

УДК 681.518

В.Ф. МИРГОРОД, Г.С. РАНЧЕНКО, А.Г. БУРЯЧЕНКО, В.М. ГРУДИНКИН**ОАО «Элемент», Одесса, Украина****МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ
ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Описан анализ погрешностей датчиков и измерительных каналов давления, применяемых для комплектации ГТД и при их испытаниях. Приведены методика и результаты оценки точности датчиков в условиях негауссовского распределения.

закон распределения погрешностей, статистическая модель, представительная выборка, квантильная оценка, доверительная вероятность

**Постановка проблемы
и цель исследования**

Повышение надежности и технического уровня современных газотурбинных двигателей (ГТД) авиационного и общепромышленного назначения создает предпосылки для перехода к эксплуатации ГТД в течение жизненного цикла по техническому состоянию.

Необходимость решения указанной проблемы обуславливает повышение требований к точности информационно-измерительных и диагностических систем, в первую очередь к датчикам основных параметров двигателя. В частности, для датчиков давления за компрессором ГТД требования к уровню погрешностей составляют $(0,1 \dots 0,15)\%$ от измеренного значения для обеспечения программы регулирования двигателем по суммарной степени повышения давления.

При таких жестких требованиях к точности важное значение приобретает действительный вид закона распределения погрешностей, оценка которого необходима для обеспечения надежности статистических выводов о достижимых характеристиках датчика

Оценка статистических характеристик погрешностей измерительных каналов (ИК) является важным этапом при производстве изделий ответственного назначения [1, 2] и ее порядок предусмотрен нормативными документами [3, 4].

Многие из ИК имеют негауссовское распределение погрешностей, а для задач косвенных измерений отличие закона распределения погрешностей от нормального является скорее правилом, чем исключением [2].

Для указанного круга задач оценка погрешностей датчиков и ИК не может быть выполнена без соответствующей оценки характера функции распределения.

Целью настоящей работы является оценка статистических характеристик погрешностей датчиков на примере гаммы датчиков и систем измерения давления для газотурбинных двигателей авиационного и общепромышленного применения.

Основные результаты

Датчики и системы измерения давления являются важнейшими элементами систем управления, контроля и диагностики авиационных ГТД.

Основным отечественным разработчиком и производителем гаммы таких датчиков (ПЗ19, П419, ПЗ30) и систем (СИД-3-148, СИД-3-436, СИД-4) является ОАО «Элемент» (г. Одесса) – Головная организация Минпромполитики Украины по этому направлению.

Указанными датчиками оснащаются ГТД различного назначения, а также программно-техни-

ческие комплексы (ПТК) стендовых испытаний ГТД на ОАО «Мотор Сич». Системы измерения давления эксплуатируются на самолетах АН-70, АН-148, ТУ-334 в составе двигательной автоматики.

Наиболее передовые технические решения заложены в SMART-датчиках типа П419 и системах типа СИД-3-148, реализованных по классической схеме интеллектуального цифрового прибора [5]. Использование сертифицированных для авиационного применения первичных преобразователей давления фирмы KULITE, двумерная (по температуре и давлению) аппроксимация рабочей характеристики в сочетании с высокопроизводительным процессором обеспечивает датчику высокие метрологические и эксплуатационные характеристики [6 – 7].

Необходимость объективной оценки доверительных интервалов погрешностей указанного типа, датчиков и достаточный объем выпуска (представительность выборки) обусловили необходимость и возмож-

ность проведения цикла исследований по оценке статистических характеристик погрешностей измерения давления. Исследования охватывают датчики для различных диапазонов измерения давления от 0,1 атм до 75 атм.

Для выборок большого объема, полученных в процессе испытаний датчиков, выполнены оценки первых четырех моментов (среднего, дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса), а также гистограммы распределения погрешностей по методике [2, 3]. Дополнительно реализованы тесты статистик χ^2 и Смирнова-Колмогорова относительно гипотезы о принадлежности выборок к статистической модели в виде нормально распределенной совокупности.

Результаты статистических исследований распределения погрешностей измерений эталонного давления иллюстрирует рис. 1.

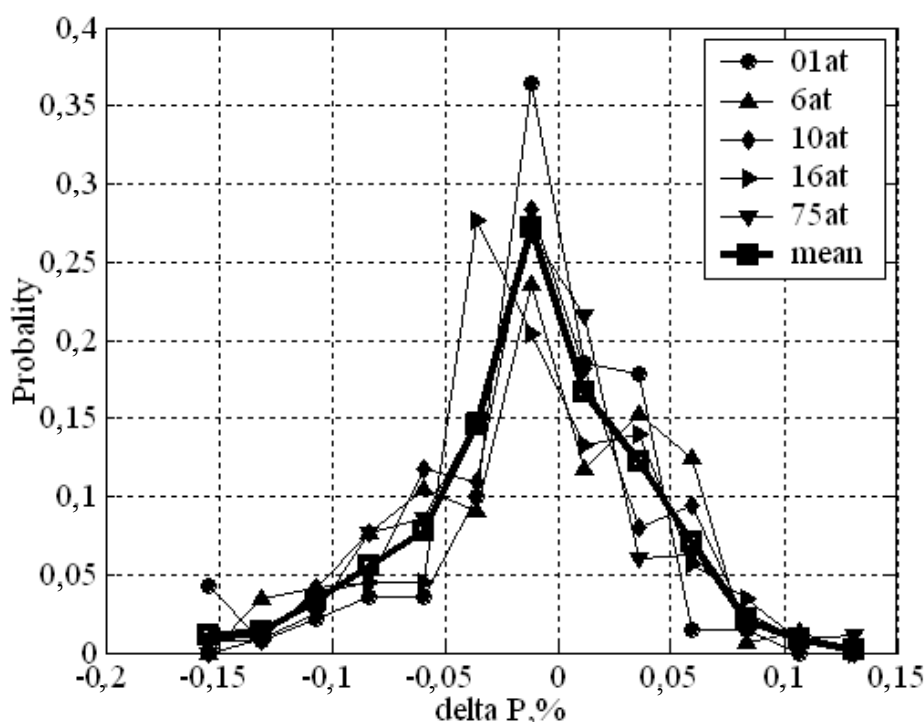


Рис. 1. Гистограммы распределения погрешностей

Как это следует из вида полученных гистограмм, распределение погрешностей измерения давления

имеют негауссовский характер с выраженным эксцессом и небольшим положительным коэффици-

ентом асимметрии. Статистики χ^2 и Смирнова-Колмогорова также отвергают гипотезу о принадлежности выборок к семейству гауссовских распределений на уровне значимости, соответствующем объему выборок.

Для различных диапазонов измерения характер гистограмм остается типичным и их различие находится в пределах допустимых статистических различий на выборках заданного объема.

Следовательно, есть основания предполагать, что указанное негауссовское распределение погрешностей

действительно соответствует датчику с выбранным схемо-техническим решением. Поэтому устанавливаемые доверительные интервалы, например для дисперсии, будут существенно отличаться от таких интервалов, основанных на гипотезе о гауссовском распределении погрешностей.

Квантильная оценка статистических погрешностей измерения давления иллюстрируется на рис. 2, на котором представлен полигон распределения погрешностей на различных уровнях значимости.

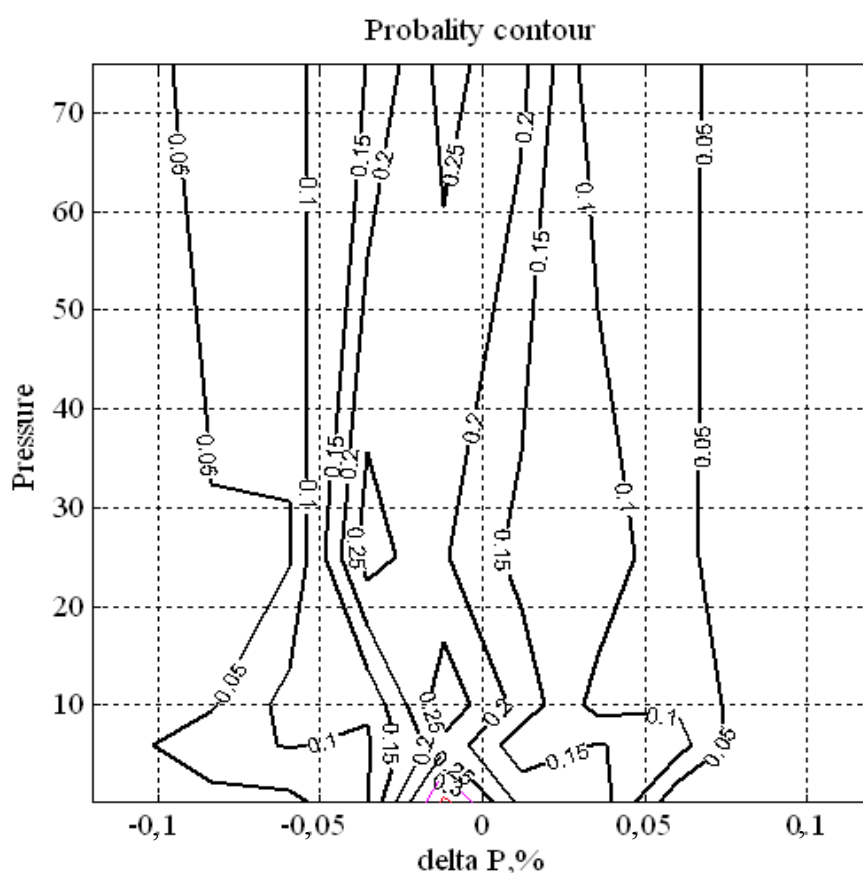


Рис. 2. Полигон распределения погрешностей

Как это следует из результатов статистической обработки данных (квантильной оценки статистических погрешностей измерения давления), представленных на рис. 2, с доверительной вероятностью не менее 0,95 погрешность измерения давления датчиков типа П419 не превышает $\pm 0,1\%$.

Аналогичные результаты получены в результате оценки характеристик погрешности следующих систем измерения давления: типа СИД-3-436 и СИД-3-148.

Следует отметить, что в состав выборок данных, для которых выполнены оценки, были вклю-

чены погрешности, наблюдаемые в диапазоне рабочих температур изделий П419 и СИД-3 от минус 40 до плюс 85 °С.

Выводы

Необходимость повышения точности измерительных каналов и датчиков ответственного применения требует оценки статистических характеристик распределения погрешностей измерения и уровня надежности их принадлежности заданным интервалам.

Обязательным условием повышения достоверности таких оценок является установление соответствия принятой статистической модели формирования данных фактически реализуемой. При негауссовских законах распределения погрешностей необходима прямая оценка их составляющих в зависимости от характера реализуемой функции распределения на представительных выборках достаточного объема.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в подтверждении долговременной стабильности характеристик датчиков по результатам эксплуатации.

Литература

1. МИ 1317-86 ГСИ Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

2. Новицкий Л.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатом- издат, 1985. – 248 с.

3. ОСТ 1 00487-83 Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Метрологическая аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем.

4. СТ СЭВ 545-77 Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений.

5. Буряченко А.Г., Грудинкин В.М. Технические и алгоритмические средства повышения метрологического уровня и надежности датчиков и систем измерения давления // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 8 (24). – С. 195-199.

6. Миргород В.Ф., Ранченко Г.С. Сравнительный анализ эффективности критериев тренда в задачах диагностики ГТД // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 8 (24). – С. 190-194.

7. Миргород В.Ф., Грудинкин В.М. Динамические характеристики системы измерения давления в контуре регулирования π_k // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 8 (34). – С. 42-45.

Поступила в редакцию 5.06.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Нестеренко, Институт компьютерных систем Одесского национального политехнического университета, Одесса.