотных полетах и летом) в нем могут появляться кристаллы льда. Они забивают топливный фильтр двигателя перед насосом и резко снижают его пропускную способность, что приводит к отказу двигателя. Появление кристаллов льда в топливе может быть вызвано как образованием их в самой топливной системе ЛА, так и заправкой ее топливом, уже содержащим кристаллы льда. Разумеется, последнее совершенно недопустимо.

В топливе растворено небольшое количество воды; ее растворимость уменьшается с понижением температуры топлива (рис.6.3) и внешнего давления. Количественную характеристику, описывающую изменение растворимости воды в топливе при изменении температуры, формулирует уравнение Генри:

$$g_{H_2O} = g_0 \Psi_0 \frac{p}{p_0} \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

Где: g_0 - растворимость воды в авиатопливе при $P_0=760$ мм рт.ст.; $T_0=293K$; $\Psi_0=1,0$

С помощью этого уравнения можно оценить скорость оттаивания воды в резервуарах с топливом при разных температурах окружающей среды и значениях атмосферного давления.

При охлаждении топлива, например, в холодную погоду при заполнении наземных емкостей теплым топливом из подземных резервуаров или летом в дозвуковом полете на большой высоте избыток воды выделяется в виде мелких капелек, которые при отрицательной температуре замерзают. При этом мельчайшие капельки воды переходят из метастабильного жидкого состояния в кристаллическое только при контакте с твердой поверхностью, прежде всего на топливном фильтре перед насосом.

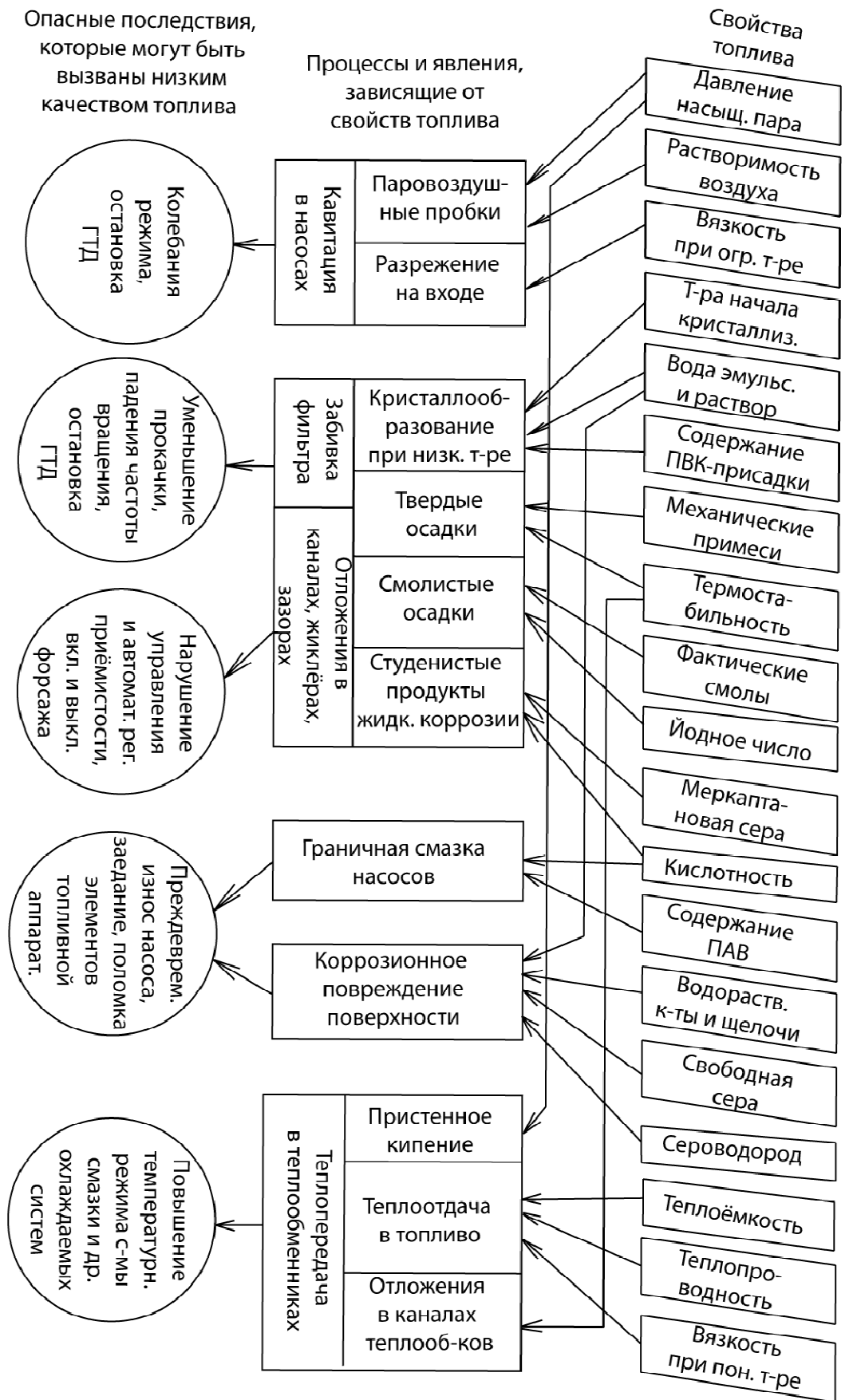


Рис.6.2. Влияние свойств реактивного топлива на работоспособность и надежность системы топливопитания.

Из данных, приведенных на рис.6.1, видны различные фазовые состояния воды в топливе: растворенная (в соответствии с расчетами по уравнению Генри); эмульсионная; пар; конденсат; иней; лед; свободная вода (отстой).

6.5 Осадкообразование и термостабильность топлива.

Основной проблемой, возникающей в результате нагрева топлива в полете, связанного как со сверхзвуковыми скоростями полета, так и с воздействием высоких температур на топливо со стороны горячих элементов силовой установки (например, находящегося в топливном коллекторе после выключения двигателя), является осадкообразование, наиболее интенсивное в пределах температуры 130—200°C (рис. 6.4). Стойкость топлива к осадкообразованию при высоких температурах называется термической стабильностью. Термостабильность ухудшается при увеличении содержания непредельных углеводородов и гетероорганических примесей: твердые, нерастворимые в топливе осадки являются

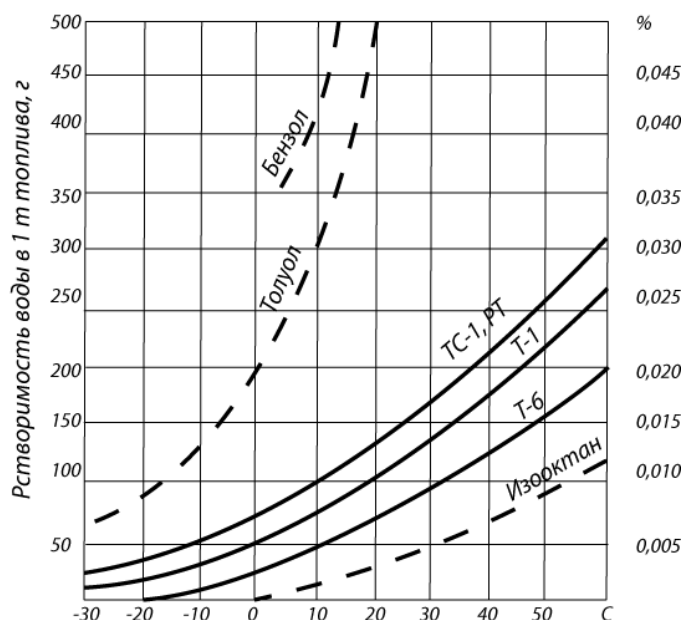


Рис 6.3. Растворимость воды в одной тонне топлива при различной температуре (при влажности воздуха 100 %).

конечными продуктами их окисления, полимеризации и химической конденсации. При использовании недостаточно термостабильных топлив (например, сортов Т-1 и ТС-1) на горячих поверхностях (особенно бронзовых), соприкасающихся с жидким топливом, образуются твердые нагароподобные отложения, а в массе топлива — взвесь мельчайших твердых частиц, которые забивают фильтры, попадают в каналы и зазоры топливной аппаратуры. В дренажных отверстиях осадки иногда откладываются в виде рыхлой массы.

Для предотвращения осадкообразования производится гидроочистка топлива от источников нестабильности, например при выработке термостабильных сортов РТ, Т-8В. Однако глубокая очистка топлива может вызывать

ухудшение его термостабильности вследствие удаления естественных антиокислителей (дисульфидов, фенолов и др.), что приводит к необходимости введения *антиокислительной присадки*, например ионола (он полезен также для защиты резины от разрушения при контакте с топливом).

Другим способом повышения термостабильности топлив может быть применение специальных присадок, препятствующих осадкообразованию. Термостабильность топлив может быть повышена также путем их обезвоживания, обескислороживания и насыщения азотом перед заправкой.

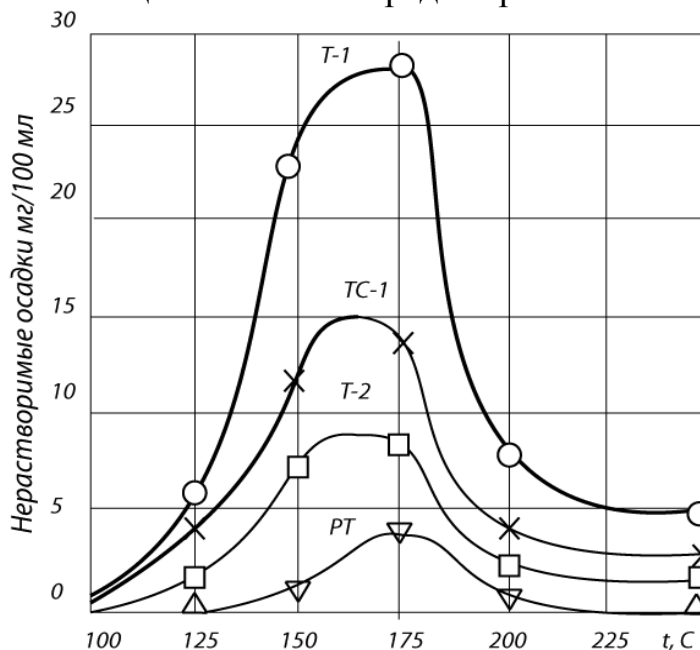


Рис. 6.4. Влияние температуры на термостабильность некоторых топлив

6.6 Фрикционный износ топливных насосов.

Смазочные свойства топлив определяются в основном его поверхностной активностью: способностью топлива или каких-либо содержащихся в нем веществ адсорбироваться на поверхности металла. Тем самым предотвращается оголение и сухое трение деталей топливного насоса на участках высокого контактного давления, выжимающего жидкость из зазора.

Твердым телам свойственно высокое поверхностное натяжение, и на их поверхности, находящейся в контакте с многокомпонентной жидкостью, адсорбируются те вещества, которые его понижают. Физический механизм адсорбции на твердой поверхности состоит в электростатическом взаимодействии полярных молекул, имеющих разнесенный электрический заряд, а иногда и ионов жидкости с электрическим полем частиц, образующих твердую поверхность, например, положительно заряженных ионов металла.

Углеводороды топлива неполярны и практически не защищают трущиеся детали топливных насосов от фрикционного износа. Из веществ, которые естественно могут содержаться в реактивном топливе, поверхностно-активными являются смолы, органические кислоты и другие кислородсодержащие соединения, а также сероорганические и азоторганические соединения,

то есть вещества, присутствие которых вредно с точки зрения термической стабильности и коррозионных свойств топлива. Глубокая очистка топлива от этих веществ резко усиливает износ. Так, гидроочищенное топливо РТ без присадки вызывает в несколько раз больший износ, чем топливо сорта ТС-1, которое вырабатывается из того же сырья.

Оптимальным является содержание присадок гетероорганических соединений в топливе, которое достаточно для обеспечения смазки насосов и не опасно с точки зрения осадкообразования и коррозии.

Некоторое влияние на износ оказывает также вязкость топлива. В состав менее вязких топлив входят вещества с меньшей молярной массой, молекулы которых имеют меньшие размеры и, следовательно, меньший дипольный момент. Поэтому при одинаковой степени очистки и отсутствии противоизносных присадок меньше прочность образуемой ими граничной пленки. Кроме того, с уменьшением размера молекул повышается средняя скорость их хаотического теплового движения, способствующего разрушению (десорбции) граничной пленки.

Существенное улучшение смазочных свойств реактивных топлив достигается путем введения нескольких тысячных или сотых долей процента поверхностно-активной присадки, молекулы которой обладают большим дипольным моментом. Введение 0,003 % присадки нафтеновых кислот в гидроочищенное топливо РТ компенсирует ухудшение противоизносных свойств, вызванное его «переочисткой».

6.7 Коррозионные свойства топлива.

Опасное для регулирующих узлов топливной аппаратуры загрязнение студенистыми продуктами коррозии происходит в тех случаях, когда топливо содержит недопустимое количество меркаптановой серы или органических кислот, что может быть следствием нарушений технологии производства и упущений в контроле качества топлива. Другие органические соединения, содержащие серу или кислород, не проявляют коррозионной активности в жидкой фазе.

При существующей системе производства и контроля качества реактивного топлива в нем практически исключается примесь особо агрессивных веществ, способных испортить поверхность трущихся элементов топливной аппаратуры — свободной серы, сероводорода, водорастворимых кислот или щелочей. Однако некоторые из таких веществ могут образоваться уже внутри топливной системы летательного аппарата в результате жизнедеятельности микроорганизмов. *Микробиологическая коррозия* может иметь место в условиях значительной влажности и относительно высокой температуры топлива (30—35 °С), наиболее благоприятных для развития бактерий и спор плесневых грибов, которые практически всегда находятся в нефтепродуктах. Их интенсивное размножение происходит на поверхности контакта топлива с водой, на влажных стенках топливных емкостей самолета, отстойника, дренажа. В процессе биологического обмена веществ они выделяют кислые органические вещества и, воз-

можно, сероводород и серную кислоту, которые могут вызвать серьезные повреждения, особенно при длительном воздействии внутри застойных участков топливной системы (вплоть до появления течи кессонных баков). Кроме того, желеобразная бактериальная масса может вызвать загрязнение автоматики, забивку фильтров.

Основными мерами борьбы с микробиологической коррозией являются регулярный слив и контроль отстоя, тщательная промывка систем (особенно в условиях тропического климата), а также применение *биоцидных* присадок к топливу. Известно, что био-цидное действие оказывает жидкость «И» при содержании ее в водном отстое более 20%.

7. Эксплуатационные свойства топлив, которые проявляются при сжигании в ГТД

7.1. Огневое воздействие.

Топливо при сжигании в ГТД оказывает три вида воздействия на камеру сгорания, узлы и детали газового тракта: огневое (нагрев), загрязняющее (нагар) и химическое (газовая коррозия). Хотя они в какой-то мере взаимосвязаны, но различаются по физико-химическому механизму и последствиям. Свойства топлив, влияющие на эти воздействия, связанные с ними процессы и опасные явления, которые возможны при низком качестве топлив или неисправностях техники, перечислены на рис. 7.1.

В современных ГТД с высокими параметрами рабочего процесса наиболее серьезные проблемы обусловлены огневым воздействием. Оно заключается в интенсивном лучистом переносе энергии от пламени к стенкам камеры сгорания (рис. 7.2) и в меньшей мере к поверхности других частей газового тракта. При неблагоприятных условиях излучение пламени может быть причиной перегрева, коробления, появления трещин и прогаров, термической усталости с внезапным разрушением камеры сгорания.

Главным источником огневого воздействия является образующийся при диффузионном горении, а затем быстро газифицируемый в пламени дисперсный углерод (сажа), нагретый до температуры горения.

Роль конвективной теплоотдачи продуктов горения при наличии заградительного слоя воздуха у стенок невелика и мало зависит от свойств топлив. Поскольку для обеспечения устойчивой работы современных ГТД необходимо хотя бы часть топлива сжигать по диффузионному механизму, так как только при диффузионном горении самопроизвольно создаются стехиометрические зоны $\alpha = 1$, избавиться от сажи — обязательного спутника диффузионного горения — нереально.

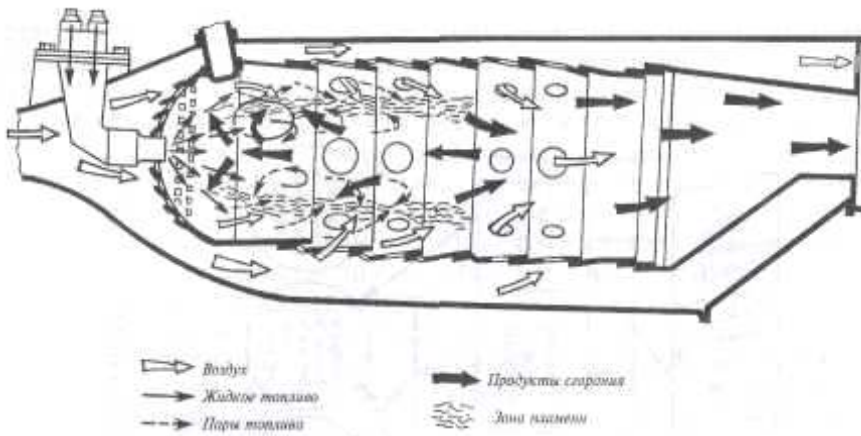


Рис. 3.12. Организация рабочего процесса в камере сгорания ГТД

Рис 7.1 Организация рабочего процесса в камере сгорания

ГТД

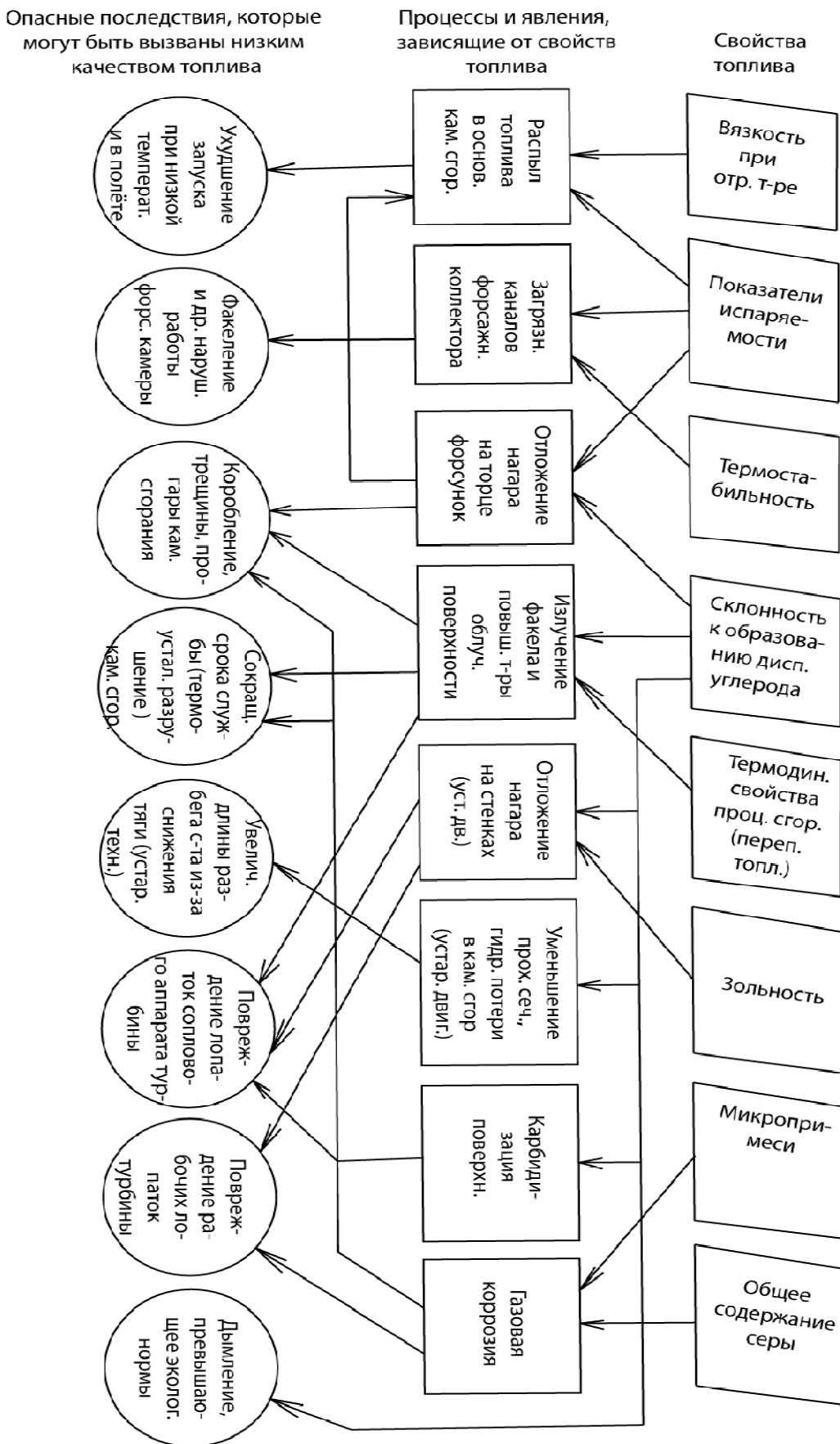


Рис. 7.2 Влияние свойств реактивных топлив на работоспособность и надежность камеры сгорания, турбины и других частей газового тракта.

Для оценки и регламентации качества топлива по принципу сажеобразования в диффузионном пламени как исходного процесса формирования и вредного воздействия дисперсного углерода в реальных условиях эксплуатации физически обоснованным и достаточно достоверным показателем является определяемый на лабораторной горелке индекс черноты диффузионного пламени (ИЧДП), который пропорционален степени черноты и концентрации сажи. Для большинства современных ГТД допустим ИЧДП топлива не более 70, что может соответствовать содержанию ароматических углеводородов в одних топливах 5—7 %, а в других 30 % и более.

Используемый за рубежом, а также в некоторых отечественных стандартах показатель излучения пламени люминометрическое число не имеет четкой физической интерпретации (за исключением той, что меньшее ЛЧ соответствует большему излучению пламени и соответственно худшему качеству топлива).

Обычно исключительную роль в образовании сажи, дыма, возникновении интенсивного излучения факела приписывают ароматическим углеводородам, поскольку добавление их к любому реальному углеводородному топливу, состоящему преимущественно из парафинов и нафтенных, всегда увеличивает образование твердых углеродистых продуктов горения. Между тем анализ результатов испытаний всей совокупности реальных реактивных топлив приводит к парадоксу: имеет место обратная корреляция. Это объясняется тем, что действительный вклад ароматических углеводородов равен их ограниченной массовой доле, умноженной на степень черноты, равную единице, а углеводородов двух других групп — произведениям соответствующих значительно больших массовых долей на их меньшую степень черноты, вследствие чего вклад ароматических углеводородов в образование дисперсного углерода на фоне вклада других углеводородов не является решающим.

Ограничение содержания ароматических углеводородов в топливе не всегда позволяет снизить вредное для камер сгорания тепловое излучение факела. По мере повышения давления в газовом тракте двигателя, которое характерно для самолетов с большими сверхзвуковыми скоростями, сажеобразование усиливается и интенсивность излучения пламени любых реактивных топлив приближается к значениям, свойственным абсолютно черному телу. Одним из путей ее уменьшения является лучший подбор состава парафино-нафтенной части топлива, а также конструктивные мероприятия, обеспечивающие устойчивое кинетическое горение в ГТД.

7.2. Загрязняющее воздействие продуктов сгорания.

Отложение на стенках и деталях камер сгорания твердого, но относительно рыхлого углеродистого нагара происходит, по-видимому, в результате осаждения сажи, образующейся в зоне пламени. Более плотный нагар является продуктом термического разложения и окислительной конденсации углеводородов, попавших на горячую поверхность в составе капель жидкого топлива. Нагарообразованию способствует такая организация рабочего процесса в камере сго-

рания, при которой топливовоздушная смесь в передней части камеры переобогащена, а горящее жидкое топливо может забрасываться вихрями на стенки и детали камеры. Разложение и обугливание подтекающего топлива или конденсация сажи на торце форсунки приводят к образованию нагара у сопла форсунки, ухудшению распыла и искажению его конуса, что, в свою очередь, способствует попаданию жидкого топлива на стенки.

Наиболее склонны к нагарообразованию ароматические углеводороды, особенно бициклические. Нагарообразование усиливается при утяжелении фракционного состава топлива. При сочетании неблагоприятного состава топлива с недостатками рабочего процесса камер сгорания толщина нагара может достигнуть 20—30 мм и вызвать серьезные нарушения режима и эффективности работы двигателя, вплоть до недопустимого увеличения длины разбега самолета. Низкая теплопроводность нагара приводит к неравномерному нагреву камер сгорания, следствием которого могут быть коробление, трещины и прогар. Частицы нагара, отрывающиеся от стенок жаровой трубы, ударяются о лопатки турбины и вызывают их преждевременный износ (эрозию) или даже поломку.

Изучается возможность снижения нагарообразования не только посредством нормирования конца кипения и содержания ароматических углеводородов, но и с помощью присадок. Однако эффективно снижающие количество нагара металлорганические присадки резко усиливают теплоизолирующие свойства нагара, что вредно сказывается на надежности камер сгорания.

7.3. Газовая коррозия.

Продукты сгорания углеводородов не вызывают коррозии в газовом тракте. Жаростойкие материалы, контактирующие с продуктами сгорания, не поддаются окислению содержащимся в них газообразным кислородом до максимальных рабочих температур. Коррозионной активностью в отношении этих материалов при определенных условиях обладают продукты сгорания имеющихся в топливе примесей серы, ванадия и, возможно, молибдена и некоторых других металлов.

Длительное коррозионное действие сернистого газа SO_2 , образующегося при сгорании всех соединений серы, может вызвать прогар лопаток турбины, если их температура превышает 900—950 °С. Качество топлива в этом отношении характеризуется общим содержанием серы, достигающим в некоторых отечественных сортах (ТС-1, Т-2) 0,25 %, а в зарубежных — 0,4 %. Практически оно соответствует содержанию серы в виде неактивных соединений (сульфидов, тиофена), поскольку сера в активной форме (в составе меркаптанов, сероводорода, в свободном состоянии) допускается в количестве на 2—3 порядка меньшем во избежание коррозии топливной аппаратуры.

Микропримесь ванадия входит в состав главным образом высокомолекулярных азотсодержащих соединений, которые концентрируются в высококипящих фракциях нефти и в значительной мере удаляются при очистке нефтепродуктов. Однако остающееся ничтожно малое количество ванадия (0,00001—

0,0001 %), по-видимому, играет роль катализатора газовой коррозии и может быть непосредственной причиной коррозии и прогара жаростойких материалов. Образующийся после сгорания V_2O_5 (температура плавления $685\text{ }^\circ\text{C}$) в жидком виде осаждается в газовом тракте и вследствие переменной валентности ванадия отщепляет атомарный кислород: $V_2O_5 \rightarrow V_2O_4 + O$, который идет на окисление железа или никеля. При контакте с избытком кислорода в газовом тракте V_2O_4 снова регенерируется в V_2O_5 , опять распадается и т. д. Незначительное содержание в продуктах сгорания топлива сульфата натрия Na_2SO_4 или оксида натрия Na_2O усиливает ванадиевую коррозию в десятки раз. Защиту камер сгорания от коррозии этого вида обеспечивают жаростойкими эмалями на основе оксидов хрома, но ее предотвращение в конечном счете достигается отбраковкой топлив при испытаниях.

8. Свойства топлив, которые проявляются при их хранении и обслуживании полетов.

8.1 Условия хранения топлив.

Условия хранения на складах ГСМ, в особенности длительного хранения, влияют на стабильность и коррозионные свойства топлива. Окислительные процессы, приводящие к смолообразованию и ухудшению термической стабильности, повышению кислотности, замедляются, если топлива хранятся при низкой температуре в заглубленных резервуарах, защищенных от прямого нагрева солнечными лучами. В целях уменьшения контакта свободной поверхности топлива с воздухом и суточного дыхания резервуара (обмена воздуха через дыхательные клапаны при суточном изменении температуры) его следует держать заполненным. Это относится и к хранению в топливной системе ЛА: в полных баках топливо окисляется медленнее.

Относительная площадь контакта топлива со стенками, которые играют роль катализатора окисления, зависит от размера емкости. Чем емкость крупнее, тем меньше вредный контакт каждого кубического метра топлива с металлом и дольше сохраняется нормальное качество топлива. Поэтому при закладке топлива на длительное хранение лучше использовать одну крупную емкость, чем несколько мелких.

По истечении установленного срока хранения топливо расходуют, а на хранение закладывают свежее. Сроки освежения для каждого вида ГСМ установлены в соответствии с их стабильностью и условиями хранения. Реактивные топлива в резервуарах и таре хранятся, как правило, в северной и средней климатических зонах до 5 лет (в стальных емкостях — до 10 лет), в южной — 4 года, а в баках самолетов — 2 года. Плановый срок хранения сокращают, если склонные к изменению показатели качества ГСМ досрочно достигли предельно допустимых значений.

Предотвращение образования кристаллов льда. Появление кристаллов льда в топливе связано с их гигроскопичностью, т.е. его способностью поглощать влагу из воздуха при повышении температуры, влажности и давления

окружающей среды (см. раздел 7.2). При заполнении резервуара, цистерны или топливного бака самолета в топливо может попасть осевший на их стенках иней. Кроме того, иней, образовавшийся на стенках емкости выше уровня топлива, сползает в топливо при нагреве емкости солнечными лучами.

Из воздуха, проникающего в емкость через дыхательные клапаны или дренаж, на поверхности холодного топлива могут конденсироваться водяные пары; это происходит при наступлении теплой погоды. Конденсация продолжается в течение одних-двух суток, пока температура топлива не повысится. Образующиеся при этом мелкие кристаллики льда (типа снежинок) медленно оседают в топливо, оставаясь в нем длительное время во взвешенном состоянии (их плотность почти равна плотности холодного топлива).

Выделению кристаллов льда способствуют резкие колебания температуры топлива и воздуха.

Зимой перед заправкой топлива в баки, а также при длительном нахождении его в баках самолетов необходимо тщательно проверить, не появились ли в нем кристаллы льда. Наличие кристаллов льда в баках самолета обнаруживается при предполетной подготовке и перед вылетом путем слива и осмотра остатка топлива, а на некоторых типах самолетов — при осмотре топливного фильтра после опробования двигателя.

8.2.1 Применение противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ).

Эффективным средством против образования кристаллов льда являются противоводокристаллизационные жидкости. На воздушных судах гражданской авиации России используется жидкость «И-М», состоящая из 50% этилцеллозольва и 50% метанола (по объему) в концентрации 0,1-0,15%, т.е. на 1 м³ топлива добавляется 1,0-1,5 л ПВКЖ «И-М», что повышает растворимость воды в топливе, а при снижении температуры топлива происходит выделение растворенной воды вместе с ПВКЖ «И-М» в процентном соотношении примерно 50% воды на 50% ПВКЖ. При этом образуется «антифриз», не замерзающий до температур $\leq -50^{\circ}\text{C}$. Ввод ПВКЖ «И-М» в топливо применяется только на старых типах самолетов (ИЛ-18, АН-24, ЯК-40, ТУ-154 А,Б,М, ИЛ-62, ИЛ-76) не оборудованных системами подогрева топливных фильтров воздухом, отбираемым из промежуточных ступеней компрессора. Все современные самолеты имеют такие системы подогрева (ТУ-204, ИЛ-86, ИЛ-96 и др.). Тетрагидрофурфуриловый спирт (ТГФ), использовавшийся ранее в качестве ПВКЖ менее стабилен и на практике неоднократно способствовал загрязнению фильтров нерастворимыми осадками. Поэтому использование его в последние годы ограничено, а в ГА РФ исключено.

На большинстве типов ЛА топливо с добавкой ПВКЖ применяется только в зимнее время. Добавление ПВКЖ в топливо зависит от температуры воздуха в аэропорту вылета и длительности предстоящего рейса: 0,1 % при температуре от 0 до -20°C и длительности рейса более 3 часов. На транспорт-

ных и некоторых других типах самолетов, где возможно охлаждение топлива в длительном полете, ПВКЖ используют также и летом (в количестве 0,1 %).

Обводненную ПВКЖ применять нельзя, она может внести в топливо избыточную влагу и вызвать образование кристаллов. Жидкость ПВКЖ «И-М» ядовита: пары ее вызывают головную боль, а попадание в пищеварительный тракт — сильное отравление.

Введение ПВКЖ в топливо производится на складах ГСМ, например, при наливе цистерны топливозаправщика с помощью специальных дозаторов.

8.3. Электризация топлива.

Во время наполнения резервуаров, цистерн топливозаправщиков и топливных баков ЛА происходит электризация топлива вследствие образования двойного электрического слоя при контакте с материалом фильтров и шлангов, а затем сноса в емкость диффузных зарядов одного знака. Их носителями являются ионы, образующиеся при диссоциации примесей (например, воды, органических кислот). Напряженность электрического поля на поверхности топлива в баках может достигнуть нескольких тысяч вольт и вызвать мощный искровой разряд. Это происходит в результате накопления статического электричества из-за низкой электропроводимости топлива и обусловленного этим значительного времени релаксации заряда — взаимной нейтрализации зарядов топлива и стенки. Если температура топлива при наливке резервуаров, при подаче в цистерны или заправке самолетов и вертолетов выше взрывоопасного предела, то искровой разряд статического электричества может вызвать пожар.

Проблема электризации топлива усугубилась с повышением тонкости фильтрации, увеличением скорости налива и в результате мер по повышению термостабильности топлив. Топливо, очищенное от полярных гетероорганических соединений, имеет низкую электропроводимость, а некоторые из присадок, вводимые в топливо для улучшения его термостабильности и смазочных свойств, усиливают его электризацию.

В качестве меры против накопления статического электричества, его разряда и обусловленной этим пожарной опасности следует по возможности уменьшать скорость налива топлива. Кроме обычного заземления самолета и топливозаправщика нужно соединять проводником заправочный пистолет или ННЗ с горловиной бака, но заземление и металлизация не обеспечивают полной нейтрализации топлива, хотя и сокращают время релаксации. Применяются также специальные устройства, нейтрализующие электростатические заряды непосредственно в процессе перекачки топлива в топливозаправщик. Наибольшее применение получил игольчатый нейтрализатор статического электричества в топливах (ИНСЭТ). Он устанавливается непосредственно после фильтра тонкой очистки, где генерируется основной заряд статического электричества. ИНСЭТ снимает до 95% заряда, образовавшегося на фильтре. Повысить электропроводимость топлива и ускорить релаксацию его зарядов можно путем введения в топливо *антистатической присадки сигбол*, содержащей органические соли хрома (за рубежом применяется присадка ASA-3). Однако существенное

повышение электропроводимости топлива вызывает искажение показаний топливомеров с индукционными датчиками, что может дезориентировать экипаж; поэтому топливо с антистатической присадкой контролируют не только по нижнему пределу электропроводимости (не менее 50 пСм/м при температуре заправки), но и по верхнему пределу электропроводимости (не более 600 пСм/м при 20 °С).

При искровом разряде статического электричества и воздействии внешних источников воспламенения (неосторожного обращения с огнем, искровых разрядов и при разрушении электропроводки) топливо загорается только при температуре, превышающей температуру вспышки, когда над ним образуется достаточно богатая для воспламенения смесь паров топлива с воздухом. Так, пары над топливом Т-6 взрывоопасны, если температура топлива не ниже 60—65 °С, РТ и ТС-1 — не ниже 15—25 °С. Пары топлива Т-2, содержащего бензин, загораются начиная с температуры —10—20 °С. При более низкой температуре воспламенения от искры или кратковременно поднесенного пламени не происходит.

Теоретически существует также верхний температурный предел воспламенения (около 100 °С для Т-6, 55—65 °С для РТ и ТС-1, 40—45 °С для Т-2), при котором над топливом образуется чрезмерно богатая смесь, не способная загореться; причем нижний и верхний пределы воспламенения сближаются при понижении давления в баках с увеличением высоты полета. Однако сохраняется вероятность воспламенения топлива при температуре выше теоретического верхнего предела из-за выделения в атмосферу над топливом растворенного кислорода при наборе высоты.

Ассортимент реактивных топлив.

Факторы, определяющие ассортимент топлив. Ассортимент вырабатываемых реактивных топлив определяется следующими четырьмя факторами: сырье (С), технология производства топлив (Т), конструкция летательных аппаратов и условия их применения. Последние два фактора связаны с требованиями к прокачиваемости (П), испаряемости (И) и горючести (Г) топлив. Важнейшими характеристиками этих свойств соответственно являются температура начала кристаллизации, пределы выкипания и содержание ароматических углеводородов.

Каждый из факторов, определяющих ассортимент реактивных топлив, с учетом качественных или количественных показателей может быть рассмотрен на 5 уровнях (рангах), как это показано в табл. 9.1. Факторы распределены таким образом, что по мере перехода от меньших к большим рангам уменьшаются ресурсы топлива, усложняется технология и увеличиваются затраты на производство топлива, но в то же время повышается уровень его качества.

В отечественной практике образцы топлив с температурой начала кристаллизации выше —50°С и с содержанием ароматических углеводородов более 22% в промышленных масштабах не вырабатываются, так как такое топливо на современной технике может найти только ограниченное применение, а выход

дефицитного дизельного топлива при этом уменьшится. Сочетание рангов сырья, технологии и показателей качества для различных марок реактивных топлив и конкретных условий может быть различным. Так, для получения топлива РТ используют смеси любых нефтей, дистилляты которых подвергают гидроочистке. Топливо имеет температуру начала кристаллизации не выше $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, выкипает в пределах $135\text{—}280\text{ }^{\circ}\text{C}$ и содержит не более 22% ароматических углеводородов.

Таблица 9.1.

Факторы, определяющие ассортимент и качество реактивных топлив.

Наименование	Ранг состояния				
	1	2	3	4	5
Сырье	Смесь любых нефтей	Смесь малосернистых нефтей	Вакуумный дистиллят любых нефтей	Газойль каталитического крекинга	Керосиногазойлевые фракции отборных нефтей
Технология производства	Прямая перегонка	Демеркаптаннизация фракции прямой перегонки	Гидроочистка фракций прямой перегонки	Гидрокрекинг вакуумного дистиллята	Глубокое гидроочистка керосиногазойлевой фракции
Темпер. начала кристаллизации, $^{\circ}\text{C}$	-40	-45	-50	-55	-60
Пред. выкипания, $^{\circ}\text{C}$	$60\text{—}280$	$135\text{—}250$	$135\text{—}280$	$165\text{—}280$	$195\text{—}315$
аромат. у-в, %	25	22	20	12	10

9.1 Качество топлив

9.1.1 Прямогонные реактивные топлива.

Топлива Т-1, ТС-1 и Т-2 получают прямой перегонкой нефти. Выделенные дистилляты при необходимости подвергают щелочной очистке и промывке водой, затем отстаивают и фильтруют.

Топливо Т-1 представляет собой керосиновую фракцию малосернистых нефтей, выкипающую в пределах $140\text{—}280\text{ }^{\circ}\text{C}$. Высокая плотность — более 800 кг/м^3 и вязкость — при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ более $1,5\text{ мм}^2/\text{с}$, малое содержание сернистых соединений в сырье обеспечивают высокий уровень качества топлива по всем эксплуатационным свойствам, кроме склонности к образованию нагара и других отложений. Ресурсы этого топлива ограничены.

Топливо ТС-1 — чаще всего это фракция сернистых нефтей, выкипающая в пределах $140\text{—}250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Более узкий фракционный состав обу-

словлен повышенным содержанием в сернистых нефтях алканов, что отрицательно сказывается на температуре начала кристаллизации. При получении топлива из малосернистых парафинистых нефтей приходится ограничивать конец кипения температурой 220—230 °С. Содержание серы в топливе ТС-1 выше, чем в топливе Т-1, но в первом меньше смолистых соединений и нестабильных углеводородов, поэтому и образуется меньше отложений. Допускается получение топлива ТС-1 смешением гидроочищенного и прямогонного дистиллятов. В эксплуатации обе марки топлива Т-1 и ТС-1 взаимозаменяемы однако, сырьевая база Т-1 для производства топлива ограничена (Бакинский ареал), поэтому оно в ГА РФ не применяется.

Топливо Т-2 включает бензиновые и керосиновые фракции прямой перегонки сернистых и малосернистых нефтей. Обладая высокой испаряемостью, оно обеспечивает надежный запуск двигателей. В связи с низкой вязкостью и необходимостью обязательной обработки щелочью бензиновых фракций для удаления коррозионно-активных соединений топливо имеет недостаточно высокие противоизносные свойства. Фракции прямой перегонки при необходимости могут подвергаться демеркаптанизации или гидроочистке.

Топлива ТС-1, Т-1 и Т-2 вырабатывают в соответствии с ГОСТ 10227—62 по той технологии и из тех нефтей, которые применялись при изготовлении образцов, прошедших государственные испытания с положительными результатами на двигателях или по комплексу методов квалификационных испытаний в соответствии с установленным порядком. Нормы по показателям качества этих топлив приведены в табл. 8.3. Кроме того, в топливе должны отсутствовать: сероводород (ГОСТ 17323—71), водорастворимые кислоты (ГОСТ 6307—75, индикаторный метод), водорастворимые щелочные соединения, механические примеси и вода (методы определения изложены в ГОСТ 10227—62), мыла нафтеновых кислот (ГОСТ 2-1103—75). Топливо должно выдерживать испытание при 100 °С в течение 3 ч на медной пластинке без изменения цвета пластинки (ГОСТ 6321—69). Допускается вырабатывать топливо ТС-1 с температурой начала кристаллизации не выше —55 и —50 °С, предназначенное для всех климатических зон, за исключением зоны 1 (ГОСТ 16350—80). Топливо ТС-1 для применения в климатической зоне 1 получают по согласованию с потребителем. В отдельных случаях (по особому требованию потребителей) топливо Т-1 должно выпускаться плотностью при 20 °С не менее 810 кг/м³. Для улучшения эксплуатационных свойств в топлива ТС-1, Т-1 и Т-2 могут вводить присадки, допущенные к применению в установленном порядке (антистатические, противозадирные и др.).

9.1.2 Термостабильные реактивные топлива.

Наиболее массовое термостабильное топливо *РТ* могут получать прямой перегонкой, смешением продуктов прямой перегонки и гидроочистки и гидроочисткой прямогонной фракции 135—280 °С из различных нефтей.

Свойства реактивных топлив в соответствии с требованиями ГОСТ 10227—62

Показатель	ТС-1	ТС-1*	T-1	РТ	
Плотность при 20 °С, кг/м ³ . не менее	775	780	800	755	ГОСТ 3900—85
Фракционный состав, °С, не выше:					ГОСТ 2177—82
н. п.	150	150	150	60	
10% (об.)	165	165	175	145	не ниже)
50% (об.)	195	195	225	195	
90% (об.)	230	230	270	250	
98% (об.)	250	250	280	280	
Вязкость кинематическая, мм ² /с:					ГОСТ 33—82
при 20 °С, не менее	1,25	1,30	1,50	1,05	
при —40 °С, не более	8	8	16	6	
Удельная теплота сгорания низшая, кДж/кг, не менее	42	43	42 900	43 100	ГОСТ 21261—75 ГОСТ 11065—75)
Высота некоптящего пламени, мм. не менее	25	25	20	25	ГОСТ 4338—74
Кислотность, мг КОН/100 мл топлива. не более	0,7	0,7	0,7	0,7	ГОСТ 5985—79
Давление насыщенных паров, гПа, не более	—	—	—	133	ГОСТ 1756—52
Температура, °С:					
вспышки в закрытом тигле, не ниже	28	28	30	—	ГОСТ 6356—75
начала кристаллизации, не выше	—60	—60	—60	—60	ГОСТ 5066—56
Йодное число, г I ₂ /100г. не более	3,5	2,5	2,0	3,5	ГОСТ 2070—82
Содержание, %, не более:					
ароматических углеводородов серы общей	22	22	20	22	ГОСТ 6994—74
меркаптановой серы	0,25	0,20	0,10	0,25	ГОСТ 19121—73
Содержание в топливе, мг/100 мл. не более:					
фактических смол	0,005	0,003	—	0,005	ГОСТ 17323—71
осадка	5	3	6	5	ГОСТ 1567—83 ГОСТ 8489—85)
Зольность, %, не более	10	8	18	16	ГОСТ 9144—79
	0,003	0,003	0,003	0,003	ГОСТ 1461—75

* Высшей категории качества

В последние годы разработан и вступил в действие ГОСТ Р 52050-2003 на реактивное топливо Jet A-1 российского производства, однако, до настоящего времени его массовое производство в России не освоено. По многим показателям

телям, по мнению специалистов, оно уступает по качеству отечественным топливам, включенным в ГОСТ 10227-82

Более того в техническом регламенте, принятом постановлением Правительства РФ регламенте к топливу для дозвуковой авиации заложены требования на зарубежное топливо Jet A-1. Перевод всей отечественной техники на топливо Jet A-1 не может рассматриваться как технически и экономически оправданная мера. На взгляд специалистов отрасли целесообразно отстаивать более прогрессивные, чем зарубежные отечественные стандарты требований к качеству авиатоплива, рассматривая требования Техрегламента как минимальные и уже фактически достигнутые для обеспечения безопасности.

Технические требования к топливу Jet-A по ГОСТ Р 52050-2003 приведены в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Технические требования к реактивному топливу Jet-A по ГОСТ Р 52050-2003

Наименование показателя	Значение
Кислотное число общее, мг КОН/г не более	0,10
Объемная доля ароматических углеводородов,% не более	25
Массовая доля меркаптановой серы, % не более	0,003
Массовая доля общей серы, % не более	0,25
Фракционный состав, °С 10% отгона при температуре °С не выше 50% отгона при температуре °С не выше 90% отгона при температуре °С не выше Температура конца кипения, °С не выше Остаток от разгонки, % не более Потери от разгонки,% не более	205 Не норм. Определение обязательно 300 1,5 1,5
Температура вспышки, °С, не ниже	38
Плотность при 15°С, кг/м ³	775-840
Температура плавления кристаллов,°С, не выше	-47
Кинематическая вязкость при минус 20°С, мм ² /с, не более	8
Высота некоптящего пламени, мм, не менее или При объемной доле нафталиновых углеводородов не более 3%, не менее	25 19
Низшая теплота сгорания, МДж/кг, не менее	42,8
Коррозия медной пластинки (2 ч±5 мин) при 100°С, не более	№1
Термоокислительная стабильность на установке JFTOT при 2,5 ч и 260°С Перепад давления, кПа 9мм.рт.ст) не более Отложения на трубке, номер по калориметрической шкале ASTM, менее	3,3(25) 3 При отсутствии отложений, необычных по цвету или цвета «павлина»
Концентрация фактических смол, мг/100 см ³ , не более	7
Взаимодействие с водой: а)оценка поверхности раздела фаз, баллы,не более	1 70

б) оценка светопропускания топлива, не более с антистатической присадкой без присадки, не более	85
Удельная электрическая проводимость: пСм/м для топлива с антистатической присадкой без присадки, не более	50-450 10
Смазывающая способность (диаметр пятна износа) мм, не более	0,85

В результате гидроочистки резко снижается содержание общей серы, нестабильных углеводородов и смолистых соединений, практически полностью удаляются меркаптаны. Все это снижает склонность топлива к образованию отложений, однако повышает окисляемость и ухудшает противоизносные свойства. Для улучшения противоизносных свойств в топливо разрешается вводить противоизносную присадку (от 0,002 до 0,004%), а для снижения окисляемости — присадку ионол (от 0,003 до 0,004%).

Основной особенностью топлива Т-6 является высокая плотность $\rho_{20} = 840 \text{ кг/м}^3$. Это может быть достигнуто за счет глубокого гидрирования керосино-газойлевой фракции прямой перегонки отдельных нефтей или каталитического крекинга с пределами выкипания 195—315°C. При этом из топлива удаляются сернистые соединения, смолистые вещества и нестабильные углеводороды, а большая часть ароматических углеводородов превращается в цикланы. Топливо обладает высокими энергетическими свойствами. Для снижения окисляемости в него вводят ионол.

Топливо Т-8В имеет температурные пределы выкипания 165—280 °С. Оно может быть получено гидроочисткой, гидро-деароматизацией (ужесточенным режимом гидроочистки) прямогонных фракций нефти или гидрокрекингом вакуумного газойля. В топливо Т-8В могут добавлять те же присадки, что и в топливо РТ.

В топливах РТ, Т-8В и Т-6 должны отсутствовать сероводород (для Т-6 норма устанавливается на месте производства), водорастворимые кислоты и щелочные соединения, а также механические примеси и вода, мыла нафтеновых кислот (для РТ). Топлива должны выдерживать испытания на медную пластинку. В случае топлива РТ допускается изменение цвета пластинки до оранжевого, темно-оранжевого или малинового, а также отдельные пятна тех же цветов, при этом до введения присадок пластинка после испытания не должна изменять начального цвета и блеска. Стандартом нормируется уровень противоизносных свойств топлива РТ: износ плунжеров натурального насоса-регулятора во время стендовых испытаний не должен превышать 0,2 мм. В случае разногласий предусмотрены определение механических примесей массовым методом (ГОСТ 10577—78) и норма — не более 0,0003%.

Фактический уровень качества топлив. Отечественная промышленность вырабатывает реактивные топлива, как правило, имеющие запас качества, особенно по показателям, наиболее склонным к изменению при хранении топлив. В зависимости от состава сырья, специфики технологии производства, ассортимента и объема получаемых реактивных топлив, изготовленных

на различных предприятиях, их качество неодинаково. Результаты исследований подтверждают прогрессивность тенденции развития нефтеперерабатывающей промышленности, предусматривающей расширение выпуска гидроочищенных топлив.

10. Взаимозаменяемость отечественных и зарубежных авиатоплив.

По данным исследований, проведенных в ЦИАМ по взаимозаменяемости топлив для реактивных двигателей сформулированы рекомендации, изложенные в таблице.10.1.

Таблица 10.1

Таблица взаимозаменяемости реактивных топлив отечественного и зарубежного производства.

Отечественные топлива	Зарубежные топлива		
	Марка	Спецификация	Страна, фирма
Марка,ГОСТ			
ТС-1 ГОСТ 10227-86	Jet A-1	DEFSTAN 91-91	Великобритания
	JP-8	MIL-T-83133	Германия
	№3	GB6537-94	Германия
	ТС-1	ГСТУ 320.00149943.011	КНР
			Украина
РТ ГОСТ 10227-86	Jet A-1	DEFSTAN 91-91	Испания
	№3	GB6537-94	КНР
	РТ	320.00149943.007	Украина
T-2	JP-4	Tuprus-320 Aviation	Турция

В рекомендациях обращается внимание на то, что у некоторых зарубежных производителей возможны ряд эксплуатационных отличий от отечественных сортов топлива. А именно: возможна повышенная агрессивность к некоторым маркам уплотнительных резин и пониженные противоизносные свойства.

11.Альтернативные авиационные топлива.

В последние десятилетия, в связи с удорожанием традиционных углеводородных топлив, исчерпанием нефтяных месторождений и стремлением к внедрению «чистых» альтернативных топлив, имеющих улучшенные экологические характеристики, а также топлива, вырабатываемые из возобновляемых источников сырья, технологи и конструкторы двигателей для ЛА проводили большой объем научно-исследовательских и конструкторских разработок.

Результатом этих работ явилось создание вертолетных двигателей, работающих на пропан-бутановой фракции сжиженного природного газа, решающей проблему сырья для топлив авиатехники, эксплуатирующейся в обширных районах нефти и газодобычи России. Испытаны и получили положительное заключение образцы вертолетных двигателей с улучшенными экологическими характеристиками. В настоящее время эти работы продолжаются и есть надежда на постепенное внедрение подобных разработок в серийное производство.

В Самарском конструкторском бюро в 80е годы прошлого века был разработан, построен и испытан криогенный двигатель, установленный на самолете ТУ 155 (модификация самолета ТУ-154), работавший на жидки водороде и кислороде. Однако из-за больших габаритов криогенных компонентов топливной системы и высокой себестоимости эксплуатации, а также проблем с безопасностью этого двигателя, работы не продвинулись дальше испытаний опытного образца.

В последние годы за рубежом проведены успешные работы по производству и испытаниям опытного образца реактивного биотоплива, изготовленного из продуктов жизнедеятельности морских водорослей. В прессе сообщалось об успешном испытательном полете лайнера А-380 один из двигателей которого был переоборудован на возможность сжигание такого топлива.

Литература

Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник под редакцией Школьников В.М., изд.2 переработанное и доп. –М.: Изд.центр «Техинформ», 1999.

Папок К.К. Химмотология топлив и смазочных масел. –М.: Воениздат, 1981.

Теоретические основы химмотологии. Под редакцией Браткова А.А. – М.:Химия, 1984.

Сpirкин В.Г. Химмотология топлив. Уч. Пособие. Под ред. ФуксаИ.Г. – М.: Нефть и газ, 2002.

Яновский Л.С., Дмитриенко В.П. и др. Основы авиационной химмотологии.- М.:МАТИ,2005.