

УДК 519.6

## **ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ С МНОГОУРОВНЕВОЙ САМООРГАНИЗАЦИЕЙ**

Мирошниченко И.В.,

Залевская О.В., к.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)*

*В статье рассматривается математическая модель определения экспериментальной среды погрешности параметров изделия. Необходимость описания их взаимодействия привела к использованию различных, иногда не совместимых формальных математических моделей. Вычисление суммарной погрешности, обусловленной совокупным действием всех учтенных источников погрешностей, является одной из самых сложных, если не самой сложной проблемой, которую приходится решать в процессе проектирования систем обработки экспериментальных данных (СОЭД). Сложность обусловлена большим количеством источников погрешностей или их групп и существенно различным характером их действия, а также необходимостью учета их взаимодействия, пренебрежение которыми может быть недопустимым, особенно в многоканальных СОЭД.*

*Ключевые слова: информационные технологии, адаптация, системы обработки экспериментальных данных, обобщённая точность.*

**Постановка проблемы.** Большим количеством источников погрешностей или их групп и существенно различным характером их действия, а также необходимостью учета их взаимодействия, пренебрежение которыми может быть недопустимым, особенно в многоканальных СОЭД приводит к необходимости описывать их действие различными, зачастую несовместимыми, формальными математическими моделями. Экспериментальное определение параметров среды по принятой математической модели может оказаться очень трудоемким и дорогостоящим в большинстве PRAR – сейсмологии, акустике, астрономии и др.

Основой научной деятельности, связанной с экспериментами в конкретной предметной проблемной области (PRAR – Problem area), в ходе которых проверяются эмпирические знания, философские идеи, гипотезы, теории и создаются концепции, являются модели –

материальные *физические* и *виртуальные*. Например, в одной из самых неформализуемых PRAR, современной научной (аллопатической) медицине, физическими моделями являются различные заменители крови и лимфы, протезы, имплантаты и тому подобное. Виртуальные модели в медицине являются теоретической базой (инструментом) для построения этих физических аналогов частей организма (технические устройства жизнеобеспечения, имплантаты и т.п.

Виртуальными моделями во многих PRAR являются *определения* (дефиниции, definition – DEF) и *графические* – GRAPH (рисунки, графики, чертежи, анатомические атласы, географические карты и т.п.). В биологии и медицине для постановки диагноза в большинстве случаев используются DEF и GRAPH.

Формальные *математические модели* (MM) в виде формул, таблиц, матриц и *графоаналитические модели* (MAGRA) в виде комбинации MM и GRAPH являются основой современной научной деятельности в большинстве PRAR.

*Статические* MM, описывающие состояния исследуемых объектов, и *динамические* MM, описывающие последовательности этих состояний, дают возможность использовать научные методы преобразования информации, гарантируя ее достоверность после преобразования в системах обработки экспериментальных данных (СОЭД).

Отрасль науки и техники, занимающаяся проектированием, производством и использованием систем переработки информации, использует так называемые информационные технологии (ИТ), определяемые как триединство “*математическая модель-алгоритм-программа*”.

*Алгоритм* обеспечивает возможность применения математических, например, численных методов, к решению поставленной задачи (или комплекса задач по данной проблеме), что открывает возможность применения ЭВМ.

*Программа* же дает возможность использования вполне определенных методов обработки, например, цифровых. Отсюда видна ключевая роль MM в ИТ: модель должна быть адекватна фрагменту объективной реальности, отвечая требованиям достоверности получаемых выводов.

Несоответствие реального процесса приписываемой ему MM, называемое *погрешностью классификации*, оценка которой составляет основную проблему научного эксперимента в любой PRAR при использовании СОЭД. Повышение эффективности использования MM невозможно без разработки алгоритмического и технического обеспечения СОЭД и задач анализа свойств самих MM. Поэтому ИТ

является местом столкновения противоречий между желанием обеспечить максимально возможное время эксплуатации проектируемых СОЭД и тенденцией к все более ускоряющейся смене инструментальных средств, составляющих материальную основу СОЭД в целом.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Прикладные исследования в различных PRAR направлены, в основном, на выработку рекомендаций для различных этапов жизненного цикла LT (LT – Life cycle Time) любых технических систем (ТС), в том числе и СОЭД. Поэтому “*формирование математических моделей нельзя полностью переложить на плечи математиков. При таком подходе существует опасность “выхолащивания” моделей, отрыва их от предмета исследований. Отсутствие “хороших” математических моделей – тормоз, мешающий вскрыть немалые резервы повышения производительности научного труда на основе вычислительного эксперимента*” [2].

Следует отметить, что понятие “хорошая модель” в большинстве случаев не формализовано и любую ММ необходимо анализировать и применять только для вполне определённых PRAR. Некоторые черты реальности могут не получить отражения в ММ, т.к. могут считаться или несущественными для моделирования или их невозможно формализовать. Но так как число связей между различными системами возрастает, а имеющиеся ресурсы ограничены по различным причинам, то появляется необходимость в поиске только наилучших решений все более усложняющихся задач.

Для многих PRAR в качестве ММ принимаются случайные процессы  $\xi(t)$ , описываемые вероятностными характеристиками (ВХ): многомерными функциями (законами) распределения, моментными функциями, характеристическими функциями и т.д. [4]. В основе же экспериментальных исследований в большинстве PRAR чаще всего лежит вычисление оценок этих ВХ, называемых статистическими характеристиками (СХ), по результатам измерений параметров сигналов  $x(t)$  от первичных измерительных преобразователей (далее – датчиков) СОЭД. То есть методы вычисления СХ ММ в виде  $\xi(t)$ , предполагают работу со случайными сигналами  $x(t)$  и помехами  $n(t)$ .

Выбор СХ в общем случае включает элемент эвристики и принципиально неоднозначен. В теории примером тому является выделение классов неэргодических и нестационарных  $\xi(t)$ , для которых использование ВХ не допускает даже косвенной проверки сходимости СХ к ВХ. При ограниченной информации о  $\xi(t)$  возникает необходимость в *адаптации – способности СОЭД модифицировать себя или внешнюю среду при изменении условий*

*функционирования с целью компенсации (хотя бы частичной) потери эффективности функционирования.*

Адаптация – это высшая ступень автоматизации систем, приводящая к появлению качественно нового свойства в их функционировании. Принцип построения адаптивных СОЭД основан на вычислении СХ по результатам измерения параметров  $x(t)$ , их запоминания (формирования базы данных) и введения в функционал обработки СОЭД. Для СОЭД адаптация характеризуется не только наличием устройств измерения и обратных связей, но и наличием в составе СОЭД анализаторов результатов измерений, наделенных свойством памяти и обладающих способностью принимать решения на основе аналитических и формальных логических выводов [3].

С системной точки зрения адаптация представляет собой процесс непрерывной *оптимизации*, при которой адаптивная СОЭД должна, по крайней мере, в течение некоторого времени, поддерживать свою оптимальность. Однако оптимизация структуры СОЭД на практике затруднительна, так как невозможно задать вид и количество СХ из-за неоднородности помех  $n(t)$  и условий работы в различных PRAR. При этом остается невыясненной оптимальность всей процедуры в целом, т.к. вид СХ выбирается с позиций *теории измерений*, предполагающей получение СХ с некоторой погрешностью, а функционал обработки в СОЭД – с позиций *теории проверки гипотез*, предполагающей наличие полной информации о сигналах  $x(t)$  и помехах  $n(t)$  [9]. Информационно-измерительный подход гарантирует совместимость различных множеств СХ, вычисляемых по *результатам измерений*. Это дает возможность разработать общие для всех систем, их узлов и блоков СОЭД, а также сред распространения сигналов (носителей информации) методологию вычисления СХ и *оптимально* их согласовать, что может позволить уменьшить завышенные требования к элементам СОЭД и значительно уменьшить затраты ресурсов на различных этапах ЛТ.

Понимая под *оптимизацией* достижение наилучшего результата функционирования СОЭД из множества возможных вариантов ее построения, на уровне системного анализа в составе СОЭД необходимо рассматривать устройство измерения, в качестве которого чаще всего используется информационно-измерительная система (ИИС), блок вычисления СХ и блок анализа и принятия решений. Оценка эффективности СОЭД для любой PRAR должна предусматривать совместный анализ эффекта от её применения при выполнении условий, реализующих принятые принципы и затрат на его достижение.

*Технические критерии* (их много) отражают технический уровень СОЭД и степень её пригодности для решения поставленных

задач. Однако оценка эффективности по техническим критериям носит односторонний характер и является недостаточной, за исключением тех, случаев, когда сняты ограничения на затраты ресурсов.

*Экономические критерии*, более общие и универсальные, не отражают, в большинстве случаев, технического совершенства и динамики работы СОЭД.

*Технико-экономические комплексные критерии* являются предпочтительными при формировании оценки эффективности, представляющей собой минимум статистической погрешности при ограничениях на затраты ресурсов, так как СОЭД имеют возможность воздействия на объект измерений с целью приближения к  $EXTR\left\{\begin{matrix} MAX \\ MIN \end{matrix}\right\}$  целевой функции эксперимента – погрешности, надежности, затрат и стоимости ресурсов и т. д. [3].

**Формулирование целей статьи.** При использовании технико-экономических критериев задача оптимизации адаптивной СОЭД сводится к последовательному выполнению трех основных этапов:

- 1) получению аналитических зависимостей для целевых функций, например, погрешности измерений, являющейся определяющим показателем качества системы;
- 2) нахождению математических соотношений для задач оптимизации;
- 3) принятия решения по одному из выбранных (или разработанных) критериев.

Для большинства технических систем возможны четыре вида адаптации [3]:

1. *Внешне-внешняя*, когда система реагирует на внешние изменения модификацией своего окружения (выключение, в том числе и уничтожение, внешних источников помех; экранирование; перенос самой системы в другое место;

2. *Внешне-внутренняя*, при которой система реагирует на внешние изменения модификацией самой себя, например, изменением структуры оптимального приемника сигналов при изменении характера помех, включая самоликвидацию;

3. *Внутренне-внешняя*, при которой система реагирует на внутренние изменения модификацией своего окружения (включение внешних источников питания при энергетической адаптации, включение внешнего резерва при отказах, а также любые приемы дублирования и многократного резервирования и т.д.;

4. *Внутренне-внутренняя*, при которой система при внутренних изменениях модифицирует сама себя. Примером могут служить СОЭД с адаптивными приемниками с внутренним контуром адаптации.

Адаптивные СОЭД должны непрерывно решать

оптимизационные задачи, или, иначе говоря, решать задачи экстраполяции ММ (прогноза)  $\xi(t)$ , которые позволяют оценивать будущие значения  $\xi(t)$  по результатам измерения прошлых и текущих значений  $x(t)$ . К наиболее точным, хотя и громоздким, способам прогнозирования относятся методы моделирования на ЭВМ, в первую очередь имитационного [3]. Предсказанные тем или иным способом значения параметров  $\xi(t)$  являются исходными данными для выработки и принятия решения.

Для стационарных гауссовых  $\xi(t)$  достаточно полно разработаны теория и практики применения следующих СХ: математического ожидания  $M[x(t)]$  и дисперсии  $\sigma^2(x)$ ; менее полно – моментов выше второго порядка (начальных –  $\alpha_k$  и центральных –  $\mu_k$ ), кумулянтов  $C_k$  и некоторых других СХ [4].

В социологических и экономических исследованиях, экологическом мониторинге, геофизике, сейсмологии, астрономии и других PRAR в качестве ММ чаще всего принимаются негауссовые и нестационарные  $\xi(t)$ , для которых теория и практика вычисления оценок СХ разработаны в меньшей степени [1].

**Основная часть.** Рассмотрены особенности проектирования СОЭД при вычислении различных СХ стационарных гауссовых и негауссовых  $\xi(t)$  и помех  $n(t)$ , в том числе и высоких порядков, а также СХ, не имеющие аналогов в теории вероятностей.

*Комплексирование* статистических измерений – метод повышения точности вычисления оценки основной СХ, за счет дополнительных одновременных измерений для вычисления оценки одной (или более) дополнительной СХ, имеющей с основной СХ определенную связь и используемую для уменьшения погрешности вычисления основной СХ, причем в каналах измерения СХ могут использоваться как прямые, так и косвенные, совокупные и совместные измерения. Целью комплексирования является получение более высокой, чем у одноканальной СОЭД, точности.

Это обусловлено тем, что комплексированная одноканальная СОЭД по отношению к основной СХ оказывается “как бы многоканальной” (двух и более), так как вычисляемые СХ чаще всего связаны *статистически*. В такой “многоканальной” СОЭД суммирование полезных сигналов  $x(t)$  оказывается близким к арифметическому, а помех  $n(t)$  – к геометрическому, в результате чего относительная интенсивность помех уменьшается [1].

При этом могут использоваться различные методы так называемой “стационаризации”, так как во многих случаях, например, при исследованиях реверберационной помехи в активной сейсмологии и гидроакустике [4, 5], являющейся специфической помехой, необходим учет внутренних неоднородностей среды. Поэтому

главным “инструментом” при вычислении параметров сред по результатам измерения должна быть СОЭД с элементами самоорганизации, основа работы которой состоит в использовании постоянно обновляемых знаний о PRAR. Для нестационарных и неэргодических  $\xi(t)$  при стохастической экстраполяции возможно использование адаптации в виде так называемых “обучающихся алгоритмов” (или фильтров), использующих самые разные информативные параметры.

Появление таких СОЭД обусловлено общими законами эволюции систем, на основании которых можно сформулировать основные задачи разработчиков СОЭД:

1) для автоматизированных СОЭД необходимо в алгоритмы и “металл” закладывать возможности самоорганизации (адаптации по скорости обработки, повышению точности, возможности комплексирования измерений и т. д.);

2) пользователям СОЭД должна быть предоставлена возможность изменения взаимодействия с системой в зависимости как от вида входных  $x(t)$ , подлежащих обработке по фиксированным программам, так и от состояния базы данных по PRAR.

Определяющим показателем качества, по которому принимается решение оценивать качество любой продукции (ГОСТ 15467-79), для СОЭД может быть принят (ГОСТ 4.199-85 и ГОСТ 8.438-81) предел допустимых (основной и дополнительной) погрешностей. Если при определении этих погрешностей учитываются все (или все существенные) источники погрешностей, рассматриваемые в теориях аппаратурной точности, надежности, помехозащищенности, электромагнитной совместимости (ЭМС), то точность такой системы будем называть *обобщенной точностью*, характеризуемой совокупностью показателей или *точностью в широком смысле* [5, 6].

При учете лишь методических, аппаратурных и погрешностей от физических неопределенностей (от неточного знания физических законов и мировых констант), влияние которых разработчик не в состоянии полностью устранить, точность системы называется *аппаратурной точностью* или *точностью в узком смысле* [4].

Вычисление суммарной погрешности, обусловленной совокупным действием всех учтенных (или, что важнее – существенных) источников погрешностей, является одной из самых сложных, если не самой сложной проблемой, которую приходится решать в процессе проектирования СОЭД.

**Выводы.** Большим количеством источников погрешностей или их групп и существенно различным характером их действия, а также необходимостью учета их взаимодействия, пренебрежение которыми может быть недопустимым, особенно в многоканальных СОЭД

приводит к необходимости описывать их действие различными, зачастую несовместимыми, формальными математическими моделями. Экспериментальное определение параметров среды по принятой математической модели может оказаться очень трудоемким и дорогостоящим в большинстве PRAR – сейсмологии, акустике, астрономии и др.

### *Литература*

1. Марчук М.А. Обобщенная точность систем обработки экспериментальных данных / М.А. Марчук, И. В. Мирошниченко // Науковий журнал Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганск, 2012. – № 8 (179) Ч 2. – С.121-130.
2. Детлінг В.С. Вибір параметрів адаптивних систем обробки експериментальних даних / В.С. Детлінг, І.В. Мірошниченко, В.І.Павленко, В.О Тихоход // Адаптивні системи автоматичного управління: міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ: Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, 2012.– Вип. 20(40). – С.41-51.
3. Воллернер Н.Ф. Выбор оптимальной длительности реализации при аппаратурном анализе случайных процессов / Н.Ф. Воллернер // Изв. ВУЗов СССР, радиофизика. – 1966. – №4. – С. 737-740.
4. Норенков И.П. Информационная поддержка наукоёмких изделий (CALS-технологии) / П.К. Кузьмик. – М.: Изд. МВТУ им. Н.Э Баумана, 2002.
5. Мирошниченко И. В. Формирование математической модели волнистости по результатам вычисления шероховатости протяженных изделий / И. В. Мирошниченко // “Технологический аудит и резервы производства”. – № 2/1 (16). – Харьков 2014. – С.11-15.
6. Мирошниченко И. В. Об одном способе классификации статистических измерительных задач / И. В. Мирошниченко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб. наук. праць Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України. – Кам'янець-Подільський: Національний університет ім. Івана Огієнка, 2012.– Вип. 7. – С.132-139.

**ОБРОБКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫХ ДАНИХ В  
АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ З БАГАТОРІВНЕВОЮ**

## САМООРГАНІЗАЦІЮ

Мірошніченко І.В., Залевська О.В.

*У статті розглядається математична модель визначення експериментальної середовища похибки параметрів виробу. Необхідність опису їх взаємодії привела до використання різних, іноді несумісних формальних математичних моделей. Обчислення сумарної похибки, обумовленої сукупною дією всіх врахованих похибок, є однією з самих складних, якщо не найскладнішою проблемою, яку доводиться вирішувати в процесі проектування систем обробки експериментальних даних (СОЕД). Складність обумовлена великою кількістю похибок або їх груп і істотно різним характером їх дії, а також необхідністю врахування їх взаємодії, нехтування якими може бути неприпустимим, особливо в багаторівневих СОЕД.*

*Ключові слова: інформаційні технології, адаптація, системи обробки експериментальних даних, узагальнена точність.*

**EXPERIMENTAL DATA PROCESSING IN ADAPTIVE SYSTEMS  
WITH MULTI-LEVEL SELF-ORGANIZATION**

Miroshnichenko I., Zalevska O.

*The mathematical model of determining the experimental environment of the product parameters error is considered in the article. The need to describe their interaction led to the use of various, sometimes incompatible, formal mathematical models. The calculation of the total error due to the cumulative effect of all the considered sources of errors is one of the most difficult, if not the most difficult, problem to be solved in the design of the EEA. The complexity is caused by a large number of sources of errors or their groups and by a significantly different nature of their action, as well as the need to take into account their interaction, which can be inadmissible, especially in multi-channel EEDS.*

*Key words: information technologies, adaptation, experimental data processing systems, generalized accuracy.*