

включает анализ и построение математической модели источников погрешностей, разработку методов оценки составляющих погрешностей, разработку методов оценки метрологических характеристик элементов структуры ИИС, разработку метода оценки сквозных метрологических характеристик. При разработке счетчика ресурса аналитически, экспериментально и посредством математического моделирования оценивались отдельные составляющие погрешности системы, метрологические характеристики измерительного и вычислительного блоков системы, сквозные метрологические характеристики. В результате были определены метрологические требования к элементам структуры и параметрам алгоритма, позволяющие обеспечить требуемую точность системы.

Рассмотренные выше задачи, пути и примеры их решения относятся к наиболее общим аспектам проектирования ИИС для автоматизации прочностных испытаний авиационных конструкций. Изложенные материалы могут быть применены при проектировании систем рассмотренного класса.

П.В. Новицкий, Б.С. Гуткин

#### ЗАДАЧИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

(Ленинград)

Автоматизация научно-технического эксперимента предполагает использование современной измерительной и вычислительной техники, позволяющей с высокой достоверностью и быстродействием измерять различные физические величины. Комплексное использование измерительных устройств (ИУ) с ЭВМ открывает широкие перспективы для накопления, математической обработки получаемой информации и представления результатов эксперимента в виде, удобном для последующего использования. Следовательно, автоматизация эксперимента дает новые возможности для его метрологического обеспечения, рассмотрению которых и посвящен настоящий доклад.

Конечный итог исследований определяется после математических операций над результатами измерений многих физических величин. Его

погрешность находится как погрешность косвенных измерений. Если величина  $Z$  является функцией результатов прямых измерений величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то по абсолютным погрешностям прямых измерений  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$  погрешность  $\Delta Z$  может быть вычислена по формуле

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Z}{\partial x_i} \Delta x_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \Delta x_i. \quad (I)$$

В данном случае  $\Delta Z$  зависит не только от самого  $Z$ , что характерно для прямых измерений и позволяет априорно нормировать погрешность как функцию от  $Z$  [I], но и от всех других переменных. Следовательно, погрешность исследования не может быть нормирована заранее. Наиболее рациональный путь ее определения заключается в одновременном вычислении на ЭВМ  $Z$  и  $\Delta Z$  для каждого сочетания полученных в ходе эксперимента текущих результатов прямых измерений. Из формулы (I) ясно, что для такого расчета необходимо наряду со значениями  $x_1, x_2, \dots, x_n$  иметь информацию о текущих погрешностях их измерения.

При определении текущего значения погрешности предлагается находить систематическую составляющую  $\Delta_c$ , как медиану ее нескольких оценок математического ожидания. А для описания случайной составляющей погрешности  $\Delta_{сл}$  определяются значения среднеквадратического отклонения  $\sigma$ , энтропийного коэффициента  $k_\epsilon$  и контрэкссесса  $\alpha$  [I]. Если достаточна только количественная оценка  $\Delta_{сл}$ , то для большинства симметричных законов с вероятностью 0,9 ее можно приближенно найти как  $\Delta_{сл} = 1,6\sigma$ .

Вся вышеперечисленная информация о погрешности измерительной аппаратуры может быть найдена при комплексном использовании следующих методов: расчет по нормируемым параметрам; экспериментальное определение после изготовления средств измерения; непрерывное наблюдение и прогнозирование текущих значений путем сквозной проверки тракта в процессе его эксплуатации. Первый метод преимущественно используется на стадии проектирования. Теоретически полученное значение итоговой погрешности аппаратуры должно обязательно проверяться экспериментально. Наиболее перспективна сквозная проверка всего измерительного канала по образцовой мере, но ее организация затруднена при наличии датчиков неэлектрической величины и аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с погрешностью квантования, соизмеримой с другими погрешностями.

Для большинства измеряемых неэлектрических величин отсутствуют образцовые меры, которые можно применять в эксплуатационных условиях. Для дистанционной поверки датчиков неэлектрических величин предлагается использовать электрические методы воздействия на датчик. При измерении физических величин, изменение которых возможно при пропускании через поверяемый датчик электрического сигнала, можно воздействовать на него непосредственно по электрическим цепям, связывающим датчик с измерительным комплексом. Предварительные расчеты показывают, что разработка подобных методов особенно реальна при использовании явлений Джоуля и Пельтье для термодатчиков. Так, стандартный терморезистор типа ТСМ-Х1 может быть нагрет током 1А в течение 1с на 100 К.

При наличии АЦП с разрешающей способностью, в 5–10 раз большей погрешности канала, последние разряды можно использовать для получения полного распределения погрешности, позволяющего определить  $\Delta_C$  и  $\Delta_{сл}$ . Если ступень  $q$  квантования АЦП соизмерима с другими погрешностями, то эффективно использование следующей методики. Весь участок входных значений  $U_{01} \div U_{02}$  появления заданного значения выходного сигнала  $U_x$  исследуется с шагом  $h < q$ . На входе канала устанавливаются значения  $U_{0i} = U_{01} + ih$ , где  $i$  последовательно увеличивается, начиная от нуля и до тех пор, пока  $U_{0i}$  не достигнет значения  $U_{02}$ . Регистрируя при каждом значении  $U_{0i}$  серию из  $n_i$  выходных значений и определяя вероятность появления в ней заданного значения  $U_x$ , удается получить полное распределение погрешности. Рассматривая  $\Delta_{сл}$  как композицию нормального (для инструментальной составляющей) и равномерного (для погрешности квантования) законов, целесообразно выбирать значения  $q/h = 5$  и  $n_i = 20$ . Полученные рекомендации были проверены при испытаниях ИМС типа К200, содержащей цифровой вольтметр типа Ф203.

Погрешность результата зависит от погрешности аппаратуры, диффузности объекта и неадекватности принятой математической модели. Выбор способа повышения точности целесообразно поручать ЭВМ. Неадекватность модели удастся установить с помощью критерия Фишера [2]. Диффузность объекта выявляется при сравнении дисперсий результатов нескольких повторных измерений и  $\Delta_{сл}$  используемой аппаратуры. Если превалирует диффузность объекта, то единственной возможностью повышения точности является увеличение числа

усредняемых результатов измерений. При необходимости уменьшения погрешности аппаратуры в зависимости от соотношения  $\Delta_c$  и  $\Delta_{сл}$ , а также от времени, отводимого на измерение, надо либо увеличивать число измерений, либо использовать автоматическую коррекцию показаний, для проведения которой чаще всего применяется метод образцовых сигналов (МОС) [1, 3], либо чередовать эти два способа.

Исследование различных вариантов МОС показало, что он позволяет скорректировать лишь те погрешности ИУ, время автокорреляции которых велико по сравнению с продолжительностью цикла коррекции. Погрешности с малым временем автокорреляции при коррекции возрастают. Степень их увеличения, как показал анализ различных вариантов МОС, основанных на использовании магазина мер [1], автокорректирующихся ИУ [4], тест-приборов [5], зависит от выбранного варианта и условий его осуществления. Если в первом из этих вариантов отношение  $\sigma_p / \sigma$  (индексом  $p$  отмечены параметры погрешности результата коррекции) лишь немного превосходит единицу, то в двух других оно может быть порядка десятков и сотен. Поэтому коррекция будет эффективна только при определенном соотношении между  $\Delta_c$  и  $\Delta_{сл}$  используемой аппаратуры. Критерием ее целесообразности, когда возможен всего один цикл коррекции, является выполнение следующего соотношения:  $\Delta_c + \Delta_{сл} > \Delta_{ср} + \Delta_{сл,р}$ . Например, для первого варианта при пренебрежимо малых по сравнению с  $\Delta_c$  и  $\Delta_{сл}$  ИУ погрешностях номинального значения мера коррекции оказывается эффективной лишь при выполнении неравенства

$$\Delta_c > 0,4 \Delta_{сл}.$$

Для обеспечения метрологической надежности целесообразно периодически осуществлять сквозную поверку измерительного канала. Собирая информацию о результатах поверок в памяти ЭВМ, можно получать сведения не только о текущих значениях погрешности в любой момент времени, но и определять скорость изменения погрешности  $\gamma$  во времени. Сформулированы требования к проведению поверок, выполнение которых необходимо для определения значения  $\gamma$  с заданной точностью. По найденному  $\gamma$  и результату последней поверки, находя запас до допустимой погрешности, можно прогнозировать время выхода погрешности за допуск, а следовательно, намечать сроки очередных поверок и ремонтов измерительной аппаратуры.

Таким образом, привлечение используемой в автоматизированном эксперименте ЭВМ для решения обсуждаемых в докладе задач мет-

рологического обеспечения позволяет при незначительных затратах ее ресурсов существенно повысить точность проводимых исследований.

### Л и т е р а т у р а

1. Н о в и ц к и й П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. Л., "Энергия", 1968, с. 248.
2. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М., "Мир", 1977, с. 552.
3. З е м е л ь м а н М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. М., Изд-во стандартов, 1972, с. 200.
4. Б р о м б е р г Э.М., К у л и к о в с к и й К.Л. Новые методы автоматической коррекции метрологических характеристик измерительных систем. "Приборы и системы управления", 1973, № 7, с. II-14.
5. Б р а с л а в с к и й Д.А., Я к у б о в и ч А.М. Измерительные устройства с автокомпенсацией погрешностей. "Приборы и системы управления", 1977, № 5, с. 20-22.

А.Г. Рыжевский, Д.В. Шабалов

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ОРТОГОНАЛЬНЫХ РАЗЛОЖЕНИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ(ИИС)

(Орел, Москва)

В настоящее время актуальной задачей является построение ИИС для анализа одиночных и редкоповторяющихся быстротекающих процессов в некоторых областях, как например: при производстве радиоэлектронных компонентов, в ядерной физике, локации и других, где требуется определять длительность процессов, амплитудные значения и в пределе получить их форму.

Предлагаемый доклад является промежуточным результатом научно-исследовательской работы, проводимой авторами по разработке