

ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ

УДК 006.86.063:004.42 (045)

А. К. Зюзько, канд. техн. наук,
М. Ю. Буриченко, канд. техн. наук,
Ю. В. Петрова, канд. техн. наук,
В. В. Нимыч, ассист.

**АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Разработан алгоритм обработки экспериментальных данных, повышающий эффективность результатов исследований средств измерений при их метрологической аттестации.

Введение и постановка задачи. Обеспечение единства и требуемой точности измерений – необходимое условие повышения качества продукции. Решение этой задачи требует, в частности, сведений о характеристиках погрешностей используемых средств измерений (СИ), средств контроля (СК) и, следовательно, проведения метрологической аттестации этих средств [1; 2; 7].

Задача получения информации о числовых значениях метрологических характеристик СИ, СК сводится к математической обработке экспериментальных данных, полученных в ходе проведения метрологической аттестации этих средств.

Вследствие специфических особенностей проведения метрологической аттестации СИ и СК получение априорной информации о возможных статистических характеристиках экспериментальных данных очень затруднено, а практически иногда и невозможно [3; 7; 8]. Поэтому возникает задача разработки алгоритмов, позволяющих выполнить более полную обработку апостериорной измерительной информации аттестуемых СИ или СК.

Точность преобразования числовых данных существенно выше точности “аппаратных” преобразований сигналов измерительной информации, поэтому стремление к повышению точности измерений обуславливает тенденцию сужения аппаратной и расширению вычислительной частей алгоритма измерения.

Установлено [4; 8], что выбор математического метода обработки данных, точность получения числовых значений метрологических характеристик СИ и СК в значительной степени зависят от правильности установления соответствия плотности распределения вероятностей экспериментальных данных одному из стандартных законов распределения. Один из способов повышения достоверности соответствия (идентификации) экспериментального распределения с одним из стандартных распределений сводится к решению задачи усовершенствования процедуры идентификации этих распределений.

Анализ последних публикаций. Экспериментальные данные о разнообразии форм распределения погрешностей измерений накоплены в достаточном количестве [4; 8]. В итоге этих работ, проведенных на протяжении достаточного периода времени, факт разнообразия законов распределения был признан законодательно и был введен стандарт, устанавливающий, что при сообщении результата измерения необходимо указывать вид распределения, и были стандартизованы модели нормального, равномерного, трапецеидального, треугольного и двухмодального распределений.

Наиболее достоверную информацию о форме распределения данных можно получить лишь при соответствующем увеличении выборки экспериментальных данных. Поэтому большое значение приобретают накопление данных и составление каталога распределения погрешностей средств измерений, датчиков, приборов, различных широкоприменяемых методов измерений с тем, чтобы эти данные можно было использовать и при наличии малых серий.

Создание базы данных распределений погрешностей для средств измерений, подвергаемых метрологической аттестации затруднено или практически невозможно, так как в перечень этих средств входят [2; 7]:

- вновь изготовленные нестандартизованные СИ;
- сложные СИ (измерительные установки, компьютерно-измерительные системы), собираемые на месте эксплуатации из компонентов, выпускаемых промышленностью;
- единичные экземпляры СИ общего применения при использовании их в более широком диапазоне измерений или в более жёстких условиях измерений, о чем указано в документации завода-изготовителя или при внесении конструктивных изменений, которые могут оказать существенное влияние на их метрологические характеристики;
- изделия, не являющиеся СИ, но аттестуемые с целью применения их в этом качестве.

В настоящее время при обработке экспериментальных данных используется небольшое количество алгоритмов. В действительности же количество алгоритмов, которые могут быть практически полезны при измерениях, существенно больше.

Анализ работ [4; 8] показывает, что используемые алгоритмы весьма разнообразны как по свойствам, так и по исходным моделям экспериментальных данных и подходам при их построении. Разнообразие алгоритмов обработки экспериментальных данных вызывает существенные затруднения при выборе алгоритма для конкретной решаемой измерительной задачи, тем более что на практике обычно сведения о свойствах экспериментальных данных бывают весьма ограничены. Поэтому для алгоритма обработки данных важнее не оптимальность, а гарантированная высокая эффективность обработки экспериментальных данных. Кроме того, необходимо выделить специфику проводимых исследований.

Стандартизованный алгоритм обработки экспериментальных данных должен предусматривать выполнение следующих основных процедур [2; 3; 5; 8]:

- исключения систематических погрешностей и оценку границы не исключённых остатков систематических погрешностей;
- проверки соответствия распределения результатов наблюдений нормальному или другому распределению;
- выбора статистического метода оценки результата измерения;
- вычисления результата измерения;
- оценки границ систематической погрешности измерения;
- оценки границ общей погрешности результата измерения.

Этот алгоритм можно использовать, если имеется значительная информация о законе распределения. При этом можно использовать оптимальные (или близкие к оптимальным) статистические методы обработки данных, разработанные для известных распределений.

Несмотря на возможные изменения количества процедур стандартного алгоритма обработки, процедура идентификации эмпирического закона распределения одному из стандартных законов является обязательной, так как вид закона распределения оказывает наиболее существенное влияние на достоверность результата измерения.

Надёжным средством повышения достоверности идентификации эмпирического закона распределения может являться предлагаемый алгоритм, предусматривающий проведение обработки экспериментальных данных, полученных в процессе проведения метрологической аттестации СИ и СК, в два следующих этапа:

- 1) установление соответствия эмпирического закона распределения с одним из стандартных законов по графическим признакам их совпадения;
- 2) проверка соответствия эмпирического закона стандартному по признакам выполнения критериев согласия.

При этом необходимо предусмотреть:

- использование гибких моделей обработки, позволяющих учитывать свойства реальных данных, в том числе и неопределённость;

- умеренную сложность (трудоемкость) и соответствие реальным возможностям исследователя;
- широкое использование типичных методов обработки данных;
- широкое использование ресурсов прикладных программ средств вычислительной техники.

Обобщённый алгоритм обработки экспериментальных данных, полученных в процессе проведения метрологической аттестации средств измерений, учитывающий изложенное выше, приведен на рис. 1. Этот алгоритм имеет относительно сложную процедуру обработки данных и требует применения средств вычислительной техники и соответствующего прикладного программного обеспечения.

На сегодня существует большое количество программных продуктов, удобных для реализации предлагаемого алгоритма, например, Mathematica, MATLAB и др. Среди них наиболее универсальной и относительно простой в пользовании является система MathCAD [6; 9]. К несомненным преимуществам системы MathCAD следует отнести возможность оформления результатов вычислений в виде готового документа и высокую степень интеграции с другими Windows-приложениями. В MathCAD имеется достаточное количество специальных статистических функций, позволяющих сократить до минимума время решения любой поставленной задачи.

Использование ресурсов MathCAD в приведенном алгоритме сводится к следующему. После введения экспериментальных данных в документ MathCAD следует их первичная обработка. Результат этой обработки должен быть представлен в виде гистограммы. Для построения гистограммы в MathCAD служит встроенная функция $\text{histogram}(n, v)$. Следует отметить, что наглядность отображения гистограммой закона распределения вероятностей результатов наблюдений зависит от соблюдения следующих правил:

- ширину интервалов, на которые разбивается ось абсцисс следует выбирать, по возможности, одинаковыми;
- количество интервалов устанавливается в соответствии с количеством наблюдений.

На основании анализа гистограммы из библиотеки MathCAD выбирается один из наиболее близких к экспериментальному стандартный закон распределения. Оценку близости закона распределения экспериментальных данных к принятой стандартной модели закона распределения можно выполнить путем сравнения их графических зависимостей. Такое сравнение можно выполнить с помощью графического редактора MathCAD, построив на одном графике гистограмму и выбранную стандартную модель распределения.

Если гипотеза о соответствии эмпирического распределения отклоняется, то необходимо построить полигон распределения. Полигон более наглядно, чем гистограмма отражает форму распределения. Полигон распределения можно построить путём интерполяции данных гистограммы. Для реализации процедуры интерполяции в системе MathCAD можно использовать одну из встроенных функций: linterp , interp , bspline .

Если гипотеза о соответствии полигона распределения стандартному отклоняется, то следует выполнить аппроксимацию полигона распределения непрерывной аналитической функции.

Методика подбора и расчета аппроксимирующей функции приведена в работе [4]. Для выполнения аппроксимации можно также использовать встроенные функции MathCAD. Таким образом, ресурсы MathCAD позволяют построить на одном графике гистограмму, полигон и аппроксимирующую функцию, что даёт возможность наиболее достоверно установить соответствие закона распределения экспериментальных данных стандартному распределению.

Возможно, что эмпирическое распределение вероятности удовлетворительно аппроксимируется несколькими различными функциями и тогда задача установления вида распределения имеет не единственное решение.

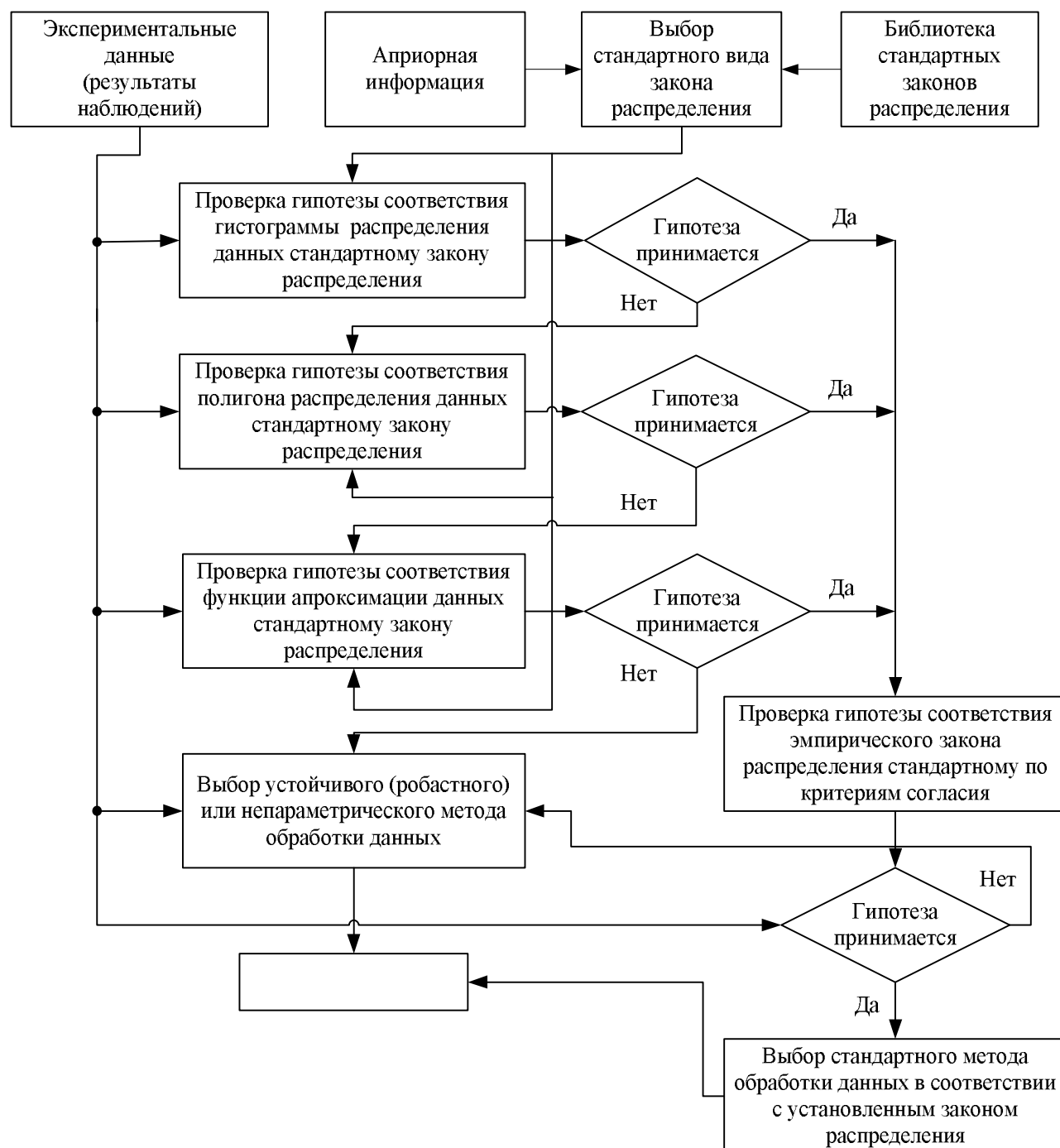


Рис. 1. Алгоритм обработки данных

В случае, если все гипотезы соответствия принимаются и можно считать, что эмпирический закон распределения соответствует нормальному, то для повышения степени достоверности результатов идентификации законов необходимо провести проверку нормальности закона по критериям согласия. Методика применения критериев согласия при идентификации формы закона распределения приводится в ряде работ по методам обработки экспериментальных данных, например [4; 5; 7; 8].

Если имеется значительная априорная информация о виде закона распределения, то процесс идентификации законов можно провести по принятию одной из гипотез соответствия и выполнению одного из критериев согласия. Например, если гипотеза о нормальности результатов наблюдений отклоняется, то по виду гистограммы можно

выдвинуть хотя бы гипотезу о симметричности или несимметричности. При симметричном характере гистограммы с помощью критериев согласия проверяется соответствие эмпирического закона распределения одной из стандартных аппроксимирующих функций.

В случае непринятия ни одной из гипотез и невыполнения ни одного из критериев согласия целесообразно применить устойчивый (робастный) или непараметрический метод обработки данных.

Рассмотрим выборку экспериментальных данных, приведенную в таблице.

Выборка экспериментальных данных

i	x	i	x	i	x	i	x
1	20,51	11	20,73	21	20,68	31	20,70
2	20,62	12	20,65	22	20,43	32	20,50
3	20,43	13	20,59	23	20,65	33	20,40
4	20,70	14	20,24	24	20,43	34	20,68
5	20,61	15	20,78	25	20,50	35	20,56
6	20,62	16	20,58	26	20,66	36	20,73
7	20,36	17	20,30	27	20,62	37	20,44
8	20,35	18	20,52	28	20,52	38	20,42
9	20,77	19	20,50	29	20,42	39	20,74
10	20,61	20	20,90	30	20,57	40	20,78

Методика обработки экспериментальных данных с использованием разработанного алгоритма и ресурсов MathCAD сводится к выполнению следующих процедур:

1. Ввести экспериментальные данные в документ MathCAD.

2. Построить гистограмму, установить, является ли данное распределение нормальным, а если нет, то при помощи одного из количественных признаков показать меру отличия от нормального. В качестве таких признаков можно использовать коэффициенты асимметрии и эксцесса. Вычислить эти коэффициенты в MathCAD можно с помощью встроенных функций $\text{skew}(x)$, $\text{kurt}(x)$ соответственно.

3. Построить полигон распределения и аппроксимирующую функции выбранного вида. Сопоставление законов распределения: стандартного, экспериментальных в виде гистограммы, полигона, аппроксимирующей функции, построенных на одном графике, позволяет установить различие или сходство между ними. В качестве примера результат такого совмещения представлен на рис. 3 для выборки экспериментальных данных, приведенных в таблице.

4. Выбрать метод обработки экспериментальных данных, руководствуясь работами [4; 5; 8].

5. Определить математическое ожидание (функция mean).

6. Вычислить несмещенную оценку среднеквадратического отклонения (функции Stdev).

7. Исключить грубые погрешности из результатов. Для этого целесообразно запрограммировать пользовательскую функцию, реализация которой зависит от принятого критерия. Возможная реализация такой функции для исключения грубых погрешностей по правилу 3σ приведена на рис. 2.

$$f(x) = \begin{cases} \mu \leftarrow \text{mean}(x) \\ \sigma \leftarrow \text{Stdev}(x) \\ j \leftarrow 0 \\ k \leftarrow \text{length}(x) \\ \text{for } i \in 0 \dots k-1 \\ \quad \text{if } |\mu - x_i| < 3\sigma \\ \quad \quad y_i \leftarrow x_i \\ \quad \quad j \leftarrow j+1 \end{cases}$$

Рис. 2. Функция исключения грубых погрешностей

После исключения грубых погрешностей необходим новый расчёт математического ожидания и среднеквадратического отклонения.

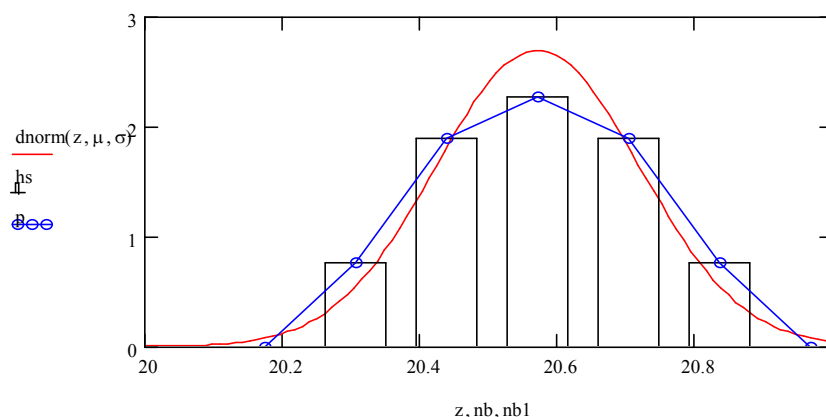


Рис. 3. Гистограмма и полигон распределения данных

Выводы. Разработанный алгоритм обработки данных, предназначенный для проведения метрологической аттестации средств измерений, имеет гибкие модели обработки экспериментальных данных, учитывает статистические свойства реальных данных, что позволяет относительно легко адаптировать его к решению конкретной измерительной задачи. Математические вычисления и графические построения выполняются с использованием прикладных программных средств вычислительной техники.

Список литературы

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11.02.1998 р. № 113/98-ВР // Відомості Верховної Ради. – 1998. – № 30 – 31. Ст. 194.
2. ДСТУ 3215 – 95 Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 10 с.
3. МИ 1317-2004. ГСИ. Результаты и характеристики погрешностей измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. МИ от 20.12.2004 N 1317 – 2004.
4. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 248 с.
5. ГОСТ 8.207–76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Метод обработки результатов наблюдений. ИПК изд-во стандартов – М.:– введ. 01.01.77. – 8 с.
6. Гурский Д. А. Вычисления в MathCAD/ – Мн.: Новое знание 2003. – 814 с.
7. Грановский Ю. М., Сирая Т. Н. Методы обработки экспериментальных данных. – Л.: Энергоиздат, 1990. – 288 с.
8. Бидасюк Ю. М. MathCAD – 11. – М.: Изд. Дом, 2004. – 224 с.

А. К. Зюзько, М. Ю. Буриченко, Ю. В. Петрова, В. В. Німич

Алгоритм опрацювання даних для метрологічної атестації засобів вимірювань

Розроблено алгоритм опрацювання експериментальних даних, який підвищує ефективність результатів досліджень засобів вимірювань під час їх метрологічної атестації.

A. K. Zyuzko, M. Y. Bourichenko, Y. V. Petrova, V. V. Nimych

Algorithm of treatment of data given during metrology attestation of facilities

There was developed an algorithm of treatment of experimental data that increases efficiency of results of research of measuring devices during metrology attestation.