

УДК 629.7.036.3.018:621.643

И.П. Васильев¹, М.В. Павлова², В.Т. Шепель²

¹ФГУП «ЦИАМ» им. П.И. Баранова, Россия

²ОАО «НПО «Сатурн», Россия

ОГНЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ АВИАЦИОННОГО ГТД

Изложены особенности сертификации трубопроводов обвязки авиационного ГТД в части пожарной безопасности. Рассмотрены приемы проектирования трубопроводов обвязки, минимизирующие вероятность возникновения пожара. Проанализированы в части пожарной безопасности нормы летной годности АП-33, CS-E, стандарт JSSG-2007A. Представлен метод отбора группы представительных трубопроводов, успешные огневые испытания которых устанавливают соответствие сертификационным требованиям для всех трубопроводов обвязки двигателя. Описаны огневые испытания трубопроводов, требования, предъявляемые к испытываемым образцам и испытательному стенду, условия зачетности испытаний.

Ключевые слова: авиационный двигатель, пожарная безопасность, трубопроводы, огневые испытания.

Введение

Сертификация авиационного двигателя является системой обеспечения безопасности путем допуска в эксплуатацию двигателей, отвечающих государственным требованиям к летной годности и охраны окружающей среды, которые регламентируются национальными, в частности, Российскими, и Европейскими нормами летной годности АП-33, CS-E [1-2]. Одним из важных требований норм летной годности авиационного двигателя является требование в части обеспечения его пожарной безопасности.

Сертификация или государственные испытания на требования пожарной безопасности трубопроводов обвязки двигателя, включающей сотни трубопроводов, является весьма трудоемкой задачей. В состав обвязки входят жесткие и гибкие трубопроводы масляной, топливной и воздушной систем, патрубки и т.д. При этом обвязка современных авиационных двигателей содержит до 30% гибких трубопроводов, обладающих высокой механической прочностью и отсутствием вредных резонансов.

Требования к сертификации обвязки в части пожарной безопасности изложены в пунктах АП 33.17, CS-E 130 норм летной годности [1-2], а также пункте А.3.1.8.1 стандарта JSSG-2007A [3]. Указанные документы требуют минимизировать вероятность возникновения и распространения пожара в случае нарушения герметичности трубопроводов обвязки.

При проектировании обвязки минимизация вероятности возникновения пожара достигается путем:

- оптимизации трассировки трубопроводов (минимальные радиусы сгибов, минимальная длина прямолинейных участков, применение фитингов с двойным уплотнением);
 - обеспечения достаточной подвижности трубопроводов для компенсации зазоров, допущенных при установке и при термическом расширении корпусов;
 - выбора материалов, устойчивых ко всем видам коррозии, окисления и электрохимической коррозии;
 - расположения опорных элементов, обеспечивающих отсутствие резонансов в диапазоне роторных частот каскадов высокого и низкого давления, а также импульсных колебаний рабочих жидкостей;
 - правильно выбранных моментов затяжки резьбовых соединений фитингов и способов контроля затяжки;
 - обеспечения в мотогондоле вентиляции паров легковоспламеняющихся жидкостей (ВЖ) при разгерметизации трубопроводов;
 - заземления трубопроводов на корпус летательного аппарата в местах контакта металлических креплений двигателя и опорных элементов;
 - отказа от использования титановых сплавов из-за их склонности к контактной коррозии, чувствительности к концентраторам, низкой пластичности и усталостной прочности;
 - изготовления фитингов из тех же материалов, что и трубопроводы.
- Герметичность трубопроводов конструктивно обеспечивается путем:

- использования материалов с близкими коэффициентами линейного расширения;
- применения фитингов с функцией двойного уплотнения;
- использования герметика, увеличивающего свой объем при нагревании.

Целью статьи является изложение опыта сертификации трубопроводов обвязки авиационного ГТД на требования пожарной безопасности.

Причинами возникновения пожара являются отказы или неисправности, приводящие к нарушению герметичности трубопроводов обвязки и, следовательно, утечкам ВЖ с образованием паровой фазы и появлению источников непреднамеренного зажигания.

Основным методом установления соответствия требованиям пожарной безопасности являются сертификационные или государственные огневые испытания на огнестойкость и огнестойкость с использованием международного стандарта ISO 2685:1998 [4], устанавливающего методику проведения огневых испытаний.

Нормативной базой пожарной безопасности трубопроводов обвязки для двигателей транспортной категории являются АП-33, CS-E, а для военной авиации - стандарт JSSG-2007A, заменивший стандарт MIL 5007E. В соответствии с этими нормами внешние трубопроводы, фитинги и узлы масляной и воздушной системы должны быть огнестойкими в течение 15 минут, а для топливной системы огнестойкими в течение 5 минут, т.е. оставаться работоспособными в течение указанного времени. Указанные нормы гармонизированы в части пожарной безопасности. Исключение составляет требование пункта А.3.1.8.1 JSSG-2007A. В приложении к JSSG-2007A приведено разъяснение, касающееся двигателей летательных аппаратов нетранспортной категории. В данном случае фитинги и узлы, в которых циркулирует или подводится ВЖ, должны оставаться работоспособными в пожарной среде в течение определенного периода времени, достаточного для устранения аварийной ситуации или спасения экипажа.

1. Выбор представительных образцов

Для сокращения объема огневых испытаний предложена концепция установления соответствия требованиям пожарной безопасности трубопроводов обвязки, базирующаяся на результатах огневых испытаний ограниченного количества трубопроводов (представительные образцы), наиболее уязвимых к пожару. Успешные огневые испытания группы представительных трубопроводов устанавливают соответствие требованиям пожарной безопасности для всех трубопроводов обвязки двигателя.

Для сертификации составлялся весь перечень трубопроводов, расположенных в установленной

пожароопасной зоне АП 25.1181 [5]. Для отбора трубопроводов, наиболее уязвимых к пожару, предложена схема классификации по следующим признакам:

- функциональному назначению (трубопроводы топливной, масляной и воздушных систем);
- конструктивному исполнению (жесткие, гибкие);
- трубопроводы транспортирующие и подводящие ВЖ;
- конструктивному исполнению фитингов.

Для указанных групп трубопроводов, в соответствии с режимами работы двигателя отбирались трубопроводы, транспортирующие ВЖ с минимальным расходом и максимальной температурой, и трубопроводы, не транспортирующие ВЖ с максимальным давлением и максимальной температурой.

При отборе группы жестких трубопроводов во внимание принималось, что их наиболее уязвимой к пожару частью являются фитинги.

В зависимости от конструкции двигателя при отборе представительных трубопроводов целесообразно использовать и дополнительные классификационные признаки такие, как «трубопроводы, находящиеся в зоне наиболее вероятного возникновения пожара», «наличие охлаждающего потока», «экранирование трубопровода», «расположение вблизи потенциального источника пламени», «вероятность распространения пламени в данном направлении».

Отобранные таким образом трубопроводы составили группу представительных трубопроводов, подлежащих огневому испытанию.

2. Экспериментальная часть

Огневые испытания проводились в соответствии с требованиями ISO 2685:1998 на универсальном стенде Г-17ЦЗ ЦИАМ.

Стандартное пламя имело следующие параметры:

- Температура пламени ($1100 \pm 80^\circ\text{C}$).
- Плотность теплового потока ($116 \pm 10 \text{ кВт/м}^2$).

Пламя горелки вертикальное и направлено на внешний участок фитинга испытываемого образца, поскольку фитинг является наиболее уязвимой к пожару зоной трубопровода. При испытаниях расстояние от крайней точки фитинга до горелки составляло $75 \pm 7,5$ мм.

Гибкий трубопровод для испытаний должен иметь длину не менее 60 см. Он должен устанавливаться горизонтально и должен иметь один изгиб на 90° . Один фитинг и минимум 12 см гибкого трубопровода должны охватываться пламенем в процессе испытания.

Для огневых испытаний представительные трубопроводы выбирались из серийных трубопроводов либо изготавливались по серийной тех-

нологии из тех же материалов с сохранением наиболее уязвимых пожару участков.

При испытаниях нагруженность испытываемых образцов воспроизводилась за счет давления, температуры и расхода рабочей жидкости. При испытаниях возможна замена рабочей жидкости при сохранении теплового подобия. В этом случае следует учитывать возможность закипания, что приведет к повышению теплоотдачи.

Испытания наружных трубопроводов и их фитингов должны быть выполнены путем подачи рабочего тела при минимальном расходе и самой высокой температуре, встречающихся на режимах полетного малого газа и авторотации и при самом высоком давлении на взлетном режиме. Выбор консервативных режимов испытаний

и параметры вибраций для гибких трубопроводов представлен в таблице 1, где: G_{min} - минимальный расход, T_{max} - максимальная температура, P_{max} - максимальное давление, A - амплитуда колебаний образца, f - частота колебаний.

Поскольку для построения математических моделей герметичности фитингов жестких трубопроводов в пожарной среде необходимы коэффициенты теплоотдачи, то последние препараты хромель - алюмелевыми термопарами КТХА.

На рис. 1 представлен стенд Ц-17ГЗ с установленными для испытаний на огнестойкость гибким трубопроводом с огнестойким покрытием Flametite (а) и жестким трубопроводом (б) масляной системы.

Таблица 1

Трубопроводы	Консервативные режимы испытаний		Вибрация ISO 2685:1998
	5 минут	10 минут	
Переносящие масло, воздух	G_{min} , T_{max}	G_{min} , T_{max}	$A=\pm 1.6$ мм; $f=33$ Гц
Подводящие масло, воздух	P_{max} , T_{max}	P_{max} , T_{max}	$A=\pm 1.6$ мм; $f=33$ Гц
Переносящие топливо	P_{max}	-	$A=\pm 1.6$ мм; $f=33$ Гц

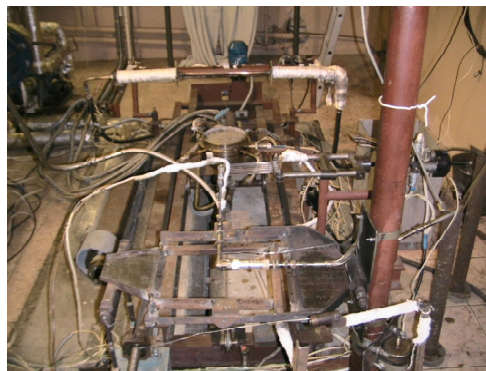


Рис.1. Фотографии стенда Ц-17ГЗ в состоянии готовности к огневым испытаниям:
а - гибкого трубопровода; б - жесткого трубопровода

3. Условия зачетности

Условия зачетности результатов огневых испытаний трубопроводов:

- сохранение герметичности образца;
- сохранение целостности образца;
- сохранение образцом, прошедшим огневые испытания, герметичности под рабочим давлением в течение 5 минут.

Дополнительными условиями зачетности для гибких трубопроводов с покрытием Flametite:

- самопроизвольное погасание любых возгораний на поверхности образца после удаления испытательного пламени;

- отсутствие самопроизвольного повторного возгорание образца после удаления пламени.

Заключение

1. В процессе проведения испытаний в районе гибкого трубопровода, покрытого Flametite, отмечено яркое свечение, которое визуально можно было идентифицировать как горение, что недопустимо нормами летной годности. Проведенные дополнительные исследования показали, что это свечение обусловлено взаимодействием пламени горелки со слоем Flametite.

2. Результаты дефектации показали, что на защитном покрытии Flametite не было следов выгорания.

3. Предложенная методика отбора представительных образцов позволяет экономично и в кратчайшие сроки сертифицировать трубопроводы обвязки авиационного двигателя. Объем огневых испытаний сокращается на порядок.

4. Рекомендовано установить две дополнительные хромель – алюмелевые термопары над горелкой для сигнализации нормального протекания процесса огневого воздействия для того, чтобы вспышки пламени от вспениваемого покрытия Flametite, осыпающихся герметиков и силиконов не были идентифицированы как горение.

Литература

1. Авиационные правила, часть 33 (АП-33). Нормы летной годности двигателей воздушных

судов [Текст]. – Межгосударственный авиационный комитет (МАК), 2004. – 52 с.

2. Certification Specifications for Engines (CS-E) [Text]. – European Aviation Safety Agency (EASA), 2007. – 193 p.

3. JSSG-2007A. Joint service specification guide (Engines. Aircraft. Turbine) [Text]. – Department of defense, 2007. – 728 p.

4. ISO 2685:1998. Aircraft - Environmental test procedure for airborne equipment - Resistance to fire in designated fire zones [Text], 1998. – 28 p.

5. Авиационные правила, часть 25 (АП-25). Нормы летной годности самолетов транспортной категории [Текст]. – Межгосударственный авиационный комитет (МАК), 2009. – 266 с.

Поступила в редакцию 12.05.2011

І.П. Васильев, М.В. Павлова, В.Т. Шепель. Вогневі випробування трубопроводів авіаційних ГТД

Викладені особливості сертифікації трубопроводів обв'язки авіаційного ГТД у частині пожежної безпеки. Розглядаються прийоми проектування трубопроводів обв'язки, мінімізуючи можливість виникнення пожежи. Проаналізовані норми льотної придатності АП-33, CS-E, стандарт JSSG-2007A. Подан метод відбіру групи показних трубопроводів, успішні вогневі випробування яких, встановлюють відповідність сертифікаційним вимогам для усіх трубопроводів обв'язки двигуна у частині пожежної безпеки. Описано вогневі випробування трубопроводів, вимоги, пред'явлені до зразків, що підлягають випробуванням, та до випробувального стенду, умови заліку випробувань.

Ключові слова: авіаційний двигун, пожежна безпека, трубопроводи, вогневі випробування.

Y.P.Vasilev, M.V.Pavlova, V.T.Shepel. Fire tests of tubes of aviation gas-turbine engine

The details of gas-turbine engine tubes certification with respect to fire safety are provided. The design methods used for the tubes of engine dressing which minimize the fire risk are examined. Airworthiness standards AP-33, CS-E, standard, JSSG-2007A are reviewed. The method of selection of representative tubes is given; the successful tests of these tubes confirm the conformity to certification requirements with regard to fire safety of all tubes of the engine dressing. Fire tests of tubes are described, requirements to test pieces and test bench are given as well as test acceptance criteria.

Key words: aviation engine, fire safety, tubes, fire tests.