

УДК 681.586

А.Г. БУРЯЧЕНКО, Г.С. РАНЧЕНКО, С.М. РЯБОКОНЬ

АО «Элемент»

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ Д-436-148 САМОЛЕТА Ан-148

Описаны работы по увеличению ресурса системы измерения давления СИД-3-148, включая анализ результатов эксплуатации и проведение эквивалентно-циклических испытаний по специально разработанной программе, предусматривающей автоматизированное ведение записи базы данных. Приведены результаты исследования характеристик прецизионных измерительных каналов СИД-3-148 в условиях длительного воздействия внешних дестабилизирующих факторов. Показаны методы обеспечения точности указанных каналов не хуже $\pm 0,15\%$ в диапазоне температур от минус 40 до + 85 °С в течение заданного ресурса, базирующиеся на выборе комплектующих, построении схем компенсации ряда составляющих погрешности и обеспечении стабильности технологического процесса изготовления, включая методику градуировки и проверки СИД-3-148.

Ключевые слова: погрешность измерений, измерительный канал, ресурс, эквивалентно-циклические испытания.

Введение

Двухканальная система измерения давления СИД-3-148 (рис. 1), разработанная в АО «Элемент» по техническому заданию ГП «Ивченко–Прогресс», входит в комплектацию двигателя Д-436-148 и является подсистемой его САУ. Система СИД-3-148 обеспечивает измерение давления на входе в двигатель $P_{вх}$ и давления за компрессором высокого давления $P_{к}$ (заданные пределы погрешности – $\pm 1\%$ от измеряемого значения), формирование сигнала о помпаже, а также вычисление отношения:

$$\pi_{к\Sigma} = P_{к} / P_{вх}$$

и передачу информации о нем в системы самолета.

Предприятие-разработчик – АО «Элемент» – является одновременно и изготовителем серийно выпускаемой системы СИД-3-148.

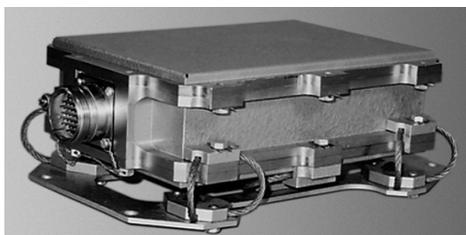


Рис. 1. Двухканальная система измерения давления СИД-3-148

1. Формулирование проблемы

К 2007 году система СИД-3-148 успешно прошла все необходимые испытания с присвоением КД

литеры «О1» и по окончании сертификационных испытаний в составе самолетов Ан-148-100 № 01-01 и № 01-02 [1] имела суммарную наработку на борту около полутора тысяч часов и следующие ресурсные показатели:

- до первого капитального ремонта (межремонтный) – 3000 ч;
- начальный назначенный – 6000 ч.

Однако уже в первые годы эксплуатации самолета актуальной стала задача увеличения ресурсных показателей комплектующих изделий и, в частности, доведения указанных выше ресурсов СИД-3-148 до значений 12000 и 40000 ч соответственно.

Эта задача была обусловлена необходимостью обеспечения бесперебойной эксплуатации самолета в течение заданного времени.

2. Решение проблемы

Для решения поставленной задачи была разработана программа поэтапного увеличения ресурсных показателей СИД-3-148, согласующаяся с принятой стратегией управления ресурсами двигателя, учитывающая требования [2] и включающая следующие основные работы:

- анализ технического состояния находящихся в эксплуатации образцов СИД-3-148;
- оценка комплектующих и структуры СИД-3-148 на предмет возможности увеличения ресурсных показателей на базе выполненного ранее расчета надежности;

– разработка мероприятий по оценке и совершенствованию технологического процесса изготовления СИД-3-148;

– разработка Программы и методик эквивалентно-циклических испытаний для подтверждения ресурса до первого капитального ремонта (межремонтного) 12000 ч и назначенного ресурса 40000 ч;

– проведение эквивалентно-циклических испытаний (ЭЦИ).

Анализ технического состояния СИД-3-148, находящихся в эксплуатации, выполненный на первом этапе для четырех образцов, обеспечивших сертификационные испытания самолета, подтвердил стабильность характеристик, в т.ч. метрологических, в течение двух-трех лет с даты последней градуировки (корректировки погрешностей). На рис. 2 приведены результаты проверки СИД-3-148 №0402 через 3 года после градуировки – зависимость погрешности от измеряемого давления в диапазоне температур от минус 40 до +85 °С. Показанный на графиках уровень погрешностей – менее $\pm 0,15\%$ от верхнего предела измерений (ВП), что соответствует $\pm 1\%$ от измеряемого значения (ИЗ) – типичен для всех измерительных каналов проверенных образцов.

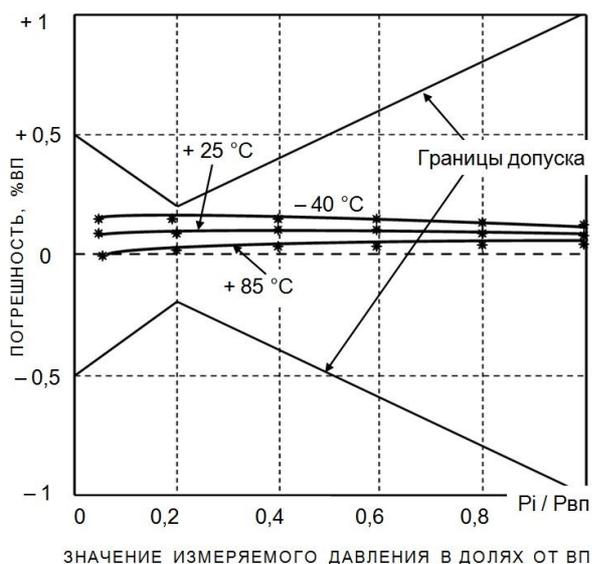


Рис. 2. СИД-3-148 №0402. Типичные характеристики измерительных каналов в диапазоне рабочих температур через 3 года после градуировки

Следует отметить, что достоверность результатов измерений обеспечивается использованием рабочих эталонов давления, погрешность которых не превышает пределов $\pm 0,05\%$ ИЗ и $0,025\%$ ВП, например, таких как манометры грузопоршневые МП, измерители давления специальные ИДС-1, манометр цифровой DPI 800P.

Описанные выше результаты проверки продемонстрировали стабильность метрологических ха-

рактеристик каналов измерения давления в течение относительно длительного времени эксплуатации и тем самым подтвердили правильный выбор разработчиками, как первичных преобразователей давления (это датчики АРТ-327 производства фирмы Kulite, США), так и структуры измерительного канала в целом.

Критерии выбора и результаты исследования первичных преобразователей описаны в [3], структура канала и алгоритм обработки сигнала, обеспечивающие компенсацию дополнительных погрешностей – в [5]. Технология изготовления СИД-3-148 предусматривает градуировку системы совместно со встроенными первичными преобразователями (датчиками) давления и последующую проверку системы при выпуске из производства (на приемосдаточных испытаниях) в диапазоне давлений и рабочих температур.

Результаты приемосдаточных испытаний за весь период выпуска демонстрируют стабильно низкие показатели погрешностей с хорошим технологическим запасом и с минимальным разбросом от экземпляра к экземпляру, что дало право сделать вывод об отработанности процесса изготовления.

Что касается вероятности катастрофических отказов, то во-первых, предварительный расчет, выполненный по наиболее жесткому варианту – по λ-методу [6] – подтвердил заданные показатели безотказности, а во-вторых, система СИД-3-148 является двухканальной (рис. 3), т.е. предусмотрено резервирование функций и переход на резервный канал в случае отказа основного.

Таким образом, предварительная оценка результатов экспериментальных исследований изделий, а также теоретических предпосылок позволила прогнозировать возможность увеличения ресурсных показателей системы СИД-3-148.

Разработка Программы ЭЦИ была выполнена на базе существующей нормативной документации, такой как [2, 7] и др., кроме того, при разработке Программы были учтены результаты вибрографирования места установки СИД-3-148 на двигателе. Была разработана и согласована с ГП «Ивченко–Прогресс» Программа, предусматривающая соотношение значений эквивалентной и календарной наработок равное 7,5 и включающая следующие воздействия:

- ударные нагрузки;
- вибрационные нагрузки;
- комбинированное воздействие повышенной влажности при повышенной температуре и включении-выключении питания;
- пониженная температура;
- комбинированное воздействие повышенной температуры и включения-выключения питания.

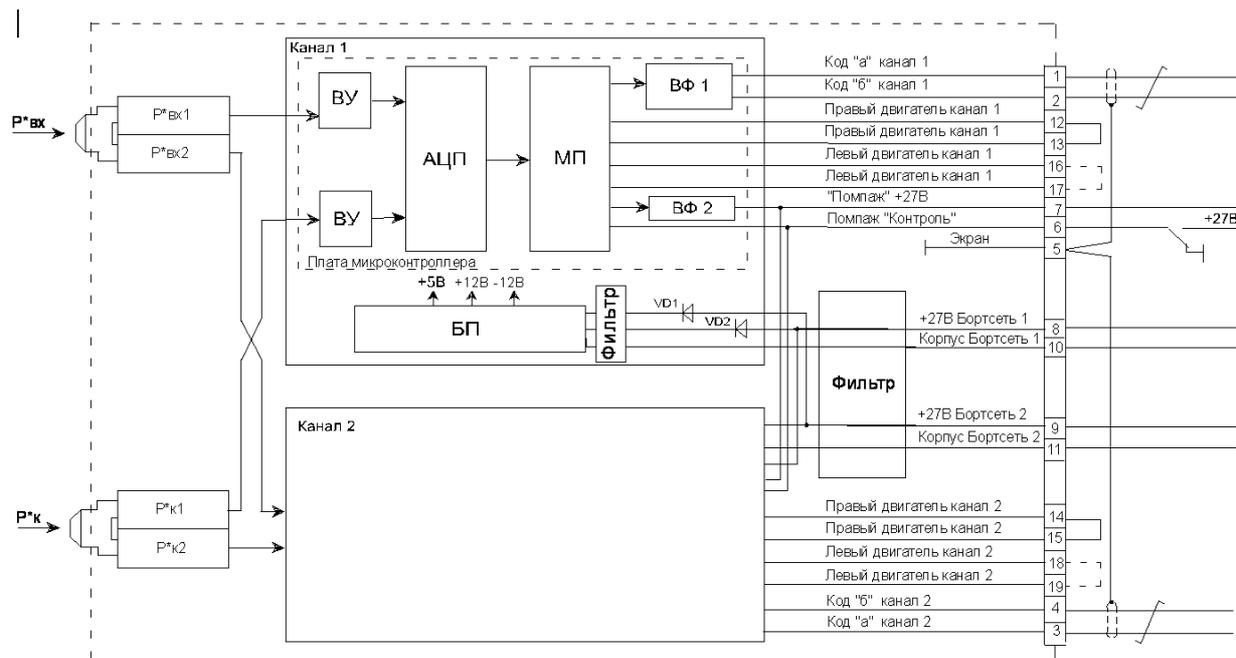


Рис. 3. Структурная схема двухканальной системы СИД-3-148

С целью накопления массива статистических данных по ЭЦИ было разработано специальное устройство записи баз данных, позволяющее постоянно отслеживать на экране компьютера показания измерительных каналов СИД-3-148 и вести запись.

ЭЦИ были начаты в октябре 2011 г. на двух образцах системы СИД-3-148.

К концу февраля 2012 г. была достигнута эквивалентная суммарная наработка 16711 ч при отсутствии отказов и сбоев работе испытываемых образцов системы СИД-3-148, что в этих условиях соответствует приемочному значению наработки, предусмотренному согласно Программе ЭЦИ для подтверждения требуемого ресурса до первого капитального ремонта (межремонтного) 12000 ч.

Приемочное значение эквивалентной суммарной наработки для подтверждения назначенного ресурса 40000 ч, вычисленное в предположении отсутствия отказов, составляет 56000 ч.

В настоящее время испытания продолжают для подтверждения заданного назначенного ресурса 40000 ч, причем эквивалентная суммарная наработка превысила две трети необходимого значения без отказов и сбоев и составляет около 35000 ч.

За истекшее время испытаний не только не наблюдалось ни одного катастрофического отказа, но подтвердилась весьма высокая стабильность метрологических характеристик обоих образцов.

На всем протяжении ЭЦИ при периодических проверках погрешности по каналам R_k и $R_{вк}$ не превысили $\pm 0,15\% \text{ВП}$ в диапазоне давлений, что означает не более $\pm 0,1\% \text{ИЗ}$ для начального участка диапазона (для $R_i/R_{вп} = 0,2 \dots 0,4$) и не более

$\pm(0,15 \dots 0,3)\% \text{ИЗ}$ для значений R_i , превышающих 0,4 от $R_{вп}$ (типичная характеристика соответствует приведенной на рис. 2).

Заключение

По результатам первого этапа эквивалентно-циклических испытаний интеллектуальной системы измерения давления СИД-3-148 двигателя Д-436-148 самолета Ан-148 подтвержден ресурс до первого капитального ремонта (межремонтный) 12000 ч по условию достижения линии соответствия в отсутствии отказов.

Результаты периодических проверок погрешностей каналов измерения давления СИД-3-148 за период достижения суммарной эквивалентной наработки около 35000 ч подтвердили долговременную стабильность метрологических характеристик измерительных каналов, в состав которых входят датчики давления АРТ-327 производства фирмы Kulite (США), при уровне погрешностей канала не более $\pm 0,15\% \text{ВП}$ (или $\pm 1\% \text{ИЗ}$) в диапазоне рабочих температур от минус 40 до плюс 85 °С.

Литература

1. Опыт и результаты сертификационных испытаний интеллектуальной системы измерения давления двигателя Д-436-148 самолета Ан-148 [Текст] / В.М. Грудинкин, А.Г. Бурыченко, В.Ф. Миргород, М.В. Драпак // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 7 (43). – С. 18 – 22.
2. Временное положение об установлении и увеличении ресурсов и сроков службы газотурбин-

ных двигателей гражданской авиации, их агрегатов и комплектующих изделий [Текст]. – М.: ЦИАМ, 2006.

3. Критерии и результаты оценки надежности датчиков давления для авиационных двигателей [Текст] / А.Г. Буряченко, Н.П. Волошина, Г.С. Ранченко, Ж. Деклама // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2004. – №7 (15). – С. 158 – 161.

4. Буряченко, А.Г. Опыт использования датчиков давления фирмы Kulite [Текст] / А.Г. Буряченко, Н.П. Волошина, Г.С. Ранченко // *Датчики и системы*. – 2004. – №11. – С. 38 – 40.

5. Буряченко, А.Г. Технические и алгоритмические средства повышения метрологического уровня и надежности датчиков и систем измерения давления [Текст] / А.Г. Буряченко, В.М. Грудинкин //

Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – №8 (24). – С. 195 – 199.

6. Буряченко, А.Г. Испытательная база и методическое обеспечение испытаний ответственных изделий авиационной техники [Текст] / А.Г. Буряченко, Г.С. Ранченко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – №4 (51). – С. 75 – 78.

7. ДСТУ 2862-94 *Надежность в технике. Методы расчета показателей надежности. Общие требования*. – К.: Изд во стандартов, 1994. – 39 с.

8. ГОСТ 27.410-87 *Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность*. – М.: Стандартгиз, 1988. – 108 с.

Поступила в редакцию 22.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Положаенко, Одесский национальный политехнический университет, Одесса.

ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ У ДВИГУНІ Д-436-148 ЛІТАКУ Ан-148

А.Г. Буряченко, Г.С. Ранченко, С.М. Рябоконт

Описано роботи що до збільшення ресурсу системи вимірювання тиску СІД-3-148, включаючи аналіз результатів експлуатації та проведення еквівалентно-циклічних випробувань за спеціально розробленою програмою, що передбачає автоматизоване ведення запису баз даних. Наведені результати дослідження характеристик прецизійних вимірювальних каналів СІД-3-148 в умовах довгострокового впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів. Показано методи забезпечення точності вказаних каналів не гіршої за $\pm 0,15\%$ у діапазоні температур від мінус 40 до + 85 °С на протязі заданого, що базуються на виборі комплектуючих, побудові схем компенсації ряду складаючи похибки та забезпеченні стабільності технологічного процесу виготовлення, включаючи методику градування та перевірки СІД-3-148.

Ключові слова: похибка вимірювань, вимірювальний канал, ресурс, еквівалентно-циклічні випробування.

RESOURCE ENLARGEMENT OF THE SMART PRESSURE MEASUREMENT SYSTEM FOR ENGINE D-436-148 OF AIRCRAFT An-148

A.G. Buryachenko, G.S. Ranchenko, S.V. Ryabokon

Works for the resource enlargement of pressure measurement system SID-3-148 are described including the analysis of the exploitation results and cyclic tests providing under the special program with automatic data base records. There is given the results of SID-3-148 precision measurement channel investigation under the condition of long-term environmental factors effect. The methods of these channel accuracy guarantee are shown (no more than $\pm 0,15\%$ on temperature range from minus 40 up to + 85 °C during the required resource) based on the ingredients choice, compensation scheme structure and providing of technological process stability including the methods of SID-3-148 calibration and test.

Key words: inaccuracy of measurements, measuring channel, resource, cyclic tests.

Буряченко Анна Григорьевна – главный метролог АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: annaodessa2007@rambler.ru.

Ранченко Геннадий Степанович – главный конструктор АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa@element.od.ua

Рябоконт Сергей Михайлович – начальник бюро испытаний АО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa@element.od.ua.