

Анализ составляющая погрешности результата измерения Асланов З. Ю.1, Дадашова К. С.2, Абдуллаева С. М.3

¹Асланов Забит Юнус / Aslanov Zabit Yunus – кандидат технических наук, доцент;

²Дадашова Кемале Сейфулла / Dadashova Kemale Seyfulla – доктор философии по экономике, старший преподаватель;

³Абдуллаева Севиндж Мусеиб / Abdullayeva Sevinj Museib - аспирант и преподаватель, кафедра стандартизации и сертификации,

Азербайджанский государственный экономический университет, г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация: качество измерений является главным фактором производства, базирующегося на быстропотекающих процессах, автоматических процессах, на большом числе измеряемых величин. Нередко причиной брака продукции становятся неверно назначенные СИ (в первую очередь по точности). Бывает и так, что СИ вовсе не назначаются там, где это необходимо, из-за их отсутствия. Как показывает анализ, если весь брак, причиной которого являются недостатки метрологической деятельности, принять за 100 %, то брак продукции вследствие неправильно выбранных или совсем не назначенных СИ составит 48,5 %; из-за неумелого применения СИ, отсутствия метрологически аттестованных методик измерения и низкой квалификации операторов – 46 %; и только 5,5 % обуславливается неисправностью СИ.

Ключевые слова: погрешность, измерения, величин, процесс, брак, интервал, оценка.

Случайная погрешность – составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одного и того же размера величины с одинаковой тщательностью. В появлении этого вида погрешности не наблюдается какой-либо закономерности. Они неизбежны и неустранимы, всегда присутствуют в результатах измерения. При многократном и достаточно точном измерении они порождают рассеяние результатов.

Эта погрешность возможна из-за трения в опорах подвижной части прибора, колебаний температуры, сотрясений почвы, влияния различных промышленных помех, квалификации оператора и т.д.

Случайная погрешность, являясь следствием воздействия на результат измерения случайных факторов, сама является случайной величиной. Поэтому предсказать результат отдельного наблюдения и исправить его внесением поправок невозможно.

Методы теории вероятностей и математической статистики позволяют установить статистические закономерности появления случайных погрешностей.

Для характеристики свойств, случайной величины в теории вероятностей используют понятие закона распределения вероятностей случайной величины.

Распределение погрешностей результатов измерений, как правило, является симметричным относительно центра распределения, поэтому истинное значение измеряемой величины может быть определено как координата центра рассеивания, т.е. центра симметрии распределения случайной погрешности (при условии, что систематическая погрешность исключена). Поэтому применяется правило оценивания случайной погрешности в виде интервала, симметричного относительно интервала измерений.

В практике измерений встречаются различные формы кривой закона распределения, однако чаще всего имеют дело с нормальным и равномерным распределением случайных величин.

Применительно к измерениям нормальное распределение случайных погрешностей возникает тогда, когда на результат измерения действует множество случайных факторов, ни одно из которых не является преобладающим. Практически, суммарное воздействие даже небольшого количества факторов приводит к закону распределения результатов и погрешностей измерений, близкому к нормальному.

В аналитической форме нормальный закон распределения выражается формулой [2]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где, x - случайная величина;

m_x – математическое ожидание случайной величины; σ - среднеквадратическое отклонение.

Для группы из n наблюдений, распределенных по нормальному закону:

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n-1}}.$$

Закон нормального распределения имеет несколько характерных свойств.

Кривая нормального распределения погрешностей симметрична относительно оси ординат. Это означает, что погрешности, одинаковые по величине, но противоположные по знаку, имеют одинаковую плотность вероятностей, т.е. при большом числе наблюдений встречаются одинаково часто.

Из характера кривой следует, что при нормальном законе распределения малые погрешности будут встречаться чаще, чем большие.

Рассмотренные выше свойства различных распределений получены на основе бесконечно большого числа опытов. В реальных же условиях результат измерений получают путем обработки ограниченного количества наблюдений.

Для уменьшения случайной составляющей погрешности измерений увеличивают число наблюдений. Теоретически случайную погрешность можно сделать как угодно малой, увеличивая число наблюдений. Однако на практике трудно обеспечить постоянство самого объекта наблюдений в течение длительного времени, а это может привести к увеличению погрешности, а не к ее уменьшению.

Другим методом уменьшения случайной погрешности является использование параллельных одновременных измерений одной и той же физической величины. Для этого необходимо использовать сразу несколько средств измерений.

Грубая погрешность, или промах, — это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Источником грубых погрешностей нередко бывают резкие изменения условий измерения и ошибки, допущенные оператором. К ним можно отнести [3]:

- неправильный отсчет по шкале измерительного прибора, происходящий из-за неверного учета цены малых делений шкалы;
- неправильная запись результата наблюдений, значений отдельных мер использованного набора, например гирь;
- хаотические изменения параметров питающего СИ напряжения, например его амплитуды или частоты.

Грубые погрешности, как правило, возникают при однократных измерениях и обычно устраняются путем повторных измерений. Их причинами могут быть внезапные и кратковременные изменения условий измерения или оставшиеся незамеченными неисправности в аппаратуре.

Вопрос о том, содержит ли результат наблюдений грубую погрешность, решается общими методами проверки статистических гипотез. Проверяемая гипотеза состоит в утверждении, что результат наблюдения x_i не содержит грубой погрешности, т.е. является одним из значений измеряемой величины. Пользуясь определенными статистическими критериями, пытаются опровергнуть выдвинутую гипотезу. Если это удастся, то результат наблюдений рассматривают как содержащий грубую погрешность и его исключают.

Для выявления грубых погрешностей задаются вероятностью q (уровнем значимости) того, что сомнительный результат действительно мог иметь место в данной совокупности результатов измерений. С этой целью применяются следующие критерии: *Критерий «трех сигм»* для результатов измерений, распределенных по нормальному закону; *Критерий Шарлье* используется, если число наблюдений в ряду велико ($n > 20$); *Вариационный критерий Диксона* - удобный и достаточно мощный (с малыми вероятностями ошибок).

Определение расчетным путем оценки результирующей погрешности по известным оценкам ее составляющих называется *суммированием погрешностей*.

Главной проблемой, возникающей при суммировании, является то, что все составляющие погрешности должны рассматриваться как случайные величины. С точки зрения теории вероятностей они наиболее полно могут быть описаны своими законами распределения, а их совместное действие — соответствующим многомерным распределением. Однако в такой постановке задача суммирования погрешностей практически не разрешима уже для нескольких составляющих, не говоря о нескольких десятках.

Практически приемлемый путь решения данной задачи суммирования погрешностей состоит в отказе от определения и использования многомерных функций распределения составляющих погрешности. Необходимо подобрать для характеристик составляющих такие числовые оценки, оперируя с которыми можно было бы получить соответствующие числовые оценки результирующей погрешности. При этом следует учитывать, что:

- отдельные составляющие погрешности могут быть коррелированы между собой;

- при суммировании случайных величин их законы распределения существенно деформируются, т.е. форма закона суммы может резко отличаться от формы закона распределения составляющих.

Правила суммирования погрешностей основываются на том, что погрешность по абсолютному значению всегда много меньше самой измеряемой величины. Поэтому изменение погрешности в зависимости от изменения измеряемой величины может быть учтено, если все суммируемые случайные и систематические составляющие погрешности разделить на аддитивные и мультипликативные. Сумма аддитивных составляющих даст значение аддитивной части результирующей погрешности, а сумма мультипликативных составляющих – значение мультипликативной части результирующей погрешности.

В пределах некоторого диапазона изменения, как правило, десятикратного, измеряемой величины изменение результирующей погрешности может быть с достаточной степенью точности представлено прямой линией или простейшей кривой (парабола, гипербола). Это дает возможность описать результирующую погрешность линейной или нелинейной двухзвенной формулой. При большем изменении измеряемой величины весь диапазон разбивается на участки, для которых и определяются крайние погрешности [4].

Для устранения влияния деформации формы законов распределения все суммируемые составляющие исходно представляются своими СКО и все операции расчетного суммирования проводятся только над ними. Учет взаимных корреляционных связей между суммируемыми составляющими производится путем использования, различных правил суммирования для жестко и слабо коррелированных составляющих.

В результате суммирования средних квадратических отклонений составляющих получаются СКО соответственно аддитивной, мультипликативной или нелинейной составляющих результирующей погрешности. СКО аддитивной составляющей результирующей погрешности будет характеризовать результирующую погрешность в начале диапазона. Сумма СКО аддитивной и мультипликативной составляющих в конце диапазона описывает результирующую погрешность в конце диапазона. Если участков несколько, то суммирование проводится на всех участках, а затем принимается решение о методе описания результирующей погрешности.

Результирующую погрешность необходимо выразить в виде доверительного интервала. Его расчет, но полученное СКО является с точки зрения теории самой трудной операцией при суммировании погрешностей. Это связано с тем, что доверительный интервал равен произведению рассчитанного СКО и множителя, зависящего от закона распределения результирующей погрешности. В то же время вся излагаемая методика с самого начала была нацелена на то, чтобы обойтись без точного определения результирующего закона распределения суммы всех составляющих.

Практические правила расчетного суммирования результирующей погрешности состоят в следующем:

1. Для определения суммарного значения СКО должны учитываться корреляционные связи различных составляющих погрешности. В связи с этим исходными данными для более точного расчета должны служить оценки именно всех отдельных составляющих погрешности, а не оценки некоторых суммарных погрешностей.

2. Для каждой составляющей должно быть найдено ее СКО. В большинстве случаев для этого необходимо знание или предположение о виде закона ее распределения.

3. Все суммируемые составляющие разделяются на аддитивные и мультипликативные составляющие, которые суммируются отдельно.

4. Так как в большинстве случаев точное значение коэффициента корреляции ρ найти невозможно, то все погрешности должны быть условно разделены на:

- сильно коррелированные при $0,7 \leq |\rho| \leq 1$, для которых считают $\rho = \pm 1$ в зависимости от знака коэффициента корреляции;

- слабо коррелированные при $0 \leq |\rho| \leq 0,7$, для которых $\rho = 0$.

5. Из суммируемых составляющих выделяются группы сильно коррелированных между собой погрешностей, и внутри этих групп производится алгебраическое суммирование их оценок.

6. После алгебраического суммирования групп сильно коррелированных погрешностей суммарные по группам и оставшиеся вне групп погрешности можно считать некоррелированными и складывать по правилу геометрического суммирования.

Для определения СКО суммарной погрешности при начальном значении измеряемой величины складывают лишь аддитивные составляющие, а для определения СКО погрешности в конце диапазона изменения измеряемой величины – все просуммированные выше составляющие.

7. Для перехода от СКО погрешности к доверительному значению должна быть определена форма закона распределения результирующей погрешности и тем самым выбрано значение квантильного множителя.

Изложенная методика может быть несколько упрощена. Самым сложным в ней являются нахождение СКО всех составляющих, но известным их интервальным оценкам и определение интервальной оценки результирующей погрешности по полученному СКО.

В обоих случаях необходимо знание закона распределения погрешностей. Упрощение методики суммирования состоит в том, чтобы сделать эти переходы по возможности более простыми.

Качество измерений является главным фактором производства, базирующегося на быстропротекающих процессах, автоматических процессах, на большом числе измеряемых величин. Нередко причиной брака продукции становятся неверно назначенные СИ (в первую очередь по точности). Бывает и так, что СИ вовсе не назначаются там, где это необходимо, из-за их отсутствия. Как показывает анализ, если весь брак, причиной которого являются недостатки метрологической деятельности, принять за 100 %, то брак продукции вследствие неправильно выбранных или совсем не назначенных СИ составит 48,5 %; из-за неумелого применения СИ, отсутствия метрологически аттестованных методик измерения и низкой квалификации операторов – 46 %; и только 5,5 % обуславливается неисправностью СИ.

Литература

1. *Сергеев А. Г., Латышев М. В., Терегеря В. В.* Метрология, Стандартизация и Сертификация. М., Логос, 2005.
2. *Сергеев А. Г.* Метрология М. Логос, 2004.
3. *Сергеев А. Г., Крохин В. В.* Метрология. – М.: Логос, 2002.
4. *Лифиц И. М.* Стандартизация, метрология и сертификация. – М.: Юрайт-Издат, 2002.