Приложение 3
к заявке на участие в конкурсе
«Авиастроитель года» 2015

Конкурсная работа

по работе **«Создание летающей лаборатории для летных испытаний двигателя ПД-14»**

Введение

Летные испытания опытной двигательной установки ДУ ПД-14 на летающей лаборатории (ЛЛ) являются обязательным этапом технологического процесса создания авиационной техники.

Испытания позволяют существенно повысить безопасность, уменьшить объем заводских испытаний самолета, сократить сроки и повысить качество летно-конструкторских, государственных и сертификационных испытаний.

Летные испытания двигательной установки ДУ ПД-14 являются необходимым условием допуска опытного самолета МС-21-300 к первому вылету и начала его летных испытаний.

Работа была начата в 2013г. с разработки Аванпроекта создания летающей лаборатории для летных испытаний двигателя ПД-14.

В 2014 г. был разработан технический проект летающей лаборатории на базе самолета Ил-76 с усиленным крылом для установки опытной двигательной установки ПД-14 вместо силовой установки Д-30КП № 2.

В 2015г. была завершена подготовка летающей лаборатории Ил-76ЛЛ №0807 к первому полету с двигательной установкой ПД-14 и выполнены следующие работы:

- Выполнены работы по доработкам рабочей конструкторской и технологической документации в соответствии с уточненным ТЗ;
- Выполнена сборка экспериментальных систем в системе летающей лаборатории (12 основных систем) в пилоне ЛЛ (Д-27), проставке между пилоном ЛЛ и пилоном МС-21 и непосредственно в пилоне МС-21 к которому монтируется ДУ ПД-14»:

1. система подвески ДУ ПД-14 на крыло Ил-76ЛЛ № 0807;
2. топливная система;
3. система воздушного запуска двигателя ПД-14;
4. система пожарной защиты двигателя ПД-14;
5. система электроснабжения ПД-14 и экспериментальных систем;
6. система электрозагрузки генератора двигателя ПД-14;
7. система отбора воздуха от компрессора и вентилятора двигателя;
8. система управления и контроля работы ПД-14 и экспериментальными системами на рабочих местах инженеров-испытателей грузовой кабине ЛЛ;
9. информационно – измерительная система ЛЛ;
10. телеметрическая система передачи данных измерений на пункт управления летным экспериментом (ПУЛЭ);
11. система продувки сканеров давлений;
12. система продувки сканеров давлений

- Выполнены работы внутри грузовой кабины Ил-76ЛЛ №0807 по установке стойки управления двигателем ПД-14, стоек информационно-измерительной системы двигателя ПД-14 (около 1900 параметров) и экспериментальных систем ЛЛ (около 200 параметров), пультов инженеров-испытателей (5 пультов), предназначенных для управления ПД-14 и экспериментальными системами в полете.
- Выполнен монтаж пилона и установка ДУ ПД-14 на крыло Ил-76ЛЛ;
- Выполнена сборка и подключение экспериментальных систем в целом на Ил-76ЛЛ №0807;
- Произведены наземные отработки систем ЛЛ и ДУ ПД-14 в составе Ил-76ЛЛ №0807;
- Проведен первый этап летных испытаний ДУ ПД-14 на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ №0807 в объеме 9 полетов (1-ый вылет 30.11.2015).

1. Летающая лаборатория Ил-76ЛЛ №0807с опытной ДУ ПД-14 и экспериментальные системы

Летающая лаборатория создана на базе самолета Ил-76 №0807 (регистрационный №RA76529) и предназначена для летных исследований двигательной установки (ДУ ПД-14) с двигателем ПД-14, (Рисунок 1.).

Летающая лаборатория Ил-76ЛЛ №0807 позволяет испытывать двигатель ПД-14 в следующих полетных условиях:

– высота до 12000 м;
– приборная скорость $V_{пр}$ = 280…600 км/ч на высотах Н $\leq$ 7600 м;
– число М $\leq$ 0,77 на высотах Н $\geq$ 7600 м;
– вертикальная перегрузка -0,3…2,0;
– максимальный угол атаки до 15^0.

Взлеты и посадки ЛЛ осуществляются как с неработающим, так и с работающим опытным двигателем ПД-14.

Рисунок 1. Летающая лаборатория Ил-76ЛЛ №0807 с опытным двигателем ПД-14

Для обеспечения работы двигателя ПД-14 были созданы и адаптированы для Ил-76ЛЛ №0807 следующие экспериментальные системы:1.1. Система подвески ДУ ПД-14 на крыле

Включающая в себя силовой пилон Д-27, установленный на узлы крыла, переходную проставку, пилон самолета МС-21 и обтекателей (носовой, средний и хвостовой), (Рисунок 2).

Конструкция подвески выполнена с учетом расположением внутри её трубопроводов, экспериментальных систем воздушного запуска, отбора воздуха, топливной, пожарной систем и экспериментального оборудования.

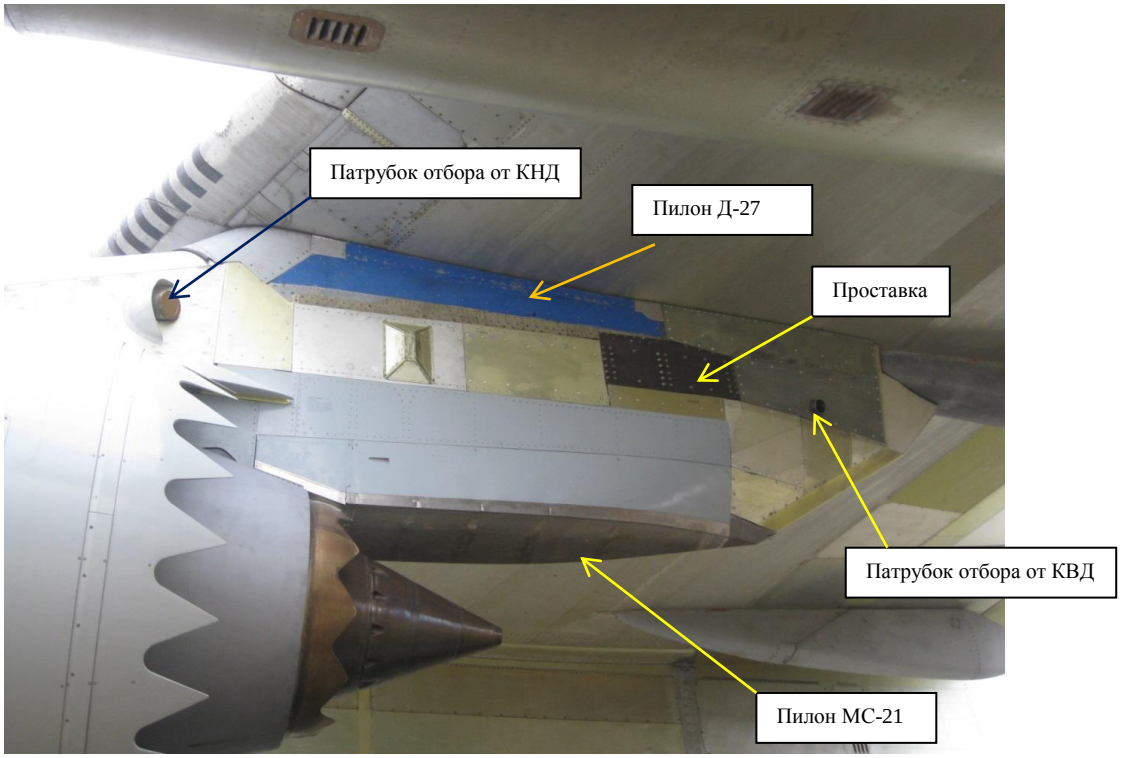

Рисунок 2. – Схема подвески ДУПД-14 на крыло ИЛ-76ЛЛ

1.2. Топливная система

Топливная система Ил-76ЛЛ № 0807 обеспечивает принудительную подачу топлива от подкачивающих топливных насосов к двигателю ПД-14 на всех режимах его работы.

Двигатель ПД-14 устанавливается вместо второй силовой установки самолета и топливная система штатной силовой установки от расходного отсека бака №2 до выхода из крыла через перекрывной (пожарный) кран – агрегат 771300 в пилон сохраняется в серийном исполнении самолета Ил –76. Подача топлива из расходного отсека бака № 2 в двигатель ПД–14 осуществляется двумя параллельно работающими насосами ЭЦНГ–10с76.

Экспериментальная топливная система является составной частью основной самолетной топливной Ил-76 и имеет отличия только на участке от штатного пожарного крана к двигателю ПД-14. Отличие состоит в установки двух линий подачи топлива к двигателю ПД-14 с установленными в них соответственно расходомерами для измерения расхода топлива при запуске двигателя и при его работе вплоть до взлетного режима.

Перед входом в опытный двигатель трубопроводы объединяются в один трубопровод, который присоединяется к входному топливному штуцеру двигателя. Все трубопроводы топливной системы соединяются между собой через ограниченно-подвижные соединения. Переключение линий происходит вручную на пульте управления инженера-испытателя.

1.3. Система воздушного запуска двигателя ПД-14.

Двигатель ПД-14 имеет воздушную систему запуска. Раскрутка ротора высокого давления двигателя осуществляется воздушным турбостартером СТВ-14, установленным на двигателе. Воздух к турбостартеру подается от любого из трех источников: бортовой вспомогательной силовой установки (ВСУ), ранее запущенного двигателя Д-30КП или аэродромного источника. Ограничение давления при подаче воздуха на стартер не более 3,2 кгс/см^2 в системе подвода сжатого воздуха. Элементы управления и индикации параметров системы расположены на основном пульте ведущего инженера. Управление процессом запуска - электроавтоматическое.

Система обеспечивает запуск двигателя ПД-14 на земле и в полете, а также ложный запуск, холодную прокрутку, автоматическое прекращение работы системы при отсутствии давления воздуха перед турбостартером или ручное прекращение процессов запуска в любой момент времени. В трубопроводе системы перед отсечной воздушной заслонкой установлены датчики для измерения давления и температуры потока.

1.4. Система пожарной защиты двигателя ПД-14

Пожарная защита состоит из системы пожарной сигнализации и системы тушения.

Система пожарной сигнализации создана на базе аппаратуры СПС-3Г с датчиками УСП-1 и 2, которые устанавливаются на двигателе, а блоки сигнализации устанавливаются в носке пилона ЛЛ. Штатная противопожарная система 2-й силовой установки отключена.

Система пожаротушения состоит из:

- 4 огнетушителей типа 2-8-1М с огнегасящим агентом хладон 114В2, установленных в грузовой кабине, (Рисунок 3.);
- магистрали пожаротушения, соединяющей баллоны с распределительными коллекторами;
- распылительных коллекторов ПП в мотогондоле двигательной установки и газогенераторе двигателя ПД-14.

Трубопровод подачи хладона dy28 прокладывается из грузовой кабины через зализ фюзеляжа, по носку крыла, пилоны Д-27 и МС-21 подвески в гондолу двигателя к двум распылительным коллекторам в подкапотном пространстве газогенераторного и вентиляторного контура.

Управление и индикация работы систем сигнализации и тушения пожара осуществляются по схеме с дублированием органов управления и контроля на пульте.

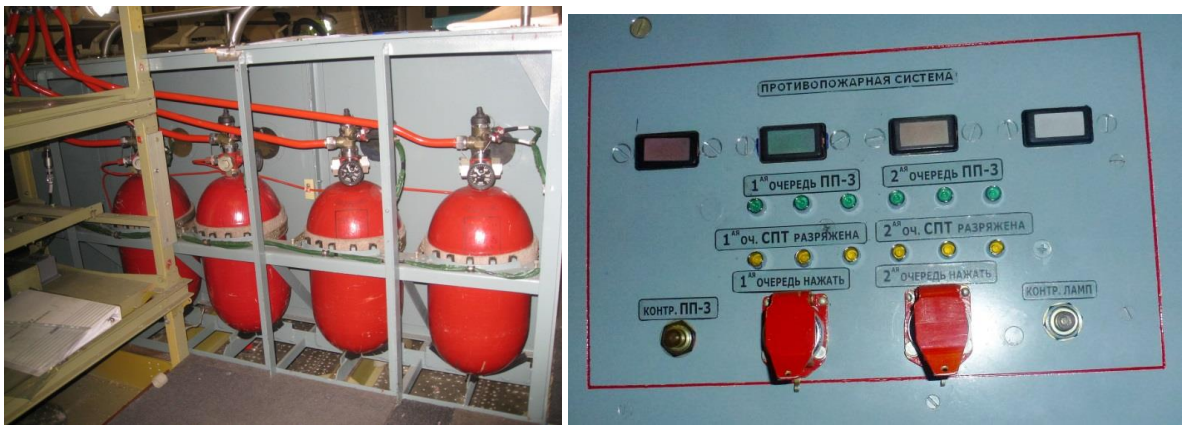

Рисунок 3. - Установка огнетушителей типа 2-8-1М и пульта управления системы пожарной защиты двигателя ПД-14 в грузовой кабине ЛЛ

1.5. Система электроснабжения двигателя ПД-14 и экспериментальных систем

Система электроснабжения экспериментального двигателя используется для обеспечения электропитанием систем различного назначения:

- схемы управления, контроля и регулирования экспериментального двигателя.
- схем запуска экспериментального двигателя на земле и в воздухе.
- схем электропитания самолётных систем, обеспечивающих работу опытного двигателя.
- систем бортовых измерений (СБИ).

На Ил-76ЛЛ для электроснабжения экспериментального двигателя ПД-14 первичными источниками электроэнергии являются 3 штатных генератора ГТ60П46А. Отбираемая мощность от них (переменного трехфазного тока напряжением 200/115В, 400гц) для запитки экспериментальных систем и двигателя ПД-14 не более 25,4 квт.

На борту Ил-76ЛЛ реализованы следующие типы источников питания:

1. 27В (±10%) постоянного тока (выпрямительные устройства, аккумуляторные батареи (резервный источник) и от аварийной бортовой сети)
2. 115В, 400гц переменного однофазного тока (преобразователи ПО-1500).
3. 200/115В,400гц переменного трехфазного тока (от бортовой сети).
4. 220В,50гц переменного тока (преобразователи 127/220,50гц, 115В,400гц/220В,50гц)
5. 36В, 400гц переменного трехфазного тока (трансформатор 115/36В,400гц от ПО-1500, преобразователь постоянного тока 27В в 36В,400гц.
6. 6В постоянного тока.

6. Система электрозагрузки генератора двигателя ПД-14

Система загрузки генератора предназначена для проведения летных испытаний генератора переменного тока VFGEGS01 120 кВА, установленного на двигателе ПД-14, включается кратковременно на земле и продолжительно в полете.

Конструктивно система выполнена в виде электронагрузочных устройств 10, 20, 15, 40, 85 квт, устанавливаемых в 3-х аэродинамических обтекателях, расположенных на внешней поверхности правой и левой хвостовых частей фюзеляжа, (Рисунок 4).

Включение системы производится только в полете. Кратковременно до 30сек возможно включение на земле при отсутствии обдувающего воздуха.

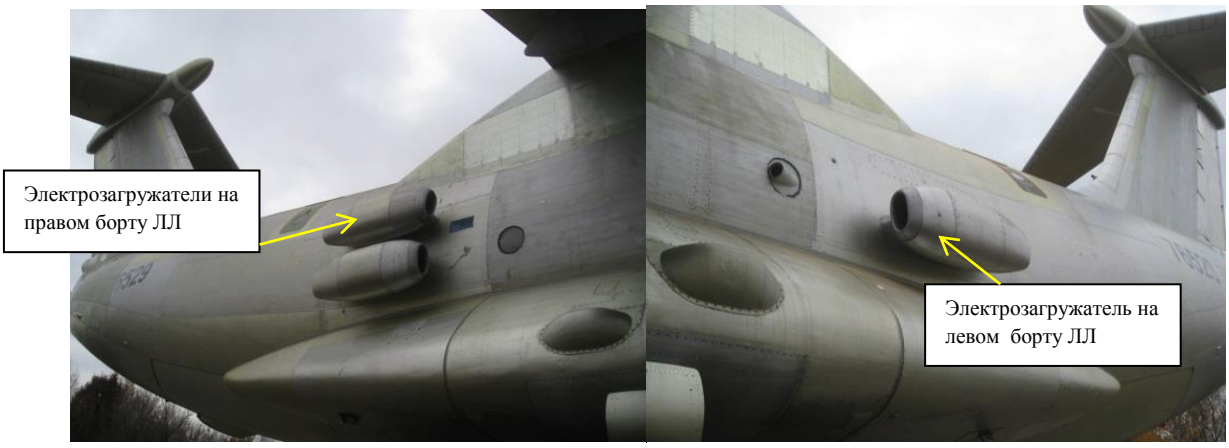

Рисунок 4. Расположение электрических загружателей генератора ПД-14 на Ил-76ЛЛ

7. Система отбора воздуха от компрессора и вентилятора двигателя

Система отбора воздуха от двигателя ПД-14 состоит из двух подсистем:

- отбор воздуха от КВД в двух местах отбора – от 3-её ступни и от 8-ой ступени;
- отбор воздуха от вентилятора.

Конструктивно система включает в себя трубопроводы Ф84х2, соединенные между собой сильфонными компенсаторами, перекрывной электромагнитный клапан, регулируемую заслонку, агрегаты и элементы системы, датчики температуры и давления.

Измеряемые в мерном сечении системы параметры отбираемого воздуха (полное и статическое давления, полная температура потока) позволяют определять и регулировать расход отбираемого воздуха.

Органы управления и приборы контроля системы размещены на инженерном пульте.

Система отбора воздуха обеспечивает заданный отбор воздуха от двигателя со следующими параметрами:

– давление воздуха на выходе из сетевого регулятора давления и на входе в систему ЛЛ (вход в отсечной клапан) составляет 10 кг/см^2 .
– максимальная температура отбираемого воздуха 450^{0}С .
– максимальный расход воздуха 2,5 кг/с.

Оценка функционирования системы осуществляется с помощью световой сигнализации о включениях отсечного клапана и заслонки регулятора давления.

Отбираемый воздух после прохода через элементы системы имитации отбора воздуха сбрасывается в атмосферу через патрубки, (Рисунок 2).

8. Система управления и контроля работы двигателя ПД-14 и экспериментальными системами на рабочих местах инженеров-испытателей грузовой кабине ЛЛ.

Система управления и контроля экспериментальным двигателем ПД-14, установленным на месте штатной силовой установки № 2 Ил-76ЛЛ, предназначена для задачи и контроля режимов его работы в ожидаемых условиях эксплуатации.

Управление и контроль двигателем осуществляется с установленного в грузовой кабине Ил-76ЛЛ пульта ведущего инженера по двигателю. На пульте установлены БРУД, пульт управления двигателем и панель имитации самолетных сигналов. В грузовой кабине ЛЛ установлена стойка управления, в которой размещены экспериментальные системы управления и контроля двигателя, в том числе, ПЛК, БПКРУД, БУ СОВ, блок управления

Рисунок 5. Размещение пультов управления в грузовой кабине и в кабине пилотов ЛЛ

Первый летчик может взять управление двигателем ПД-14 с помощью штатного РУД второй силовой установки.Д-30КП.

На приборной доске в кабине пилотов установлены визуальные указатели оборотов, давления масла и температуры газа за турбиной двигателя ПД-14. Кроме этого сверху приборной доски установлен монитор на котором отображается текущая информация о контролируемых параметрах двигателя ПД-14, (Рисунок 5).

Пульт управления двигателем обеспечивает управление и контроль работы двигателя с контролем текущего состояния двигателя. Органы управления пульта обеспечивают запуск и останов двигателя, выбор режима запуска двигателя, выбор режима полета («Критичный этап полета»), выбор режима работы ПОС ВЗ и противопомпажной системы двигателя, управление генератором и проверку исправности блоков САУ и К и включение/отключение питания. Пульт позволяет контролировать работу и текущее состояние двигателя и его агрегатов.

БРУД, представляющий функциональный макет штатного БРУД самолета МС-21-300, обеспечивает задание режима двигателя, задействование реверса и изменение режимов его работы при помощи электрических аналоговых сигналов от двух одноканальных индукционных датчиков типа RVDT и концевых выключателей положения рычага, (Рис. 6).

Рисунок 6.- Расположение РУД и панели управления двигателем ПД-14

9. Информационно – измерительная система

Информационно-измерительная система (ИИС) предназначена для измерения и регистрации параметров в процессе летных испытаний двигательной установки с двигателем ПД-14 в составе летающей лаборатории Ил-76ЛЛ, а также хранения, передачи результатов измерения в темпе испытания по цифровым каналам связи для проведения вторичной обработки, (Рисунок 7)

Объем ИИС и состав системы соответствует требованиям испытаний, при этом регистрируется порядка 1000 параметров двигателя ПД-14 и 200 параметров экспериментальных систем ЛЛ.

ИИС включает в себя:

1. Систему бортовых измерений параметров двигателя и экспериментальных систем.
2. Систему регистрации.
3. Систему первичной и вторичной обработки полетной информации.
4. Систему радиотелеметрических и траекторных измерений (СРТиТИ) и пункт управления лётным экспериментом (ПУЛЭ).

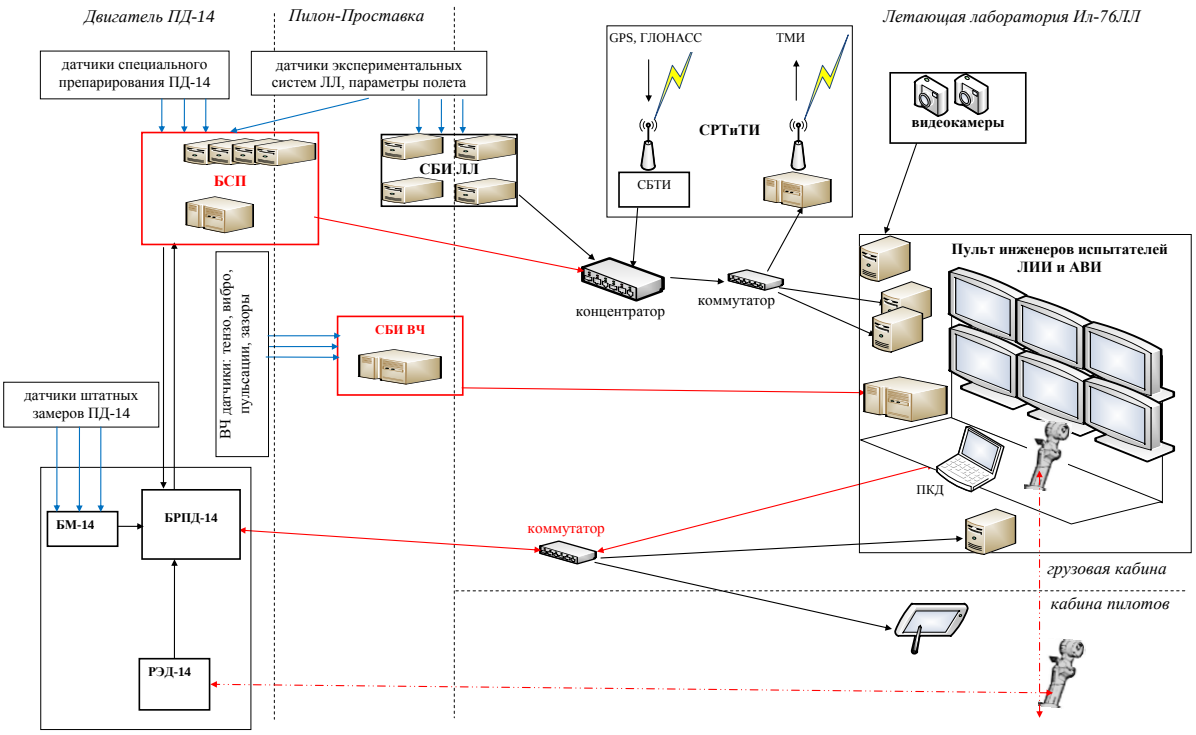

Рисунок 7. Структурная схема ИИС на Ил-76ЛЛ

Регистрирующая аппаратура размещается внутри измерительных шкафов, каркасных стойках пульта управления двигателем ПД-14 и пультов экспериментаторов, (Рисунок 8.).

Система измерений АВИ

Система измерений ЛИИ

Рисунок 8. Размещение регистрирующей аппаратуры в грузовой кабине ЛЛ.

10. Телеметрическая система передачи данных измерений на ПУЛЭ

Система радиотелеметрических и траекторных измерений (СРТиТИ) предназначена для передачи с борта ЛЛ измеряемых параметров двигателя и самолета от системы бортовых измерений (СБИ) в виде телеметрической информации (ТМИ) по соответствующему каналу на наземный пункт управления летным экспериментом (ПУЛЭ) с целью контроля испытаний в реальном масштабе времени.

СРТиТИ состоит из:

- бортовой аппаратуры, размещаемой на самолете Ил-76ЛЛ, выполняющей сбор, преобразование, передачу информации;
- наземного оборудования, размещаемого на земле, осуществляющего прием, преобразование и регистрацию принятой информации.

В состав бортовой радиотелеметрической системы СРТиТИ включена бортовая аппаратура передачи радиотелеметрической информации (БРТА) и согласующее устройство на базе промышленного ПК (СУ-БРТА), обеспечивающие:

передачу телеметрической информации через БРТА в наземный пункт ПУЛЭ в режиме реального времени

Специалисты группы управления летным экспериментом находятся на ПУЛЭ и контролируют параметры работы двигателя и его систем. На основе анализа этой информации принимаются обоснованные решения и могут передаваться на борт в качестве рекомендаций по корректировки полетного задания.

Схематично проведение летных испытаний ДУ ПД-14 на Ил-76ЛЛ №0807 с применением управляемого эксперимента представлена на рисунке 9.

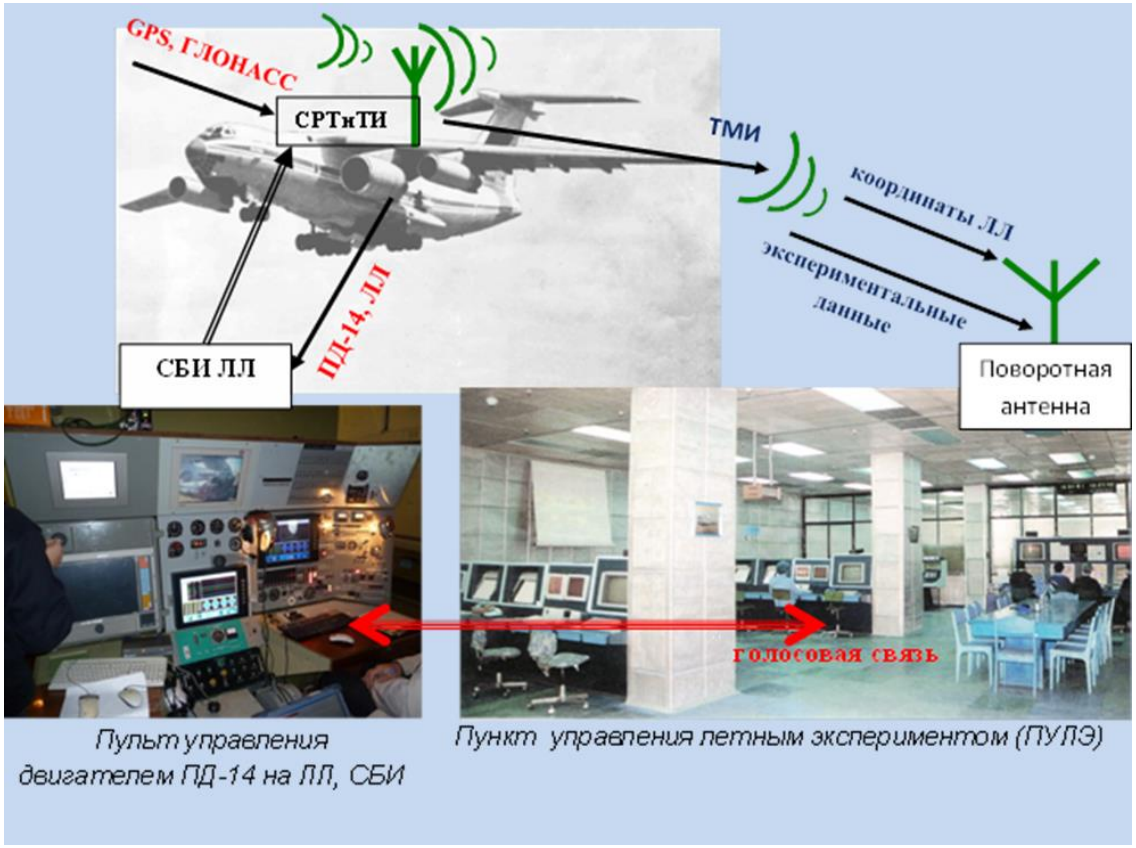

Рисунок 9. Структура взаимодействия инженеров-испытателей на борту ЛЛ с бригадой анализа на ПУЛЭ

11. Система продувки сканеров давлений

Система продувки сканеров предназначена для исключения образования конденсата/кристаллизации, обеспечивающую подачу сухого азота с давлением выше значения давления измеряемой воздушной среды.

Конструктивно система включает в себя трубопроводы, вентили зарядки и расхода, редуктор, обратные клапаны и элементы управления. Подача азота к сканерам производится посредством электропневмоклапанов. В багажном отсеке (под полом грузовой кабины) установлены 2 баллона азотной системы продувки сканеров емкостью по 25литров.

Трубопровод системы азотной продувки проложен из багажного отсека через грузовую кабину, носок крыла, пилон подвески и подключается через коллектора в гондоле к сканерам.

Управление производится с основного пульта в грузовой кабине.

12. Система видеонаблюдения за ДУ ПД-14

Система видеонаблюдения является неотъемлемой частью информационно-измерительной системы (ИИС) Ил-76ЛЛ с ДУ ПД-14. Система видеонаблюдения предназначена для непрерывного визуального контроля и регистрации состояния и поведения ДУ ПД-14 во время проведения эксперимента на земле и в полете на Ил-76ЛЛ.

ЛЛ оборудована системой видеонаблюдения с 3-мя основными видеокамерами, направленных на входное устройство и вентилятор, мотогондолу (правая сторона по полету) и выходные устройства наружного и внутреннего контура, (Рисунок 10).

Система обеспечивает вывод видеоинформации со всех видеокамер в реальном масштабе времени и синхронизирована с ИИС, сохраняет накопленную информацию с возможностью оперативного воспроизведения необходимого участка записи.

Рисунок 10. Размещение видеокамер на левом борту Ил-76ЛЛ

2. Проведение первого этапа летных испытаний ДУ ПД-14

Двигатель ПД-14 № 100-07 (015) успешно прошёл первый этап летных испытания в условиях наземных гонок и высотно-скоростных условиях в составе силовой установки на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ №0807 с самолетным воздухозаборником по программе 100-00-800ПМ100 и разработанными на её основании рабочими программами ЛИИ № 25/2015 и № 26/2015 «Летные испытания двигателя ПД-14 № 100-07 на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ № 0807(первый этап)».Испытания проводились в период с 22 октября 2015 года по 03 декабря 2015 года. Пырвый вылет Ил-76ЛЛ №0807 с ДУ ПД-14 был выполнен 30 октября 2015 года.

Было выполнено 9 полетов, 2 скоростные пробежки, 8 наземных отработок (гонок).

Общая наработка ПД-14 составила 18 ч. 42 мин, из них 13 ч. 02 мин в высотно-скоростных условиях, в том числе на режимах авторотации 7 мин 30 сек.