

УДК 62 – 79

П.Л. Игнатенко, к.т.н., В.В. Дегтярёв, к.т.н.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙЧерниговский государственный технологический университет, м. Чернігів
Національний технічний університет України “КПІ”, м.Київ

Рассмотрена возможность решения измерительной задачи с применением имеющихся средств измерений. Обосновано использование только тех способов, которые позволяют уменьшить доминирующую составляющую погрешности измерений или несколько составляющих, образующих в сумме значительную часть всей погрешности.

Ключевые слова: показатели точности измерений, средства измерений, среднее квадратическое отклонение.

Введение

При несоответствии показателей точности измерений установленным требованиям необходимо повышать точность измерений. При этом следует использовать только те способы, которые позволяют уменьшить доминирующую составляющую погрешности измерений или несколько составляющих, образующих в сумме значительную часть всей погрешности. Поэтому выбирать способ повышения точности измерений можно только после того, как оценены составляющие погрешности и выявлены доминирующие. Если после применения некоторого способа невозможно оценить погрешность измерений, то применять такой способ нельзя.

Постановка задачи

Инструментальную составляющую погрешности измерений можно уменьшить заменой средства измерений на более совершенное. Такой способ широко используют на практике, однако оправдан он лишь тогда, когда более совершенные средства измерений выпускаются промышленностью, не слишком дороги, обеспечивают требуемую производительность, а приобретение их в приемлемые сроки реально. Прежде чем приобретать, а тем более разрабатывать новые средства измерений, следует рассмотреть возможность решения измерительной задачи с применением имеющихся средств измерений.

Методы и результаты

Случайную составляющую погрешности измерений уменьшают методом многократных наблюдений, при котором выполняют некоторое число наблюдений ($n \geq 1$), и за результат измерений принимают среднее арифметическое полученных результатов наблюдений. Интервал времени между наблюдениями должен быть, с одной стороны, достаточно малым, чтобы ограничить влияние медленных изменений влияющих величин, а с другой, - достаточно большим, чтобы значения случайной составляющей погрешности в несовпадающие моменты времени были независимыми.

Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерений уменьшается при этом в \sqrt{n} раз по сравнению со средним квадратическим отклонением случайной составляющей погрешности однократного наблюдения.

Математическое ожидание случайной составляющей погрешности по определению равно нулю. Закон распределения можно принять нормальным при $n \geq 5$.

Выбор числа наблюдений n зависит от способа задания нормы точности измерений. Если установлен предел допускаемого значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерений σ_{Δ_0} , то число наблюдений n принимают равным наименьшему целому числу, удовлетворяющему неравенству $\sigma_{\Delta_i} / \sqrt{n} \leq \sigma_{\Delta_0}$, где σ_{Δ_i} – среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности однократного наблюдения.

Если установлен предел допускаемого значения среднего квадратического отклонения суммарной погрешности измерений σ_{Δ_0} , то число наблюдений целесообразно выбирать из

условия обеспечения пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности $\sigma_{\Delta_i} / \sqrt{n} \leq 0,2\sigma_{\Delta_0}$. Обычно число наблюдений n ограничено допустимой трудоемкостью измерений, а также требованиями к их производительности.

Для систематической составляющей погрешности измерений не существует такого универсального и эффективного способа повышения точности, каким является метод многократных наблюдений для случайной составляющей.

Рассмотрим некоторые способы исключения (или уменьшения) отдельных составляющих систематической погрешности.

Систематическую составляющую погрешности измерительного прибора в рабочих условиях можно исключить методом сравнения с мерой.

Следует отметить, что систематическая составляющая инструментальной погрешности может приближаться к систематической погрешности использованной меры. Точность мер, как правило, выше точности соответствующих измерительных приборов.

Важной особенностью метода сравнения с мерой является то, что он позволяет исключать систематическую погрешность прибора независимо от того, чем она обусловлена – неточностью изготовления и градуировки, действием внешних влияющих величин или старением и износом.

Систематическую составляющую основной погрешности средства измерения можно уменьшить индивидуальной градуировкой средства измерения при метрологической аттестации. Индивидуальная градуировка средства измерения тем эффективнее, чем меньше систематическая погрешность образцового средства измерения, выше стабильность средства измерения и уже диапазон измерений, в котором необходимо исследовать погрешности средства измерений. В отличие от метода сравнения с мерой индивидуальная градуировка не требует наличия на рабочем месте мер. Однако этот метод неэффективен при нестабильных средствах измерений.

Систематическую составляющую дополнительной погрешности средства измерения уменьшают ужесточением требований к условиям измерений, внесением поправок или методом сравнения с мерой. Ужесточения требований к условиям измерений достигают, корректируя методику выполнения измерений в части условий ее применимости.

Если возможно, следует задавать требования, соответствующие нормальным условиям применения средства измерения, что полностью исключает дополнительную погрешность. Частичное сужение диапазона допустимых значений влияющей величины целесообразно, если в документации на средство измерения регламентирована функция влияния, но не имеет смысла (выигрыш невозможно оценить), если регламентированы одни и те же пределы допустимых изменений дополнительной погрешности для всего рабочего диапазона влияющей величины.

Внесение поправки на дополнительную погрешность средства измерения предполагает метрологическую аттестацию конкретного экземпляра средства измерения и определение индивидуальной номинальной функции влияния данной влияющей величины и пределов допускаемых отклонений от нее.

Раздел методики выполнения измерений, регламентирующий подготовку и выполнение измерений (или скорректированная инструкция по эксплуатации средства измерения), должен предусматривать при этом вспомогательные измерения влияющей величины и расчет поправки по номинальной функции влияния.

Кроме рассмотренных универсальных методов уменьшения систематической погрешности на практике применяют и другие, например метод противоположного влияния и рандомизации.

Метод противоположного влияния, называемый также методом компенсации погрешности по знаку, состоит в том, что выполняют два наблюдения, изменяя при втором наблюдении условия или процедуру измерений таким образом, чтобы причина, вызывающая некоторую систематическую погрешность при первом наблюдении, оказывала противоположное влияние при втором.

В этом случае результаты наблюдений имеют равные (или близкие) по модулю, но противоположные по знаку, погрешности, а результат измерений, равный полусумме результатов наблюдений, свободен от погрешности. Метод противоположного влияния

применяют, например, для исключения погрешности вследствие гистерезиса, выполняя два наблюдения с противоположными направлениями подачи измеряемой величины.

Метод рандомизации состоит в том, что выполняют ряд наблюдений, изменяя условия или процедуру измерений таким образом, что фактор, вызывающий данную систематическую погрешность, изменяется случайным образом.

Результат измерений находят как среднее арифметическое результатов отдельных наблюдений. При этом часть погрешности, которая изменяется при варьировании фактора, уменьшается, как и в методе многократных наблюдений, приблизительно в \sqrt{n} раз, где n – число наблюдений.

Метод рандомизации применяют, например, для уменьшения погрешности вследствие неточности установки средства измерения по уровню, несовершенства разъемов на сверхвысоких частотах и т. д.

Метод рандомизации использовать бесполезно, если не может быть найдена оценка той части погрешности, которая остается неизменной. Например, выполнение ряда наблюдений с несколькими экземплярами средств измерений одного и того же типа, как правило, не оправдано, так как неизвестна оценка математического ожидания систематической погрешности средства измерения этого типа.

Серьезные затруднения возникают при выборе способа повышения точности измерений, если доминирующей оказалась погрешность, способы уменьшения которой отсутствуют (или их использование в данных условиях нецелесообразно), а приемлемые способы позволяют уменьшить только составляющие этой погрешности.

В этом случае применяют одновременно несколько способов, которые позволяют уменьшить погрешность и оценить ее неисключенный остаток независимо от соотношения составляющих погрешности. Например, для уменьшения основной погрешности измерительного прибора можно одновременно использовать метод сравнения с мерой для исключения систематической составляющей, метод многократных наблюдений для уменьшения случайной составляющей и метод противоположного влияния для исключения погрешности от гистерезиса.

Другим решением является проведение дополнительных исследований (как правило, экспериментальных) для оценивания отдельных составляющих погрешности и последующего обоснованного выбора способа повышения точности.

Выводы

Для уменьшения основной погрешности средства измерения проводят метрологическую аттестацию каждого экземпляра средства измерения и определяют характеристики составляющих основной погрешности: систематической, случайной и от гистерезиса. Практически достаточно определить среднее квадратическое отклонение случайной составляющей и вариацию (что не требует использования образцовых средств измерений), а характеристики систематической составляющей рассчитать, как характеристики погрешности, равной разности основной погрешности и суммы случайной погрешности и погрешности от гистерезиса.

Список литературных источников

1. Володарский Е. Т. Планирование и организация измерительного эксперимента /Володарский Е. Т., Малиновский Б. Н., Туз Ю. М. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 280 с.
2. Грановський В.А. Методи обробки експериментальних даних при вимірюваннях. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с.
3. Метрологическая аттестация средств измерений. ГОСТ 8.326 – 89. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 14 с.
4. Метрологическое обеспечение разработки, изготовления и эксплуатации нестандартных средств измерений. Основные положения. ГОСТ 8.326 – 78. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 14 с.