



Летные исследования и испытания двигателей и силовых установок на летающих лабораториях

Анатолий Дмитриевич Кулаков,
заместитель генерального директора по испытаниям силовых установок, начальник НИО-3



Анатолий Дмитриевич КУЛАКОВ,
заместитель генерального директора по испытаниям силовых установок, начальник НИО-3

Летно-исследовательский институт является единственным предприятием авиационной отрасли, которое в течение 77 лет создает летающие лаборатории (ЛЛ) и проводит летные испытания силовых установок на ЛЛ, накопило богатый опыт и обладает уникальными высокопрофессиональными специалистами в этой области. Следует отметить, что с момента создания ЛИИ работы, связанные с летными испытаниями и доводкой опытных силовых установок самолетов, сосредоточены в институте. Все созданные в СССР и России авиационные двигатели прошли летные испытания на летающих лабораториях в ЛИИ.

Летные исследования авиационных двигателей на ЛЛ являются неотъемлемым этапом в технологии создания авиационной техники и обуславливаются необходимостью проведения опережающих летных исследований и летно-доводочных испытаний опытных, модифицированных и серийных газотурбинных двигателей.

ЛИИ обладает технологией летных исследований и испытаний авиационных двигателей и систем силовых установок на летающих лабораториях и опытных самолетах, которая включает в себя:

- создание летающих лабораторий и экспериментальных систем силовых установок;
- разработку методик и проведение летных испытаний и исследований;
- проведение анализа материалов летных испытаний и разработка рекомендаций по улучшению основных данных, эксплуатационных и прочностных характеристик испытываемых двигателей.

Летающие лаборатории создавались на базе серийных самолетов с высоким уровнем надежности, имеющих широкий эксплуатационный диапазон высот и скоростей полета.

Первая ЛЛ была создана в 1946г. На летающей лаборатории Ту-2ЛЛ проведены летные исследования первых отечественных двигателей РД-10, РД-20, РД-45, РД-500, ВК-1, ВК-3 и АМ-5. Проведенные испытания двигателей на ЛЛ обеспечили первые вылеты и сопровождение заводских и государственных испытаний опытных самолетов МиГ-9, Як-15, Ла-15, Як-25, Ту-14 и Ил-28.



Ту-2ЛЛ

На основе результатов летных исследований были разработаны методики летных испытаний турбореактивных двигателей. Впервые получены высотно-скоростные характеристики двигателей, характеристики переходных режимов и режимов запуска до высот 11 км.

В 1951-1960 гг. на базе самолета Ту-4 создаются 2 типа ЛЛ для испытаний ГТВ и ТВД.

На трех Ту-4ЛЛ проводились летно-доводочные испытания турбореактивных двигателей АМ-3, АМ-5Ф, АМ-9 (РД-9Б), АМ-11 (Р11-300), РУ19-300, АЛ-5, АЛ-7, АЛ-7П, АЛ-7Ф, ВК-3, ВК-7, ВК-11, ВД-5, ВД-7 и Д-20.



Ту-4ЛЛ с АМ9

Проведенные испытания двигателей на ЛЛ обеспечили первые вылеты и сопровождение заводских и государственных испытаний опытных самолетов Ту-16, Ту-124, Ту-110, МиГ-19, СМ-1, СМ-2, МиГ-21, МиГ-21ПФ, Су-7, Як-27, Як-30.



Ту-4ЛЛ с АИ-20

На трех ЛЛ Ту-4 проводились летно-доводочные испытания ТВД ТВ-2, ТВ-2М, 2ТВ-2М, НК-4, НК-12, АИ-20. Проведенные испытания двигателей на ЛЛ обеспечили первые вылеты и сопровождение заводских и государственных испытаний опытных самолетов Ту-91, Ил-18, Ан-12, Ту-114. Отработана методология летных испытаний ТВД на ЛЛ.

В период 1957-1990г.г. проводились летно-доводочные испытания форсированных ТРД большой тяги (до 25000 кгс) и ТВД мощностью более 15000 л.с. НК-12М, НК-12МВ, НК-6, НК-144, РД-36-51А, НК-25, НК-32.

Проведенные испытания обеспечили первые вылеты и сопровождение заводских и государственных испытаний опытных самолетов Ту-96, Ту-144, Ту-22МЕ и Ту-160.

Большая серия летающих лабораторий была построена на базе самолета Ту-16 (8 экземпляров), на которых было проведено значительное число исследовательских полетов, послуживших основой для создания целого ряда новых методов летных испытаний, впоследствии вошедших в Руководства по испытаниям авиационной техники. На Ту-16ЛЛ было испытано более 30 типов двигателей и их модификаций, включая ТРДФ Р11Ф-300, АЛ-7Ф, АЛ-21, Р11Ф2-300, Р13-300, Р15Б-300, Р27-300 и их модификаций. Опытный двигатель крепился на специальной раме и располагался в обтекаемой мотогондоле, имитирующей входное и выходное устройство силовой установки основного самолета. Экспериментальная подвеска, включающая в себя мотогондолу с опытным двигателем и агрегатами различных систем, крепилась к силовым элементам самолета и при помощи двух гидроцилиндров частично убиралась в бомбоотсек Ту-16ЛЛ. В полете на расчетных значениях высоты и скорости подвеска выпускалась из бомбоотсека и фиксировалась в нулевом положении, входная заслонка

на входе в мотогондолу открывалась, и далее производился запуск двигателя и выполнение заданных режимов работы опытного двигателя.

На основании экспериментальных и теоретических исследований была установлена зависимость динамического нагружения лопаток компрессора от структуры воздушного потока на входе двигателей маневренных самолетов и необходимость согласования характеристик воздухозаборника и двигателя. Проведены теоретические исследования, разработка методики и летные испытания по оценке и обеспечению устойчивости и допустимых переходных процессов САУ частоты вращения ГТД 3-го поколения. Впервые был проведен комплекс летных исследований по согласованию работы комбинированной силовой установки, состоящей из подъемно-маршевого двигателя и двух подъемных двигателей самолета Як-36 на установившихся и переходных режимах.

Проведены летные исследования по оценке надежности работы топливных систем самолетов при экстремальных (при низких и высоких) температурах топлива в баках в реальных условиях эксплуатации. Выданы и реализованы рекомендации на всех ЛА по пожаробезопасности и обеспечению работы топливных систем без обледенения их элементов.



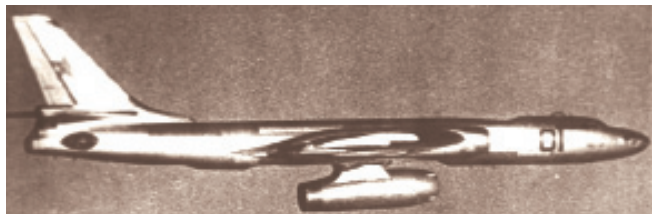
Ту-16ЛЛ с Р-27В-300

В 1970-1980гг. проведены летные исследования и отработка характеристик двигателей и силовых установок самолетов 3-го поколения. Летные исследования проходили двигатели Р13Ф-300, Р25-300, Р27Ф2-300, Р27Ф2М-300, Р29Б-300, Р-35, АЛ-21Ф3, Р95Ш, Р195 и др. Работы проводились как на специализированных Ту-16ЛЛ, так и на маневренных самолетах Су-15, МиГ-21 и его модификации, МиГ-23, МиГ-25, Су-24 и Су-25.

На Ту-16ЛЛ и Ту-95ЛЛ проводились летные исследования опытных двигателей 4-го поколения Д-30Ф6, РД-33, АЛ-31Ф, НК-25 и силовых установок самолетов МиГ-31, МиГ-29, Су-27 и Ту-160, двигателей беспилотных летательных аппаратов и вспомогательных силовых установок. Отработаны и реализованы рекомендации по обеспечению работоспособности и эффективности этих двигателей и систем силовых установок.

Проведен комплекс летных исследований на Ту-16ЛЛ и самолетах МиГ-29 и Су-27 двигателей 4-го поколения РД-33 и АЛ-31Ф и их модификаций в обеспечение Государственных стендовых испытаний этих двигателей и Государственных совместных испытаний силовых установок самолетов. В результате летных исследований существенно улучшены характеристики двигателей, выполнена доводка САУ и обеспечены заявленные ЛТХ самолетов. Выполнена разработка алгоритмов и рекомендаций по созданию систем

автоматического управления тягой ТРДФ и ТРДДФ в полете для самолетов МиГ-25, Су-27 и Як-141, обеспечивающих требуемую точность и качество управления.



Ту-16ЛЛ с АЛ-31Ф



Ту-95ЛЛ с НК-25

Дальнейшее развитие летающих лабораторий диктовалось необходимостью испытания вновь создаваемых ТРДД с большой степенью двухконтурности, большими расходами воздуха, отдельными соплами и большой тягой. Появление турбореактивных двигателей сложных конструктивных схем с высокими газодинамическими параметрами потребовало разработки более совершенной технологии летных исследований, создание методик, современной наземной экспериментальной базы и специальных средств измерения и обработки.

Поэтому начиная с 1980 г. по настоящее время летающие лаборатории для летных исследований и испытаний двигателей и силовых установок создаются на базе самолета Ил-76. С этой целью на самолете Ил-76 были проведены работы по усилению крыла и установке в грузовой кабине пультов управления опытным двигателем и стоек для установки информационно-измерительной системы. Таким образом, на созданной летающей лаборатории Ил-76ЛЛ на высотах до 12 000 м и $M=0,26 - 0,77$ можно было испытывать двигатели с тягой до 25 000 кгс и общим весом системы (экспериментальный пилон-мотогондола с опытным двигателем и системами ЛЛ) до 9 000 кг. Опытный двигатель крепится к экспериментальному пилону и к усиленному крылу ЛЛ вместо 2-й штатной силовой установки с двигателем Д-30КП.

Для обеспечения проведения летных исследований двигателей на Ил-76ЛЛ созданы следующие экспериментальные системы:

1. Система подвески опытного двигателя к крылу ЛЛ
2. Система воздушного запуска
3. Топливная система
4. Система электроснабжения двигателя и экспериментальных систем ЛЛ
5. Система управления и контроля работы двигателя и управления экспериментальными системами
6. Система пожарной защиты двигателя
7. Системы отбора воздуха от двигателя

8. Система отбора мощности от генератора двигателя

9. Информационно-измерительная система

10. Система визуального контроля и экспериментальных систем на рабочих местах инженеров-испытателей в грузовой кабине ЛЛ

11. Система кислородного жизнеобеспечения, связи и аварийного покидания

12. Телеметрическая система передачи данных измерений на ПУЛЭ

13. Система видеонаблюдения за силовой установкой

В период с 1980 г. по 200 г. на Ил-76ЛЛ были проведены опережающие летные исследования двигателей НК-86, Д-18Т, Д-236, ТВ7-117С, ПС-90А, Д-27, при этом следует отметить, что весь цикл испытаний двигателей проводился в самолетных компоновках соответственно самолетов Ил-86, Ан-124, Ан-70, Ил-114, Ил-96 и Ту-204 с реальными самолетными системами.

Следует заметить, что при испытаниях двигателя Д-18Т впервые были получены его тягово-расходные характеристики и основные данные в полете и была отработана методология летных испытаний ТРДД с большой степенью двухконтурности на Ил-76ЛЛ без предварительных их испытаний в ТБК.



Ил-76ЛЛ с Д-18Т



Ил-76ЛЛ с Д-27

В последнее время была завершена разработка и реализация комплексной технологии летных исследований и испытаний на летающей лаборатории ТВВД с открытым винтовентилятором в самолетной компоновке с применением современных достижений средств автоматизации обработки, анализа и документирования данных и управления экспериментом в полете. Данная технология использовалась при летных испытаниях турбовинтовентиляторного двигателя с сверхбольшой степенью двухконтурности и закопированным винтом (ТВВД) НК-93.



Ил-76ЛЛ с НК-93

Последнее десятилетие характеризуется международным сотрудничеством Института в области создания летающих лабораторий и проведения на них летных испытаний иностранных двигателей. Начатое в 1995г. международное научно-техническое сотрудничество в области летных исследований авиационных двигателей с Китайским летно-исследовательским институтом (GFRI) и Газотурбинным исследовательским институтом (GTRE) продолжается к настоящему времени.

В 2007г. была создана летающая лаборатория Ил-76ЛЛ для испытаний французско-российского двигателя SaM146 для самолета SSJ-100. В период 2007-2009 гг. на ней были проведены летные испытания опытного двигателя SaM146 в составе силовой установки, воспроизводящей основные условия его работы на самолете SSJ-100.



Ил-76ЛЛ с SaM146

В 2010 г. была создана летающая лаборатория Ил-76ЛЛ для летных испытаний индийского авиационного двигателя «Kaveri», которые были проведены в 2010 -2011 г.г.



Ил-76ЛЛ с «Kaveri»

В настоящее время в Институте проводятся летные испытания двигательной установки ДУ ПД-14 на Ил-76ЛЛ № 0807 и силовой установки с двигателем ТВ7-117СТ и винтом АВ-112.



Ил-76ЛЛ с ПД-14

На летающей лаборатории Ил-76ЛЛ №0807 с ДУ ПД-14 с 30.10.2015г. по настоящее время выполнено 54 полета и приступили к летным испытаниям 7 этапа.



Ил-76ЛЛ с ТВ7-117СТ и винтом АВ-112

При этом на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ №3908 с двигателем ТВ7-117СТ и винтом АВ-112 с 12.09.2017 г. по настоящее время выполнено 12 полетов, и начались летные испытания 2 этапа.

Следует отметить, что летающая лаборатория Ил-76ЛЛ дала возможность более широкого использования множественных измерений параметров двигателя и экспериментальных систем ЛЛ, современной контрольно-измерительной аппаратуры, современной бортовой вычислительной техники и экранной индикации для инженеров-испытателей и летного экипажа ЛЛ. В целом на двигательной установке измеряется 1600 параметров, а в целом на Ил-76ЛЛ около 2000. Необходимость визуального панорамного и детального обзора пилона, воздухозаборника, мотогондолы двигателя, выходного устройства и прилегающих конструкций ЛЛ (в том числе внешней аэродинамики двигательной установки, вибраций двигателя и обледенения передних ступеней вентилятора) потребовала установки теле-видео аппаратуры. На ЛЛ установлена современная телеметрическая аппаратура, позволяющая передавать полный объем измеряемых параметров на наземный пункт управления летным экспериментом (ПУЛЭ) в реальном масштабе времени.

Все это воплощено на Ил-76ЛЛ №0807 при летных испытаниях двигательной установки ПД-14.

Основой при создании информационно-измерительной системы ЛЛ являлся принцип «единство системы измерений», заключающийся в использовании при статочных стендовых испытаниях в АО «ОДК-Авиадвигатель» и летных испытаниях на ЛЛ в АО «ЛИИ им. М.М. Громова» однотипной контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры, как правило, одного разработчика. Анализ различных производителей аппаратуры показал, что наиболее современной аппаратурой с высокими точными характеристиками является аппаратура, разработанная НПП «МЕРА». Данная аппаратура установлена на двигательной установке ПД-14 и является основой бортовой системой сбора и регистрации на Ил-76ЛЛ.

В состав информационно-измерительной системы Ил-76ЛЛ входят:

- система измерений на двигательной установке ПД-14;
- система измерений экспериментальных систем ЛЛ;
- система сбора и коммутации измерительных потоков;
- система отображения параметров на пультах ведущего инженера инженеров-экспериментаторов;
- телеметрическая система передачи данных в реальном масштабе времени.

Результаты измерений параметров силовой установки и экспериментальных систем ЛЛ передаются в реальном масштабе времени на дисплеи пункта управления летным экспериментом (ПУЛЭ) и далее непосредственно в двигательное ОКБ для углубленного анализа результатов эксперимента.

Схематически состав системы управления летным экспериментом, регистрации и отображения параметров двигателя и экспериментальных систем Ил-76ЛЛ, а также передачу данных на ПУЛЭ и далее в двигательное ОКБ можно представить в следующем виде (см. рисунок внизу страницы).

Пункт управления летным экспериментом, построен на основе информационных технологий, обеспечивает управление режимами работы опытного двигателя в заданных условиях полёта. ПУЛЭ позволяет оказывать непосредственную помощь лётчику в полёте, информируя его о достигнутых результатах, предупреждая об отказах, о подходе к ограничениям. В критических ситуациях анализ динамики самолёта, работы системы управления, силовой установки и других систем в реальном времени позволяет:

- оценить возможность дальнейшего продолжения полёта по намеченной программе;
- принимать решение об изменении программы полёта с учетом полученных непосредственно в полёте характеристик;
- принимать решение о прекращении задания.

Использование современных технологий позволило существенно повысить безопасность, уменьшить объем заводских испытаний самолета, сократить сроки и повысить качество летно-конструкторских, государственных и сертификационных испытаний.

