

И.Р. Габдрашитов

Проблемы влияния вибрации летательного аппарата на состояние топливной системы в условиях низких температур

В статье описывается проблема влияния эксплуатационной вибрации газотурбинных двигателей летательных аппаратов в условиях низких температур на содержание противоводокристаллизационной жидкости в топливе для реактивных двигателей, оказывающей негативное воздействие на состояние топливной системы летательных аппаратов. Описывается способ определения влияния вибрации. Предлагаются практические рекомендации для уменьшения воздействия вибрации.

За последние годы применение военной авиации существенно возросло, что обусловлено интенсивным выполнением задач на учениях, транспортными перевозками воинских грузов, личного состава, участием Воздушно-космических сил в военной операции в Сирийской Арабской Республике в борьбе с международным терроризмом. Наряду с этим интенсивное применение авиационной техники негативно сказывается на ее эксплуатационном ресурсе, усталостных и коррозионных повреждениях, надежности. В настоящее время для обеспечения надежной эксплуатации авиационной техники в современных условиях, а также для увеличения межремонтного ресурса силовых установок, поддержания летной годности летательных аппаратов (ЛА) существует необходимость в проведении новых исследований [1].

Обеспечение безопасности полетов авиации всегда являлось важной государственной задачей, посредством которой исключался риск гибели людей и нанесения ущерба государственному имуществу. В настоящее время значимость данной проблемы возросла в связи с возросшим применением авиации. Одним из главных условий надежности ЛА является обеспечение надежности топливной системы, что обусловлено ее предназначением – размещением на борту качественного топлива и его постоянной и безотказной подачи в газотурбинный двигатель (ГТД), как в полете, так и на земле¹.

Проведенный анализ возможных состояний топливной системы с учетом влияния различных эксплуатационных факторов показал, что наиболее отрицательное влияние может оказывать вибрация ГТД [2]. С вибрацией боролись конструкторы летательных аппаратов еще с давних пор. Вибрация не только изматывает пассажиров и летчиков, но и наносит ущерб авионике и комплектующим ЛА, снижая их надежность и срок службы [3]. Нестационарная аэродинамика лопастей несущего винта в полете создает вибрационные нагрузки, которые передаются на втулку несущего винта, далее по валу – на редуктор, после чего на фюзеляж [3].

Авиационный двигатель вызывает вибрацию всех частей самолета, которая отрицательно сказывается на работе приборов, искажая их показания и сокращая сроки службы. На практике в случае вибрации фундаментов под машинами, мостов, крыльев самолета, сооружений резонанс приводит к образованию колебаний с большими амплитудами, при которых возникают напряжения, превышающие допустимые с точки зрения прочности, что, конечно, является не только нежелательным, но часто и опасным. Для обеспечения стабильной работы топливной системы авиационных двигателей в условиях низких температур с целью предотвращения образования или растворения кристаллов льда в авиационных топливах или инея, осыпающегося со стенок топливных баков ЛА, а также для уменьшения вероятности обмерзания фильтров ЛА к топливу добавляют нормированное количество противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ) [4].

1 Новые технологии борьбы с вибрацией в вертолете // <http://www.ato.ru/content/novye-tehnologii-borby-s-vibraciyey-v-vertolete>

Эксплуатационная вибрация ЛА, многократное перекачивание топлива по топливопроводам при его подаче к ГТД или для центровки ЛА в полете оказывают большое влияние на стабильное содержание ПВКЖ в топливах для реактивных двигателей и образование водных жидкофазных осадков (ВЖО) [5]. Применение ПВКЖ, особенно в военной авиации, связано с целым рядом отрицательных явлений, трудностей. Исследования процессов, протекающих в топливах при применении данных жидкостей, продолжаются до настоящего времени. Достаточно быстрое охлаждение топлива в баках ЛА при дозвуковых скоростях полета ускоряет выделение из топлива для реактивных двигателей растворенной воды и перераспределение ПВКЖ, которая способна частично переходить из топлива в выделившуюся водную фазу и образовывать водные растворы с низкой температурой застывания.

Надежность эксплуатации топливной системы летательных аппаратов, в первую очередь, зависит от прокачиваемости реактивного топлива, т. е. от его своевременной и бесперебойной подачи в камеру сгорания. Ухудшение прокачиваемости, как правило, приводит к возникновению отказов авиационной техники. Нарушение подачи топлива возможно вследствие повышения вязкости при охлаждении, потери физической стабильности, забивки фильтров механическими примесями и смолистыми гелеобразными веществами. Следовательно, прокачиваемость реактивного топлива зависит от его углеводородного состава, степени обводненности, чистоты и от наличия поверхностно-активных веществ.

Ранее для реализации целей исследования был разработан способ определения влияния вибрационного воздействия ГТД на содержание ПВКЖ в топливе для реактивных двигателей, отличающийся точностью и скоростью проведения испытаний [5]. Проведенные лабораторные испытания на аппаратно-программном комплексе АПК ИРЭН 2.4 трех образцов топлив для реактивных двигателей: ТС-1, РТ, Jet A-1, – доказали зависимость концентрации ПВКЖ от вибрационного воздействия газотурбинных двигателей в диапазоне частот 100-200 Гц и температуре от 0 до -40 градусов по Цельсию, близкой к функциональной, что подтверждается высокими значениями коэффициентов корреляции концентрации ПВКЖ в топливе вне зависимости от марки топлива и температуры топлива. Сравнительный анализ приведен в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Результаты вибрационного испытания с частотой 200 Гц, обводненного (0,1%) ТС-1 с добавлением 0,3% ПВКЖ «И» ($T_{усл} = 0 \dots -40^{\circ}C$)

№	Время, ч	Концентрация ПВКЖ, %			Ср. арифм.
1	2	3			4
$T_{усл} = 0^{\circ}C$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,15	0,15	0,15	0,15
3	2	0,11	0,11	0,11	0,11
4	3	0,05	0,06	0,06	0,06
5	4	0,05	0,05	0,05	0,05
6	5	0,04	0,05	0,05	0,05
7	Ср. арифм.				0,123
$T_{усл} = -20^{\circ}C$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,14	0,14	0,14	0,14
3	2	0,09	0,09	0,10	0,09
4	3	0,05	0,05	0,06	0,05
5	4	0,05	0,04	0,05	0,05
6	5	0,04	0,05	0,05	0,05
7	Ср. арифм.				0,117

Таблица 1 (продолжение)

$T_{усн} = -40^{\circ}\text{C}$					
1	0	0,32	0,32	0,31	0,32
2	1	0,12	0,11	0,11	0,11
3	2	0,07	0,07	0,08	0,07
4	3	0,04	0,04	0,04	0,04
5	4	0,04	0,04	0,04	0,04
6	5	0,04	0,03	0,03	0,03
7	Ср. арифм.				0,102

Таблица 2 – Результаты вибрационного испытания с частотой 200 Гц, обводненного (0,1%) РТ с добавлением 0,3% ПВКЖ «И» ($T_{усн} = 0... -40^{\circ}\text{C}$)

№	Время, ч	Концентрация ПВКЖ, %			Ср. арифм.
1	2	3			4
$T_{усн} = 0^{\circ}\text{C}$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,16	0,16	0,15	0,16
3	2	0,11	0,12	0,11	0,11
4	3	0,06	0,06	0,06	0,06
5	4	0,04	0,04	0,03	0,04
6	5	0,04	0,04	0,03	0,04
7	Ср. арифм.				0,122
$T_{усн} = -20^{\circ}\text{C}$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,16	0,15	0,15	0,15
3	2	0,11	0,12	0,11	0,11
4	3	0,06	0,05	0,05	0,05
5	4	0,04	0,03	0,04	0,04
6	5	0,04	0,03	0,04	0,04
7	Ср. арифм.				0,118
$T_{усн} = -40^{\circ}\text{C}$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,15	0,15	0,15	0,15
3	2	0,11	0,11	0,11	0,11
4	3	0,05	0,04	0,04	0,04
5	4	0,04	0,03	0,03	0,03
6	5	0,03	0,04	0,03	0,03
7	Ср. арифм.				0,113

Из таблиц 1, 2, 3 видно, что концентрация жидкости «И» с течением времени падает ниже установленного нормированного количества, что недопустимо и может привести к отказу авиационной техники. Из трех исследованных образцов топлива для реактивных двигателей марок ТС-1, РТ, Jet A-1 смесь топлива Jet A-1 с жидкостью «И» показала наименьшую стабильность к воздействию вибрации после 4-5 часов воздействия вибрации с максимальной частотой 200 Гц и температуре $0... -40^{\circ}\text{C}$. При таких условиях содержание ПВКЖ падает до тысячных долей процента, т. е. фактически до следов. Данный факт наиболее целесообразно связать с отличиями в углеводородном составе испытуемых образцов топлива, а именно с температурой начала кристаллизации, поскольку этот показатель качества в интегральном виде объединяет наиболее существенные отличия в групповом углеводородном составе испытуемых образцов топлива для реактивных двигателей, а это существенным образом сказывается на поведении в топливе ПВКЖ.

Таблица 3 – Результаты вибрационного испытания с частотой 200 Гц, обводненного (0,1%) Jet A-1 с добавлением 0,3% ПВКЖ «И» ($T_{исп} = 0 \dots -40 \text{ } ^\circ\text{C}$)

№ п.п.	Время, ч	Концентрация ПВКЖ, %			Ср. арифм.
1	2	3			4
$T_{исп} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,15	0,15	0,14	0,15
3	2	0,11	0,11	0,11	0,11
4	3	0,04	0,04	0,05	0,04
5	4	0,04	0,04	0,04	0,04
6	5	0,04	0,04	0,04	0,04
7	Ср. арифм.				0,117
$T_{исп} = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,13	0,13	0,14	0,13
3	2	0,10	0,10	0,10	0,10
4	3	0,03	0,04	0,03	0,03
5	4	0,04	0,02	0,04	0,03
6	5	0,03	0,03	0,02	0,03
7	Ср. арифм.				0,107
$T_{исп} = -40 \text{ } ^\circ\text{C}$					
1	0	0,32	0,32	0,32	0,32
2	1	0,1	0,1	0,11	0,1
3	2	0,06	0,07	0,06	0,06
4	3	0,02	0,01	0,01	0,01
5	4	0,01	0,01	0,01	0,01
6	5	0,01	0,009	0,009	0,009
7	Ср. арифм.				0,085

Таким образом, проведенные исследования указывают на необходимость принимать меры по предотвращению вибраций газотурбинных двигателей и исключения применения топлив для реактивных двигателей марки Jet A-1 в смеси с противоводокристаллизационными жидкостями на отечественной авиационной технике.

Для уменьшения воздействия вибрации на растворимость ПВКЖ в топливах для реактивных двигателей предлагается подход в качестве практических рекомендаций, названный эксплуатационным. Сущность данного подхода заключается в применении способов интенсификации однородности смеси топлива и ПВКЖ, циркулирующей в системе топливопроводов и баков ЛА, и включает в себя:

1. Увеличение кратности перекачки топлива по топливным магистралям «на кольцо».
2. Использование встроенных в топливную систему гидравлических или механических устройств, обеспечивающих непрерывное перемешивание смеси ПВКЖ с топливом.
3. Использование устройств подогрева топлива в баках для увеличения растворимости ПВКЖ в топливе.
4. Использование комбинированных способов.
5. Ужесточение требований к наличию растворенной воды в топливе при аэродромном контроле его качества.
6. Ограничение или исключение в рамках программы импортозамещения применения зарубежных марок топлива на отечественной авиационной технике, поскольку нами экспериментально подтверждены худшие эксплуатационные свойства топлива марки Jet A-1 в отношении

стабильности содержания ПВКЖ к воздействию вибрации, особенно в условиях низких температур.

Список использованных источников

1. Завялик И.И., Олешко В.С., Самойленко В.М., Фетисов Е.В. Моделирование функционирования агрегатов топливной системы газотурбинных двигателей летательных аппаратов с учетом изменения качества авиационного топлива // Научный вестник МГТУ ГА. – 2016. – № 3. – Т. 19. – С. 49-53.
2. Чичков Б.А., Соколов М.П. Диагностирование двигателей типа ПС-90А по параметрам вибрации // Научный вестник МГТУ ГА. Серия: Эксплуатация воздушного транспорта. – 2006. – № 109.
3. Энглин Б.А. Применение жидких топлив при низких температурах. – М.: Химия, 1980. – 207 с.
4. Веселянская В.М., Радченко Е.Д., Энглин Б.А., Кирьянова А.А. Влияние нафтено-ароматических углеводородов на окисляемость гидроочищенного топлива – РТ. – М.: Химия, 1979. – С. 27-31.
5. Габдрашитов И.Р., Мокроусов А.С. Способ исследования влияния вибрации летательных аппаратов на содержание противоводокристаллизационной жидкости в топливе для реактивных двигателей // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии, системы вооружения и военной техники», Омск, 19-20 июня 2017 г. – Омск: ОАБИИ, 2017.