

Приложение 3
к заявке на участие в конкурсе
«Авиастроитель года» 2017

КОНСУРСНАЯ РАБОТА
на тему «**Создание летающей лаборатории для летных испытаний
опытной силовой установки в составе ТВД ТВ7-117СТ и
воздушного винта АВ-112»**

Введение

В настоящее время выполняется подготовка к первому вылету и начальному этапу летных испытаний опытного образца военно-транспортного самолета (ВТС) Ил-112В, силовая установка которого включает в себя турбовинтовой двигатель (ТВД) ТВ7-117СТ серии 1 и воздушный винт АВ-112.

В обеспечение первого вылета и начала летных испытаний указанного ВТС его силовая установка (согласно принятой в России технологии создания авиационной техники) должна быть проверена на всех базовых эксплуатационных режимах его работы в ожидаемых условиях эксплуатации (запуски в наземных и летных условиях, ХП, ЗМГ, ПМГ и др.). Для проведения таких испытаний в 2017 г. в АО «ЛИИ им. М.М. Громова» в течение шести месяцев была подготовлена летающая лаборатория на базе транспортного самолета Ил-76МД №3908, на которой вместо штатной силовой установки №2 на специальном пилоне была установлена мотогондола с опытным двигателем и воздушным винтом.

Впервые в практике отечественного самолетостроения в течение 10 месяцев была создана и введена в строй летающая лаборатория, а также проведен первый этап летных испытаний опытной силовой установки перспективного ВТС в объеме 11 полетов. Период оборудования и подготовки к летным испытаниям воздушных судов класса для летных испытаний опытных ГТД занимает срок от двух до трех лет.

Для обеспечения работы опытной СУ на ЛЛ дополнительно к штатным были установлены экспериментальные системы: управления двигателем, противопожарная система, система бортовых измерений, система видеонаблюдения и визуального контроля, система передачи информации на наземный пункт управления летным экспериментом (ПУЛЭ), система воздушного запуска, топливная система, система отбора воздуха, система измерения деформаций вращающихся элементов ТВД и ВВ, системы генерирования э/энергии и загрузки генератора.

После окончания оборудования ЛЛ были выполнены пуско-наладочные работы по отладке бортового экспериментального оборудования, две скоростные пробежки, полет ЛЛ в рамках программы ЛИ ее ввода в строй и первый этап ЛИ опытной СУ в объеме одиннадцати полетов.

1. Летающая лаборатория Ил-76ЛЛ №3908 с опытной СУ в составе ТВ7-117СТ и ВВ АВ-112 и экспериментальные системы

Универсальная летающая лаборатория создана на базе самолета Ил-76 №3908 (регистрационный №RA76472) и предназначена для летных испытаний силовой установки с ТВД ТВ7-117 и ВВ АВ-112. (Рисунок 1).

Летающая лаборатория Ил-76ЛЛ №3908 позволяет испытывать двигатель СУ ВТС Ил-112В в полетных условиях, соответствующих заданным условиям эксплуатации целевого самолета за исключением ограничения по минимальной скорости полета:

- высота полета – до 8000 м;
- приборная скорость $V_{пп} = 280 \dots 550$ км/ч на высотах $H \leq 8000$ м;
- число M_p $\leq 0,55$;
- вертикальная перегрузка N_y $-0,3 \dots 2,0$;
- максимальные углы атаки и крена $+15^0 / \pm 30^0$.

Взлет и посадка ЛЛ осуществляются как с неработающей, так и с работающей опытной СУ.



Рисунок 1. Летающая лаборатория Ил-76ЛЛ №3908 с опытной СУ в составе ТВД ТВ7-117СТ и ВВ АВ-112.

Для обеспечения работы опытной СУ были созданы и адаптированы для Ил-76ЛЛ №3908 следующие экспериментальные системы:

1.1. Система подвески мотогондолы с опытной СУ на крыле.

Включает в себя пylon ТРДД ПС-90, установленный на силовые узлы подвески пилона штатной СУ №2, специально изготовленные узлы крепления мотогондолы и обтекателей (носовой, средний и хвостовой), (Рис. 2).

Обтекатели (рис. 3, 4) изготовлены с учетом расположением внутри них трубопроводов экспериментальных систем воздушного запуска, отбора воздуха, топливной, пожарной систем и электропроводки экспериментального оборудования и системы измерения параметров опытной СУ.



Рисунок 2. Схема подвески мотогондолы с опытной СУ на крыле Ил-76ЛЛ



Рисунок 3. Коммуникации экспериментальных систем в пилоне опытной СУ №2 (со снятыми обтекателями).



Рисунок 4. Трубопровод подачи хладагента в МГ, датчики измерения давления и температуры топлива на входе в МГ, заслонка системы воздушного запуска.

1.2. Топливная система.

Топливная система Ил-76ЛЛ №3908 обеспечивает принудительную подачу топлива с заданным давлением и потребным расходом от подкачивающих топливных насосов ЛЛ к ТВД ТВ7-117СТ на всех режимах его работы во всем диапазоне высот и скоростей полета ВТС Ил-112В. 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. На границе раздела интерфейсов «пилон-мотогондола» в системе подачи топлива к опытной СУ установлены датчики измерения параметров топлива (рисунок 4).

1.3. Система воздушного запуска.

На двигателе ТВ7-117СТ установлена воздушная система запуска. Раскрутка ротора турбокомпрессора двигателя осуществляется воздушным стартером СВ-65, установленным на нижней коробке приводов двигателя ТВ7-117СТ. Воздух к стартеру подается или от вспомогательной силовой установки, или от аэродромного источника сжатого воздуха, или системы подачи сжатого воздуха ЛЛ через теплоизолированный трубопровод, расположенный в пилоне опытной СУ (рисунок 3). Величина давления при подаче воздуха на стартер должна составлять не менее $2.1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ при открытом положении перекрывной заслонки

(рисунок 4) в системе подвода сжатого воздуха. Элементы управления и индикации параметров системы расположены на основном пульте ведущего инженера. Управление процессом запуска – электромеханическое.

Система воздушного запуска обеспечивает запуск опытной СУ в земных и летных условиях до высот полета $H_{П}=6$ км, 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 воздушного запуска перед перекрывной воздушной заслонкой (рис. 4) установлены датчики измерения давления и температуры воздуха на границе раздела интерфейсов «пилон-мотогондола».

1.4. Система пожарной защиты опытной силовой установки

Пожарная защита включает в себя системы пожарной сигнализации, тушения и контроля.

Система пожарной сигнализации создана на базе аппаратуры СПС-ЗГ с 6-ти канальным исполнительным блоком БИ-06Г и 18 термобатарейными сигнализаторами типа УСП-3, установленными в мотогондоле с учетом направлений ее обдува охлаждающим воздухом. Исполнительный блок БИ06Г установлен в грузовой кабине и подключен к исполнительным блокам пожарной сигнализации носителя. Штатная противопожарная система 2-й силовой установки отключена.

Система пожаротушения состоит из трех штатных огнетушителей типа 2-16-5, используемых по одному в три очереди тушения и подключенных к системе перфорированных трубопроводов – распылительных коллекторов в мотогондоле.

Средства пожарной сигнализации и контроля работы противопожарной системы опытной СУ №2 представлены светосигнализаторами, табло, кнопками, выключателями на панели пульта бортинженера в кабине пилотов (рисунок 5) и на панели пульта ведущего инженера в грузовом отсеке.



Рисунок 5. Панель управления средствами пожарной защиты опытной СУ на пульте бортинженера

1.5. Система электроснабжения опытной СУ и экспериментальных систем

Система электроснабжения экспериментального опытной СУ используется для обеспечения электропитанием экспериментальных систем опытной СУ:

- схемы управления, контроля и регулирования;
- схем запуска;
- схем электропитания самолётных систем, обеспечивающих работу опытной СУ;
- систем бортовых измерений (СБИ).

На Ил-76ЛЛ для электроснабжения опытной СУ 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 должна составлять не более 25,4 кВт.

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

- **27В ($\pm 10\%$)** постоянного тока (выпрямительные устройства, аккумуляторные батареи (резервный источник) и от аварийной бортовой сети)
- **115В, 400Гц** переменного однофазного тока (преобразователи ПО-1500).
- **200/115В, 400Гц** переменного трехфазного тока (от бортовой сети).
- **220В, 50 Гц** переменного тока (преобразователи 127/220,50Гц, 115В,400Гц/220В,50Гц)
- **36В, 400 Гц** переменного трехфазного тока (трансформатор 115/36В,400Гц от ПО-1500, преобразователь постоянного тока 27В в 36В,400Гц).
- **6В** постоянного тока.

1.6. Система электрозвагрузки генератора опытной СУ.

Система загрузки генератора предназначена для испытаний опытной СУ перспективного ВТС Ил-112В в условиях ее вероятной работы на целевой самолете, включая все потребные отборы мощности и воздуха на самолетные системы (за исключением отборов мощности на г/системы самолета). Предназначена для подключения нагрузки различных номиналов к генератору переменного тока ГТ40П48Б 40 кВА, установленного на двигателе ТВ7-117СТ; включается кратковременно на земле и продолжительно в полете с пульта ведущего инженера в грузовом отсеке ЛЛ.

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. Длительное включение системы производится только в полете. Кратковременно до 30 с. возможно включение в земных условиях.

1.7. Система отбора воздуха от турбокомпрессора двигателя.

Система отбора воздуха от ТВД ТВ7-117СТ в систему СКВ ВТС Ил-112В включает в себя патрубок и мерный участок с установленными в нем датчиками измерения полного и статического давлений и температуры отбиаемого воздуха от турбокомпрессора (Рисунок 6).

Параметры отбиаемого воздуха:

- расход, не более 0.2 кг/с;
- давление на режиме МВзл ($H=0$, $M_p=0$, $t_h=+40$) 4.6 кг/см²;
- максимальная температура на режиме МВзл 275 С.

Органы управления и приборы контроля системы размещены на инженерном пульте. Оценка функционирования системы осуществляется с помощью световой сигнализации о включениях отсечного клапана. Отбиаемый воздух после прохода через элементы системы измерения расхода (мерный участок) отбора воздуха сбрасывается в атмосферу через патрубок (Рисунок 6).



Рисунок 6 Система отбора воздуха от турбокомпрессора двигателя.

Система отбора воздуха на обогрев входной обечайки двигателя (ПОС воздухозаборника) является штатной принадлежностью двигателя, поэтому создание дополнительной экспериментальной системы ЛЛ не потребовалось. Ее включение и выключение производится автоматически по команде от блока автоматического регулирования и контроля двигателя (БАРК).

1.8. Система управления и контроля параметров работы опытной СУ на рабочих местах инженеров-испытателей грузовой кабине ЛЛ и в кабине пилота.

Система управления и контроля опыта СУ, установленным на месте штатной силовой установки № 2 Ил-76ЛЛ, предназначена для задания и контроля параметров его работы в ожидаемых условиях эксплуатации. Управление и контроль двигателем осуществляется с установленных в грузовой кабине Ил-76ЛЛ пультов ведущих инженеров (Рисунок 7).



Рисунок 7 Пульты управления и контроля опытной СУ в грузовом отсеке ЛЛ.

На пультах ведущих инженеров установлены РУД и панель управления запуском (Рисунок 8).

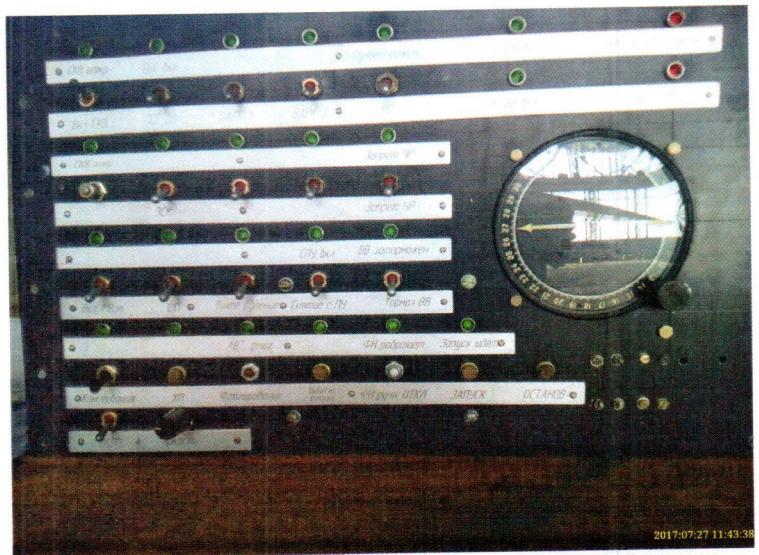
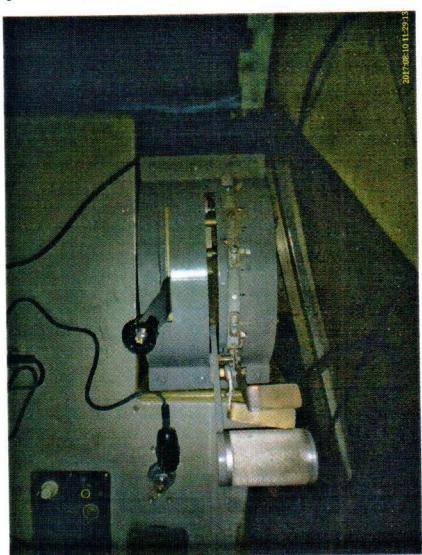


Рисунок 8 РУД (слева) и панель запуска (справа) опытной СУ на пульте управления и контроля ведущего инженера

Первый летчик может взять управление опытной СУ с помощью штатного РУД второй силовой установки Д-30КП (Рисунок 9 слева). Для принудительного отключения РУД СУ №2 экспериментаторов на рабочем месте командира экипажа установлен пульт управления механизмом расцепа (Рисунок 9 справа).

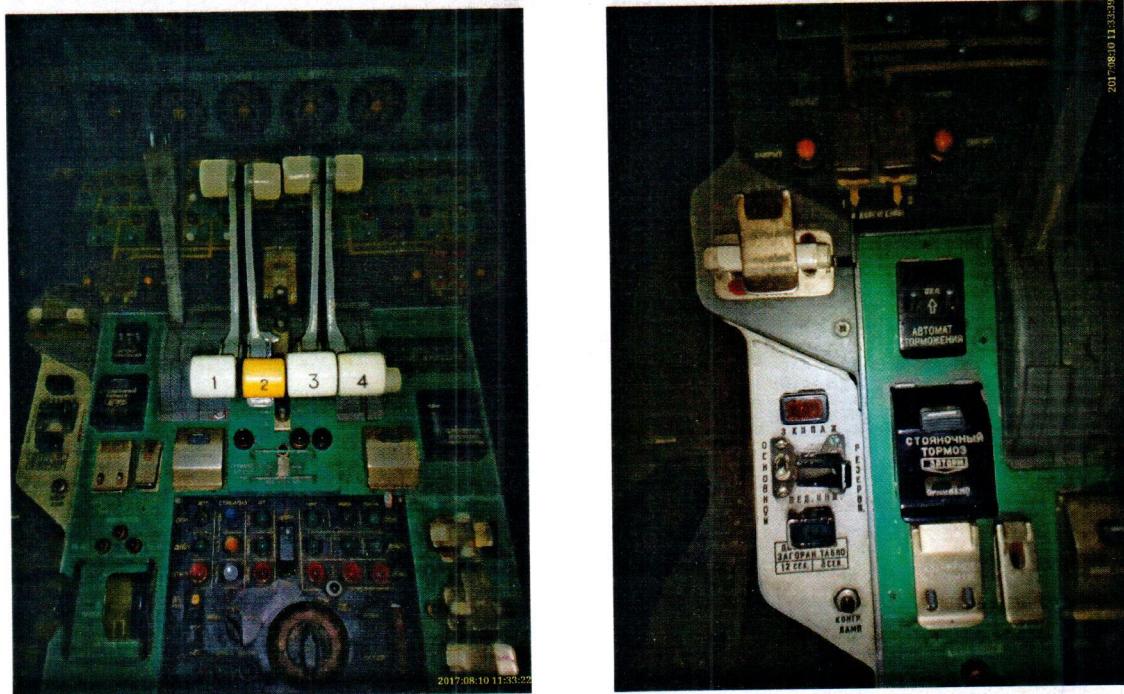


Рисунок 9 Штатная колонка РУДов Ил-76ЛЛ и РУД опытной СУ №2 в кабине пилотов (слева) и управление механизмом расцепа с рабочего места командира экипажа (справа)

На приборной доске экспериментаторов в кабине пилотов установлены визуальные указатели оборотов, давления масла и температуры газа за турбиной опытной СУ (Рисунок 10).

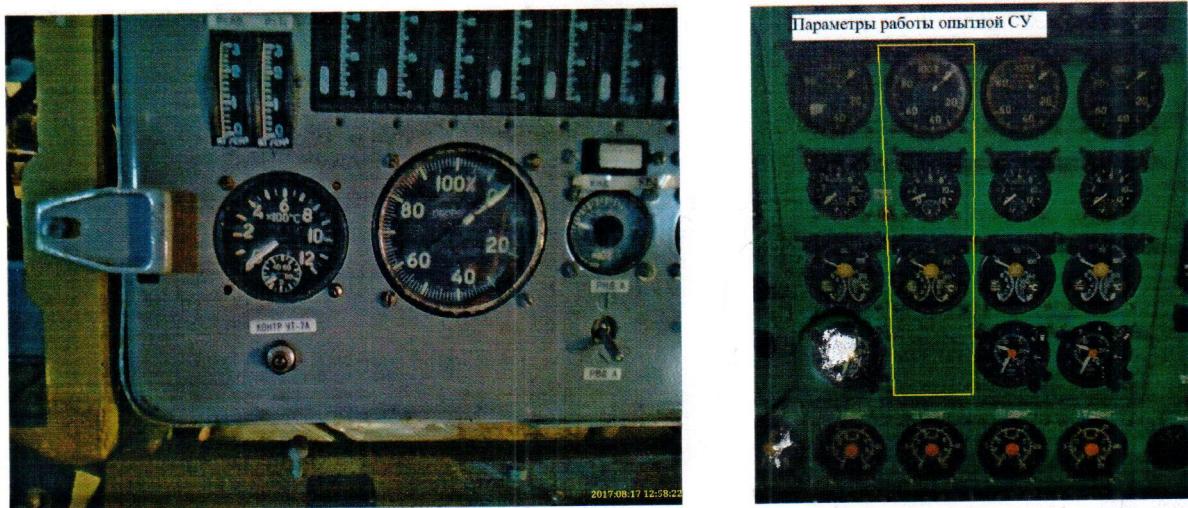


Рисунок 10. Резервные указатели параметров работы опытной СУ на пульте ведущего инженера (слева) и в кабине пилота (справа).

Мониторинг параметров работы опытной силовой установки и экспериментальных систем ЛЛ осуществляется с рабочих мест ведущих инженеров. Рабочие экраны для мониторинга представлены на рисунке 11.

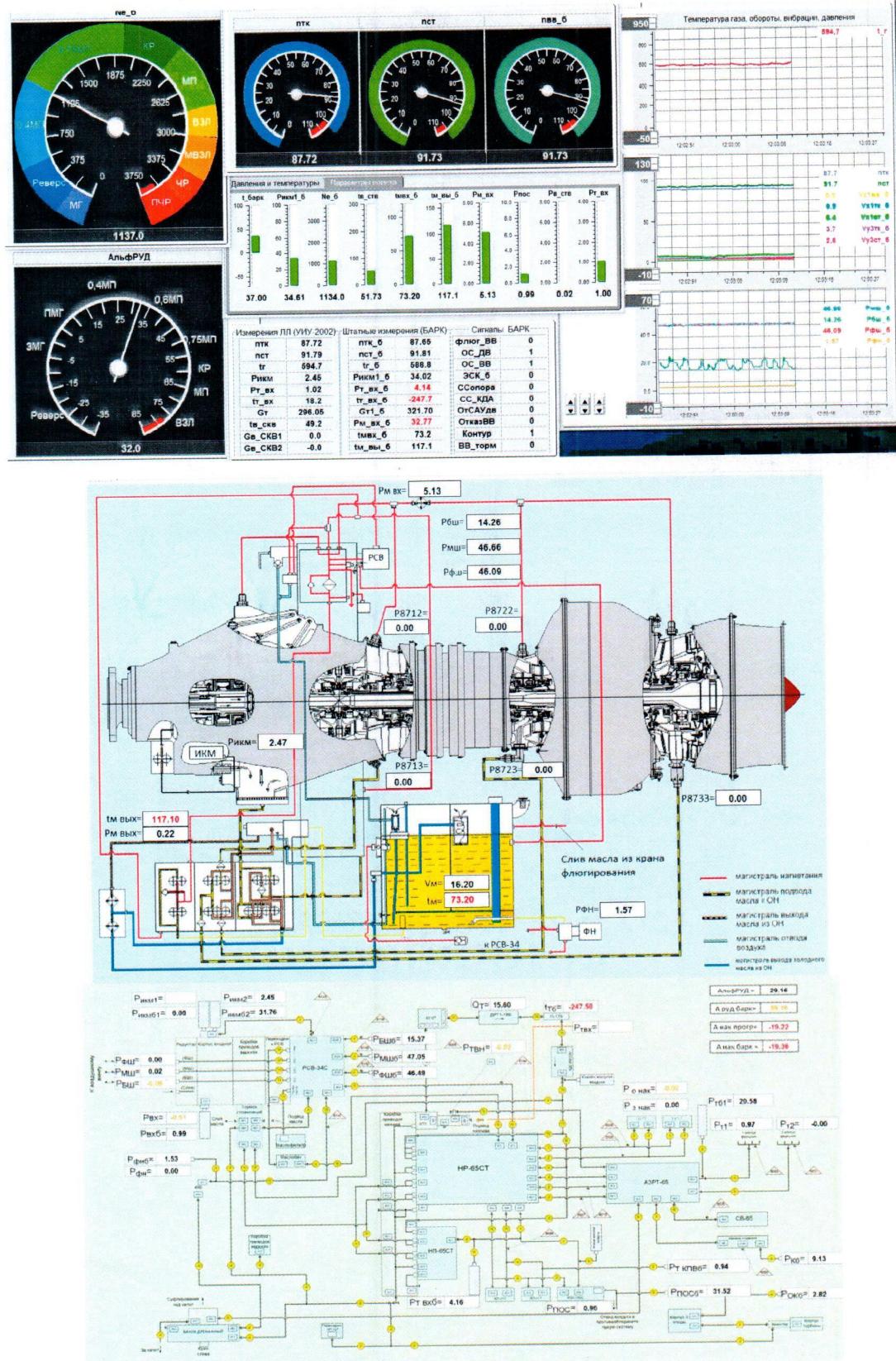


Рисунок 11 Примеры рабочих экранов для мониторинга параметров работы опытной СУ и экспериментальных систем ЛЛ с рабочих мест бортоператоров.

1.9 Информационно-измерительная система.

Информационно-измерительная система (ИИС) предназначена для измерения, регистрации и мониторинга параметров ТВД ТВ7-117СТ, ВВ АВ-112, параметров полета ЛЛ, параметров работы экспериментальных систем, а также хранения, передачи результатов измерения в темпе испытания по цифровым каналам связи для проведения вторичной обработки (Рисунок 12).

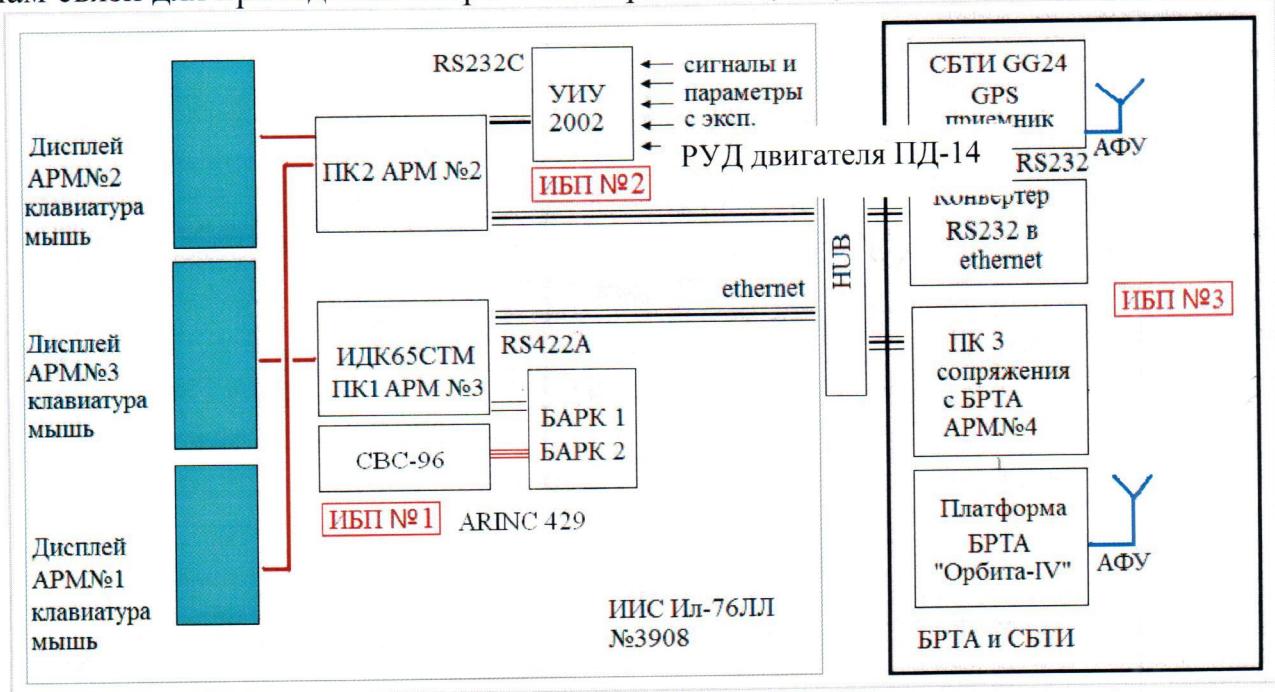


Рисунок 12 Информационно-измерительная система Ил-76ЛЛ №3908

ИИС включает в себя:

- Персональные компьютеры ПК№1 (ИДК-65СТМ) и ПК№2;
- Устройство информационно-управляющее УИУ-2002 разработки ООО «Парк-Центр»;
- Цифровой регулятор двигателя БАРК (основной и резервный каналы) САУ-65СТМ;
- Источники бесперебойного питания ИБП №1 и ИБП №2;
- Систему воздушных сигналов CBC-96;
- Систему бортовых траекторных измерений (СБТИ) и бортовую радиотелеметрическую аппаратуру БРТА.

Все блоки ИИС объединены в локальную вычислительную сеть Ethernet через коммутатор HUB.

Информационно-диагностический комплекс ИДК-65СТМ (ПК№1) предназначен для выполнения контрольно-проверочных функций и относится к штатным средствам контроля ТВ7-117СТ.

ПК2 принимает следующую входную информацию:

- от устройства ИУИ 2002 по интерфейсу RS232C;

- от ПК1 данные каналов 1,2 БАРК САУ-65СТМ по интерфейсу Ethernet (протокол UDP);
- от преобразователя интерфейса RS232 в Ethernet информацию СБТИ GG-24 (протокол UDP).

Системы БРТА и СБТИ (рис. 12) включают в себя:

- платформу БРТА с комплектом приборов передающей бортовой радиотелеметрической аппаратуры «Орбита-IV»;
- персональный компьютер сопряжения с БРТА (ПК3);
- передающее антенно-фидерное устройство АТШ-М2;
- СБТИ на базе приемника СНС GG-24 и приемной антенны;
- конвертор интерфейса RS232 в Ethernet;
- ИБП №3.

ПК2 формирует из принятых данных единый UDP пакет фиксированного размера для выдачи в ПК3 сопряжения с БРТА с постоянной частотой.

ПК3 сопряжения с БРТА осуществляет передачу принятых от ПК2 UDP пакетов в аппаратуру «Орбита-IV» для трансляции на наземный приемный пункт.

Наземный приемный пункт включает в себя:

- приемное антенно-фидерное устройство ХМ-М2;
- приемную телеметрическую станцию МПРС;
- концентратор ЛВС (HUB);
- ПК целеуказания и восстановления UDP пакетов.

Станция МПРС принимает телеметрическую информацию, переданную с борта ЛЛ ИЛ-76. Принятая информация по ЛВС через концентратор HUB передается в ПК целеуказания для восстановления UDP пакетов с данными бортовых измерений и формирования целеуказаний для наведения приемной телеметрической антенны. Восстановленные UDP пакеты передаются в ПУЛЭ по локальной вычислительной сети ЛИИ.

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.

1.10 Система видеонаблюдения за опытной СУ

Система видеонаблюдения предназначена для непрерывного визуального контроля и регистрации состояния и поведения опытной СУ во время проведения эксперимента на земле и в полете на Ил-76ЛЛ.

На ЛЛ установлена система видеонаблюдения с 2-мя видеокамерами, направленных на воздушный винт выходное устройство двигателя.

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

1.11 Система измерения статических и динамических деформаций вращающихся элементов ТВД и ВВ.

Предназначена для измерения, регистрации и последующей послеполетной обработки экспериментальной информации о динамических и статических деформациях вращающихся элементов воздушного винта (лопастей и элементов втулки) и двигателя (выводного вала). Предварительно на «критических» элементах силовой установки были закреплены тензорезисторы. Ввод, измерение, предварительное преобразование и регистрация величин напряжений осуществляется в системе контрольно-измерительной Агат-20А производства НПП «» Республики Молдова, установленной на втулке воздушного винта (Рисунок 13).



Рисунок 13 СКИ «Агат-20А», установленная на втулке несущего винта АВ-112 (кок снят).

Данная система является полностью автономной, запитывается от встроенного аккумулятора и позволяет регистрировать до 32 каналов измерения статических и динамических деформаций элементов воздушного винта и двигателя без потерь на протяжении всего испытательного полета (до 4-х часов).

2. Проведение первого этапа летних испытаний опытной СУ

Силовая установка в составе турбовинтового двигателя ТВ7-117СТ и воздушного винта АВ-112 успешно прошла первый этап летных испытания в условиях наземных гонок и высотно-скоростных условиях в составе силовой установки на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ №3908 по рабочей программе летных испытаний № 19/2017 «Лётные испытания по вводу в строй летающей лаборатории Ил-76 № 3908 с опытным двигателем ТВ7-117СТ № К2600016004 и воздушным винтом АВ112-К01 № 1340217004». Испытания проводились в период с 1 сентября 2017 года по 08 декабря 2017 года. Первый вылет Ил-76ЛЛ №3908 с опытной СУ был выполнен 05 сентября 2017 года.

Было выполнено 11 полетов, 2 скоростные пробежки, 20 наземных отработок (гонок). Общая наработка опытной СУ составила 25 ч. 42 мин, из них 13 ч. 02 мин в высотно-скоростных условиях.