

способом / Г.Н.Семенов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1984. – № 11. – С. 46-49.

3. Ситников Н.Б. Исследование критериев оптимальности процесса вращательного бурения скважин / Н.Б. Ситников, И.А. Бердов, В.А. Савельев // Изв. вузов. Горный журнал. – 1977. – № 3. – С. 131-135.

4. Продаем PDC долота. Компания ЮНИТУЛЗРус. 02.03.2009. [http // www.unitools.ru](http://www.unitools.ru) – 61 с.

5. Новое поколение долот PDC компании "Varel International". – М.: Филиал компании Varel International, 2009. – 2 с.

6. Тимофеев В.А. О некоторых проблемах синтеза критических систем управления / В.А. Тимофеев // Радиотехника. Информатика. Управление. – 2004. – № 1 (11). – С. 160-162.

7. Балакирев В.С. Оптимальное управление процессом химической технологии (Экстремальной задачи в АСУ) / В.С. Балакирев, В.М. Володин, А.М. Цирлин. М.: Химия. – 1978. – 383 с.

8. Драганчук О.Т. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу / О.Т. Драганчук, Т.О. Пригоровська // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4. – С. 11-15.

9. Фадеева О.В. Удосконалення математичної моделі технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин / О.В. Фадеева // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки. – 2008. – № 6. – С. 55-61.

10. Александров А.А. Экономика бурения скважин долотами уменьшенного диаметра / А.А. Александров – М.: Недра. – 1968. – 192 с.

Надійшла 15.12.2009 р.

УДК 389: 638.011.54

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины

ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ: ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Настоящая статья является второй статьей после статьи об универсальном уравнении измерений, посвященной теории и методам избыточных измерений. В ней рассмотрены современные определения функции преобразования измерительного канала, операции измерительного восприятия, операциям первичного, вторичного и третичного преобразования физических величин, операциям сравнения и т.д. Настоящая статья направлена на расширение и углубление наших представлений и знаний о теории избыточных измерений.

The current article is the second in chain article about universal equalization of measurings, to the devoted theory and methods of the surplus measurings. Modern determinations of function of transformation of measuring channel are considered in it, to the operation of measuring perception, operations of primary, second and tertiary transformation of physical sizes, to the operations of comparison et cetera The real article is directed on expansion and deepening of our presentations and knowledges about the theory of the surplus measurings.

Ключевые слова: избыточные измерения, измерительные операции

Введение

В связи с созданием и развитием теории избыточных измерений (ТИИ) возникла необходимость в пересмотре существующих определений понятий «функция преобразования», «измерительное преобразование» и их частные виды, «измерительное восприятие», «сравнение» и т.д. с позиции общенаучной методологии системного подхода, по-новому подойти к существующим определениям, критически их осмыслить и предложить новые определения, свойственные не только данной теории, но и теории прямых измерений. Это расширит и углубит наши представления и знания о теории прямых и избыточных измерений.

Объект и предмет исследований

Объектом исследований являются основные измерительные операции.

Предметом исследований являются как операции измерительного преобразования ФВ, так и операции измерительного восприятия и сравнения ФВ.

Постановка задачи (цель статьи)

Целью настоящей статьи является ознакомление ученых и специалистов в области метрологии и измерительной техники с новым подходом к раскрытию сущности измерительных операций.

Полученные результаты

1. *Функции преобразования и их структуры*

Функция преобразования (ФП) является основной метрологической характеристикой измерительного канала (ИК). Она описывает процесс измерительного преобразования ФВ.

Формализовано ФП описывается уравнением связи между ФВ, т.е. уравнением величин. Запись ФП в виде уравнения числовых значений используется для проведения соответствующих расчетов, построения графиков и таблиц. В метрологии чаще оперируют с понятием «функция преобразования ИП или ИК».

Определение 1 (с математической точки зрения)

ФП ИП – функциональная зависимость выходной величины от входной, описываемая аналитическим выражением или графиком [1].

Определение 2 (с метрологической точки зрения)

ФП ИП – уравнение связи входной и выходной ФВ, формализовано описывающее их причинно-следственную связь.

ФП указывает «что» во «что» и через «что» должно преобразовываться.

2. Функция преобразования измерительного канала

Определение 1

ФП ИК – функция, отображающая совокупность операций установления выходной ФВ по результатам измерительного преобразования одной или ряда однородных входных ФВ, закономерно связанных между собой по размерам, включающих искомую и образцовую ФВ в явном или неявном виде.

ФП ИК (вместе с ФП сенсора) состоит из ряда подфункций, которые, в свою очередь, состоят из элементарных функций. ФП ИК, подфункции и элементарные функции имеют соответствующие структурные модели, т.е. определенную структуру их графического представления (см. рис. 1). Каждая элементарная функция описывает соответствующую основную физическую операцию (см. табл. 1) [2].

Определение (элементарная функция преобразования)

Под элементарной ФП понимают наименьшую практически неделимую функцию, которая описывает элементарную операцию преобразования качественной и количественной определенности свойства (или сигнала) одной физической природы в качественную и количественную определенность свойства (или сигнала) той же или иной физической природы с учетом заданных условий и ограничений.

Определение (подфункция преобразования)

Подфункция измерительного преобразования – это определенным образом связанные между собой две и более элементарных ФП, описывающие конечную совокупность элементарных операций преобразования свойства (сигнала) одной физической природы в качественную и количественную определенность свойства той же

или иной физической природы с учетом заданных условий и ограничений.

Несколько подфункций образуют ФП ИК с присущими им условиями и ограничениями и с учетом заданных целей преобразования.

Все ФП технических систем можно вывести из перечисленных в табл. 1 основных физических операций. Для каждой основной операции можно указать соответствующие физические, химические или биологические эффекты. Зная их не сложно теоретически описать все существующие решения для поставленной измерительной или технической задачи.

ФП ИК обеспечивает достижение поставленной цели преобразования в соответствие с заданной совокупностью элементарных операций, объединенных в соответствующую структуру с установленными условиями и ограничениями. В качестве последних рассматриваются пространственно-временные и спектрально-полевые ограничения.

Таблица 1

Основные физические операции

№ п/п	Используемая операция	Противоположная операция	№ п/п	Используемая операция	Противоположная операция
1	Излучение	Поглощение	7	Изменение направления	Изменение направления
2	Проводимость	Изолирование	8	Выравнивание	Колебание
3	Сбор (сведение, фокусирование ¹)	Рассеивание (разведение, дефокусиров.)	9	Связь	Прерывание (коммутация)
4	Проведение (доставка, передача)	Непроведение	10	Соединение	Разъединение
5	Преобразование	Обратное преобразование	11	Сборка	Разделение
6	Увеличение (усиление)	Уменьшение (ослабление)	12	Накопление (вещества, энергии ли информации)	Выдача (вещества, энергии ли информации)

ФП ИК отображает процесс измерительного преобразования рядов ФВ во времени и в пространстве. Для их различия используются соответствующие индексы (например «s» – space (пространство), «t» – time (время) или «st» – пространственно-временное преобразование).

Определение 2

ФП ИК – функция, описывающая процесс достижения априори заданной цели измерительного преобразования ФВ посредством конечной совокупности закономерно связанных во времени и в пространстве элементарных функций и с учетом заданных условий и ограничений.

ФП ИК описывается конечной совокупностью структурированных функциональных (причинно-

¹ Информация в скобках добавлена автором

следственных) связей между входными и выходными величинами.

Определение 3

ФП ИК – функция, характеризующая процесс качественного и количественного преобразования ряда входных однородных свойств в выходные в дискретные моменты времени при установленных условиях и ограничениях.

Поскольку все процессы в ИК могут быть сведены к конечному числу элементарных функций, то, с целью отображения тонкой структуры ФП, представляется целесообразным при проектировании СИ представлять ФП ИП или ИК также и через структуру элементарных функций [2]. Обычно разрабатываются несколько альтернативных структур ФП величин одной физической природы в величины той же или иной физической природы. Затем, по признаку оптимальной пригодности, отбирается одна из них. Процесс повторяется до тех пор, пока разрабатываемая структура ФП не будет соответствовать заданной ФП или желаемой связи «причина-следствие» проектируемого ИП или ИК. На сегодня методология и методы разработки структур ФП ИП или ИК на основе физических, химических и биологических элементарных функций до сих пор находятся в начальных стадиях своего развития. На рис. 1 приведены разные виды структур функций измерительного преобразования ФВ.

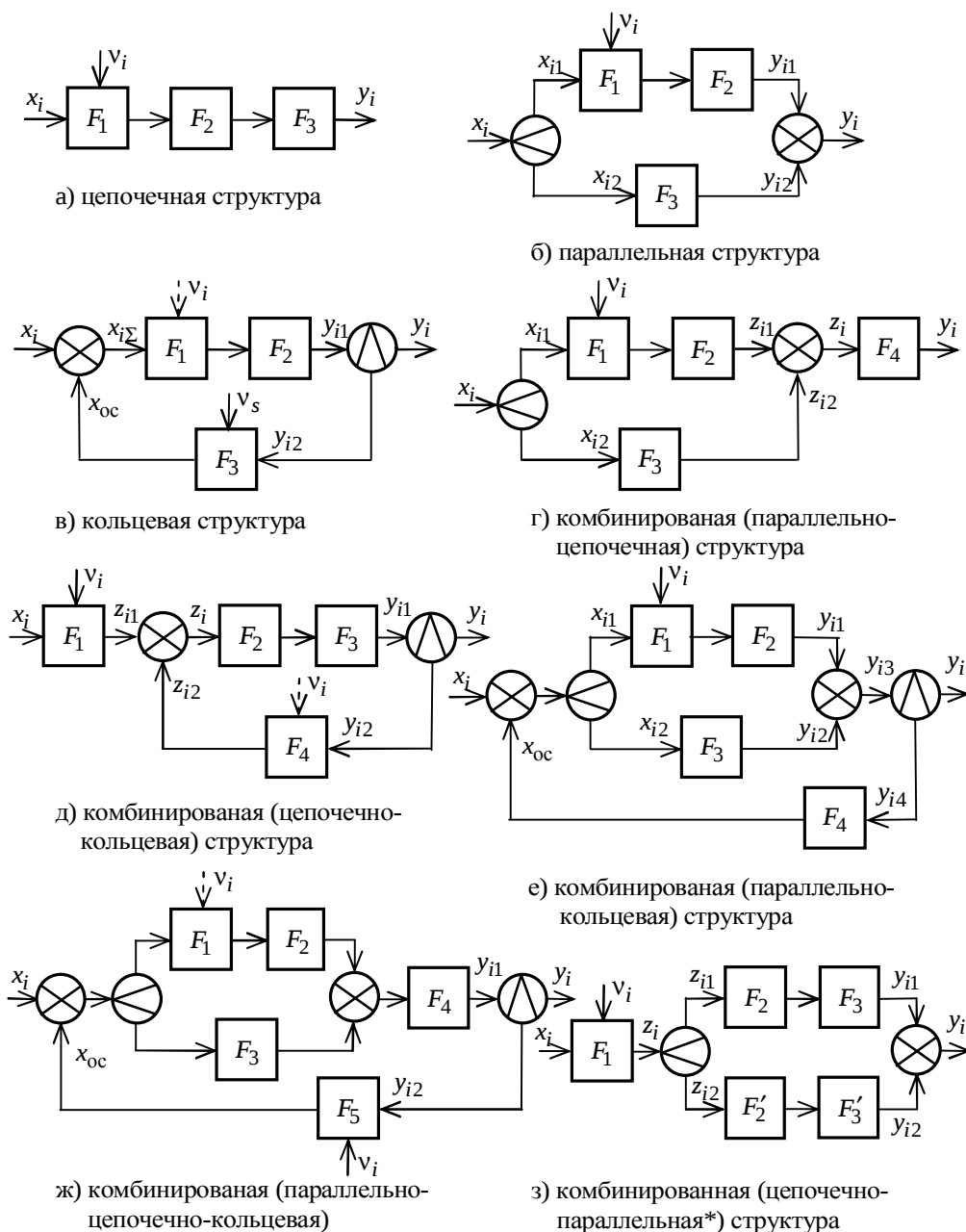


Рис. 1. Виды структур функций измерительного преобразования физических величин

* Для параллельно соединенных идентичных подфункций

В технике выделяются три основные вида базовых структур ФП [2]: цепочечная, параллельная и кольцевая. Цепочечная структура ФП описывает процессы измерительного преобразования свойств, происходящие последовательно один за другим (рис. 1, а). Параллельная структура ФП описывает процессы измерительного преобразования свойств, которые протекают одновременно и параллельно, обеспечивая, в

конечном счете, получение требуемого свойства при заданном входном (рис. 1, б). На входе приведенной структуры в виде графических символов показана операция разветвления действия входного свойства (сигнала), а на выходе – операция суммирования результатов параллельного преобразования.

Кольцевая структура ФП описывает процесс измерительного преобразования свойств с обратными связями (рис. 1, в).

На основе базовых структур ФП могут быть синтезированы и другие структуры (рис. 1, г-ж): параллельно-цепочечная, цепочно-кольцевая, параллельно-кольцевая, параллельно-цепочно-кольцевая и другие. Изменение вида элементарной функции (операции) приводит и к изменению вида подфункции при сохранении вида базовой структуры (рис. 1, з).

Это дает возможность получения множества вариантов структур функций преобразования, описывающих те или иные физические операции или процессы в ИК СИ.

В настоящее время возрос интерес к «гибким» ФП ИК, особенно в связи с развитием ТИИ. ФП должна быть дискретно управляемой по одному или нескольким параметрам. Управление осуществляется путем изменения параметра преимущественно первой из цепочки элементарных функций. На рис. 1 сплошными стрелками показаны предпочтительные воздействия на элементарные функции, а пунктиром – дополнительные.

Для информативности представления цепочечных структур, на рис. 1 указаны входные, выходные и промежуточные величины (или сигналы), участвующие в процессе преобразования.

3. Основные измерительные операции

Согласно приведенным в [3] определениям понятия «измерение», можно выделить следующие измерительные операции: измерительное восприятие, измерительное преобразование ФВ, сравнение ФВ (непосредственное и опосредованное в реальном и виртуальном мирах) с одновременным представлением результата измерений в удобной для восприятия форме. Причем сравнение включает в себя (под)операцию подготовки к сравнению, само сравнение и (под)операцию отображения результата сравнения в виде, удобном для восприятия и дальнейших преобразований.

3.1. Восприятие – первичная операция измерительного преобразования ФВ

Определение 1 (философское)

Восприятие (или перцепция, – от лат. Perceptio) – это один из уровней познания окружающих предметов и явлений [4].

Определение 2 (философское)

Восприятие – процесс отражения предметов и явлений действительности в совокупности их различных свойств и частей, связанный с пониманием целостности отражаемого [5].

Определение 3 (классическое, обобщенное [6])

Восприятие – это способность обнаруживать, понимать, различать и усваивать явления внешнего мира и формировать из них образ действительности.

В этом проявляется его активность. Восприятие не терпит однообразия, ему нужны изменения и приносимая ими информация. От качества восприятия зависит воспринимаемый образ действительности.

Определение 1 (измерительное восприятие)

Измерительное восприятие¹ – это отражение действующего в данный момент на вход сенсора, биосенсора или ИП свойства той или иной физической природы во всех его проявлениях.

Определение 2 (измерительное восприятие)

Измерительное восприятие – процесс обнаружения и согласованного приема (или перцепции) количественной и качественной определенности свойств (или сигналов) в пространственно-временной и спектральных областях через окружающую (полевую) среду² или линии связи разной физической природы.

Данное понятие закрывает пробел в существующем определении понятия «измерение». Известно, что достоверное преобразование свойств не возможно без согласования метрологических характеристик функциональных блоков ИК (вместе с сенсором или биосенсором) в пространственно-временной и спектральных областях с характеристиками преобразуемых свойств (сигналов). Измерительное восприятие предполагает приведение в соответствие метрологических характеристик функциональных блоков или ИК в целом поставленной измерительной задаче, т.е. обеспечение заданного качества преобразования свойств. Прежде всего это касается согласованию областей значений преобразуемого свойства, характера и видов используемых элементарных ФП, а также стабильности их параметров. В этой связи данная операция должна быть первичной (неотъемлемой) операцией любого измерительного преобразования ФВ. Измерительное восприятие, выполняемое до преобразования свойств (сигналов), направлено на исключение или сведения к минимуму субъективной погрешности измерения, а между элементарными процессами преобразования – на согласование характеристик с целью уменьшения методической погрешности.

Операции (фазы) восприятия

Согласно [5], процесс восприятия состоит из четырех фаз:

1) обнаружение – исходная фаза восприятия, на которой по воспринятому образу можно лишь определить, есть ли воздействие;

¹ понятие «измерительное восприятие» предложено автором

² или электромагнитный эфир Лоренца

2) различие – выделение из совокупности свойств (сигналов) той или иной физической природы интересующих признаков (временных, спектральных или полевых).

При измерениях в наномире измерительное восприятие включает в себя и субъективное восприятие исследуемых объектов (предметов или явлений) действительности человеком. В этой связи к процессу восприятия добавляется еще две операции, –

3) идентификация (зрительная¹) – сопоставление свойства с выделенными признаками с одним из известных свойств;

4) опознание аналогичных (знакомых) объектов.

Большее теоретическое и практическое значение имеет классификация восприятий по видам явлений и видам отображения в них объектов окружающего мира.

Классификация восприятий по видам явлений

По видам явлений выделяют ФВ вещественной, энергетической и информационной групп [7]. В этой связи различают:

восприятие физических и физико-химических свойств веществ и их состава, т.е. восприятие свойств «вещественной группы»;

восприятие свойств, отражающих энергетические характеристики процессов, т.е. восприятие свойств «энергетической группы»;

восприятие свойств, отражающих динамические и статические характеристик процессов, т.е. восприятие свойств «информационной группы».

Классификация восприятий по видам отображения

в них объектов окружающего мира

По видам отображения объектов окружающего мира восприятия делятся на следующие группы [8]:

восприятие предметов окружающего мира, отображающее особенности их вещного, телесного бытия;

восприятие пространства, пространственных отношений между вещами;

восприятие времени, временных отношений между вещами и явлениями окружающего нас мира;

восприятие движений совершаемых вне нас находящимися предметами и наших собственных;

восприятие свойств биологических и других объектов.

Восприятие предметов происходит, в основном, за счет восприятия формы², так как она является наиболее надежным признаком, остающимся неизменным при изменениях цвета, размеров или положения предмета.

Количественные свойства измерительного восприятия: порог восприятия и объем восприятия.

Определение

Порог восприятия – минимальный уровень чувствительности технического средства (сенсора, биосенсора или ИП), необходимый и достаточный для регистрации наличия воздействия.

Определение

Объем восприятия – это максимально возможная количественная определенность свойств или событий, воспринимаемых в единицу времени.

Зависит от быстродействия или полосы пропускания сенсора, биосенсора или ИП.

Основные свойства измерительного восприятия

Основными свойствами измерительного восприятия являются: предметность, целостность, константность, категориальность и избирательность [9].

1. Предметность

Предметы и явления воспринимаются как единое целое, в котором его отдельные компоненты предстают в единстве. Отсутствие в предмете какого-либо одного его стороны или детали не мешает целостному восприятию. Только в процессе анализа предмет расчленяется на составляющие, выделяются те или иные его характеристики [8].

Измерительное восприятие всегда связано с природой свойства объекта измерения (предмета или явления), с его количественной и качественной определенностью и вызвано проявлением его физической сущности. Вся информация, получаемая с помощью СИ, относится к искомому свойству объекта измерения и характеризует его.

Определение 1

Предметность измерительного восприятия – свойство восприятия представлять мир в форме целостных образов, относящихся к воспринимаемым объектам измерений.

Измерительное восприятие, как и восприятие вообще, целостно и предметно. Результат измерительного восприятия – это образ того или иного свойства предмета или явления, получаемый в виде, удобном для его дальнейшего преобразования или измерения.

Определение 2

Предметность измерительного восприятия – свойство, заключающееся в возможности представления искомого свойства (сигнала) в форме целостных образов, относящихся к воспринимаемым объектам измерений.

Предметность восприятия проявляется в соотношении сведений о свойствах объекта измерения с самими объектами как носителями определенной информации.

¹ характерна для нанометрии, где широко используется зрительное восприятие объекта

² Формой называются характерные очертания и взаимное расположение деталей предмета.

2. Целостность

Целостность восприятия – это отражение целостности, объективно присущей воспринимаемому объекту измерения. С учетом [5], дадим определение целостности измерительного восприятия.

Определение 1

Целостность – свойство измерительного восприятия, состоящее в том, что искомое свойство или совокупность искомых свойств одного или пространственно распределенных объектов измерений воспринимаются как устойчивое системное целое (при разных проявлениях свойств), даже если некоторые части этого целого в данный момент не могут быть наблюдаемы.

Измерительное восприятие отражает отношения между свойствами (сигналами) и их характеристиками (совокупностью различных проявлений свойств (сигналов)), стремится объединить их в какой-то целостно воспринимаемый образ, чтобы определить что это за свойство (сигнал) и обеспечить его дальнейшее преобразование или измерение.

3. Константность (постоянство)

Условия, в которых осуществляется измерительное восприятие, чрезвычайно многообразны и изменчивы. Но свойство (сигнал) воспринимается достаточно постоянным, независимо от условий его восприятия. Относительная независимость характеристик свойства от его отображения (на входе чувствительного элемента сенсора, биосенсора или ИП) и обеспечивает его узнаваемость.

Определение [10].

Константность – это относительное постоянство некоторых воспринимаемых свойств предметов при изменении условий восприятия.

4. Категориальность

Определение

Категориальность восприятия – способность к выделению в перцептивном пространстве определенных областей, имеющих более или менее очерченные и устойчивые границы.

При этом четкость данных границ тесно связана с решаемыми при создании СИ задачами разрешающей способности сенсоров, биосенсоров или ИП, воспринимающих образы материального мира непосредственно или опосредованно.

5. Избирательность восприятия (селективность)

Избирательность восприятия заключается в преимущественном выделении одних объектов (или одних свойств, признаков, качеств предметов) по сравнению с другими [8].

Определение

Избирательность (селективность) восприятия – свойство измерительного восприятия, состоящее в выделении из «сенсорного поля» объекта измерения каких-либо определенных свойств, подлежащих преобразованию или измерению.

Избирательность осуществляется посредством использования сенсора, биосенсора или ИП с заданными селективными свойствами. Выделяемое и поэтому более отчетливо воспринимаемое свойство выступает как «преобразуемое» или «измеряемое», а остальные – как «фон» или артефакт¹.

3.2. Триалектика² измерительного преобразования: основные понятия и определения первичного, вторичного и третичного преобразований

Измерительное преобразование, как нечто целостное, состоит из трех составных частей (первичного, промежуточного и завершающего). Взаимосвязь между тремя частями единого целого изучает триалектика [11], – новое направление в теории познания.

Триалектика – это учение о триединых явлениях (например, о первичном, вторичном и третичном преобразованиях свойств без или с обратными связями между составными функциями преобразования ИК), находящихся в непрерывном движении и изменении, причина которых во внутренних связях (положительных и отрицательных), противоречиях и в столкновении противоположностей (нестабильностей разного знака), присущих любому явлению природы.

Прежде, чем дать определение частным разновидностям измерительного преобразования ФВ, приведем общее определение понятию «измерительное преобразование».

Определение 1 [1].

Измерительное преобразование – это отражение размера одной ФВ размером другой ФВ, функционально с ней связанной.

Определение 2

Измерительное преобразование – это операция преобразования того или иного свойства объекта или процесса в функционально связанное с ним свойство или в информативный параметр выходного сигнала, обычно электрической природы, не предназначенное или предназначенное для непосредственного восприятия.

Как отмечалось выше, уравнение связи между входной и выходной ФВ называется ФП ИК и является его основной метрологической характеристикой.

Измерительное преобразование – единственный способ построения любых измерительных

¹ Здесь артефакт – это воспроизводимый при определенных условиях дефект, шум в сигнале, изображении, звукозаписи, причиной которого являются систематические помехи или особенности используемых технических средств.

² Понятие «триалектика» более глубоко отражает сущность процесса преобразования, как единого целого.

устройств. Оно осуществляется в заданном диапазоне значений измеряемых ФВ, амплитуд или уровней сигналов в соответствии с установленной структурой элементарных функций и при допустимом значении погрешности (неопределенности), не превышающей пределы установленных значений верхней и нижней доверительных границ.

Измерительные преобразования осуществляются, в конечном счете, с целью получения информации об измеряемой ФВ в форме, удобной для обработки, хранения, дальнейших преобразованиях и передачи на расстояние или в показывающее устройство.

Измерительное преобразование, осуществляемое, как правило в ИК СИ, обеспечивает формирование электрического сигнала, поступающего непосредственно на устройств отображения измерительной информации или передаваемого в микропроцессор для его дальнейшего преобразования (цифровой фильтрации, цифрового спектрального анализа, цифрового детектирования, физического или виртуального сравнения со значением образцовой ФВ или с опорным сигналом и т.д.) или в интеллектуальный интерфейс, базу знаний или в экспертное устройство в соответствующей форме и виде.

Различают первичное (основное или родовое), вторичное (промежуточное) линейное или нелинейное (функциональное) измерительное преобразование ФВ, а также третичное (завершающее) преобразование. Первичное преобразование направлено преимущественно на преобразование рода ФВ, а вторичное – на линейное или нелинейное измерительное преобразование ФВ практически одной физической природы – электрической. Не исключены и дополнительные преобразования через третью величину иной физической природы, например, вторичные измерительные преобразования вида: «электрический сигнал $\Rightarrow$ электрическая мощность $\Rightarrow$ тепловая мощность $\Rightarrow$ термо-Э.Д.С».

И, наконец, третичное (завершающее) преобразование направлено на получение с заданной точностью конечного результата преобразования в цифровой форме с заданной разрядностью (точностью), направленное для сравнения в виртуальном пространстве с другим числом, характеризующим значение ФВ, воспроизводимое мерой или стандартным образцом, для индикации или передачи в базу данных, экспертную систему и/или интеллектуальный интерфейс.

Дадим определения измерительным преобразованиям ФВ.

Определение 1

Первичное измерительное преобразование – это процесс восприятия свойства (или сигнала) той или иной физической природы, управляемого или неуправляемого преобразование его на основе тех или иных физических эффектов и явлений в однородное, но количественно иное свойство, или в свойство иной физической природы, характеризующееся качественной и количественной определенностью при установленных условиях и ограничениях.

Полагается, что процесс восприятия является адекватным (достоверным) поставленной задаче. Вопрос о степени адекватности первичного измерительного преобразования ФВ связан с вопросами избирательности, точности, полноты и глубины отражения объекта измерения с помощью математических моделей.

Следовательно, первичные измерительные преобразования используются для непосредственного (первого) восприятия величин разной физической природы и преобразования их в величину той же или иной физической природы.

Определение 2

Вторичное (промежуточное) измерительное преобразование – это процесс восприятия первично преобразованного свойства и его однократное, чаще неуправляемое преобразование в количественно (линейно или функционально) измененное свойство той же природы или одно-, двух- и многократное преобразование через свойства разной физической природы в свойство электрической природы, характеризующееся качественной и количественной определенностью, и обеспечивающее дальнейшую обработку, сравнение, хранение или передачу на расстояние при установленных условиях и ограничениях.

При этом процессы измерительных преобразований могут быть линейными и нелинейными, непрерывными и дискретными во времени, осуществляться во временной области или в спектральной.

Определение 3

Третичное (завершающее) измерительное преобразование – это процесс восприятия вторично (или троично) преобразованного свойства (в частотно-временной области), преобразования его в код числа заданной системы счисления и разрядности непосредственно или через дополнительные операции аналого-цифровой фильтрации, цифрового усреднения, цифрового интегрирования и статистической обработки¹, получения или формирования конечного результата в виде, удобном для сравнения в виртуальном пространстве, дальнейших преобразований, хранения или передачи на расстояние при заданных условиях и ограничениях.

Таким образом, основными операциями измерений являются: операция формирования нескольких рядов ФВ, размеры которых связаны определенной закономерностью²; операция восприятия; операция измерительного преобразования искомой ФВ, состоящая из операций первичного, вторичного и третичного измерительных преобразований; операция воспроизведения образцовой ФВ одного или нескольких фиксированных размеров; операция непосредственного или опосредованного сравнения не преобразованных или преобразованных ФВ неизвестного и установленного (фиксированного) размеров или операция нахождения соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой ФВ с образцовой.

¹ последовательности результатов многократных измерительных преобразований

² характерна только для ИИ

3.3. Методы измерительного преобразования качественной и количественной определенности свойств: основные определения

Определение [12].

Метод (способ) – систематизированная совокупность шагов, действий, которые необходимо предпринять, чтобы решить определенную задачу или достичь определенной цели.

Метод измерительного преобразования

Метод измерительного преобразования (МИП) – это совокупность операций восприятия и преобразования свойств той или иной физической природы в свойства преимущественно электрической природы. Природа исследуемого свойства чаще всего оценивается природой свойства, воспроизводимого мерой или стандартным образцом. Они должны быть одной и той же (единой) физической природы.

Определение 1 (общее определение)

Метод (линейного или нелинейного) измерительного преобразования – это конечная совокупность элементарных (физических, химических и биологических) операций управляемого или неуправляемого восприятия и преобразования количественной определенности свойств одной физической природы в количественную определенность свойства другой физической природы, обычно электромагнитной¹, непосредственно или через свойство третьей природы, осуществляемых (или проводимых) в соответствии с цепочечной, параллельной, кольцевой или комбинированной структурой функции измерительного преобразования и обеспечивающая получение количественной информации о преобразуемом свойстве или о его функционально измененном значении и представление ее в виде, удобном для обработки, хранения, сравнения, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

МИП – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования свойства одной физической природы в свойство электромагнитной природы непосредственно или через свойство третьей природы, обеспечивающая получение количественной информации об измеряемом свойстве и/или о его функционально измененном значении в виде, удобном для обработки, хранения, сравнения, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

МИП свойства любой физической природы – это конечная совокупность элементарных (физических) операций восприятия и преобразования природы искомого свойства на основе известных эффектов и явлений, выполняемая в пространстве и во времени в определенной последовательности при определенных условиях и ограничениях с целью получения количественной информации в заданном виде.

Метод первичного преобразования свойств

Определение 1

Метод первичного измерительного преобразования – это конечная совокупность операций восприятия и управляемого² или неуправляемого преобразования количественной неопределенности свойства одной физической природы в количественную неопределенность свойства той же или иной физической природы, выполняемых в пространстве и во времени в определенной последовательности с целью получения достоверной информации о преобразуемом свойстве в виде, удобном для дальнейшего преобразования, обработки, хранения или даже для сравнения при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

Метод первичного измерительного преобразования – это конечная совокупность элементарных операций восприятия и преобразования свойства одной физической природы в свойство определенной физической природы, содержащее достоверную информацию о преобразуемом свойстве в виде, обеспечивающем его дальнейшее преобразование или сравнение с однородным образцовым свойством при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

Метод первичного измерительного преобразования свойства любой физической природы – это конечная совокупность элементарных операций восприятия и преобразования³ природы измеряемого свойства, выполняемая в определенной последовательности в пространстве и во времени при определенных условиях и ограничениях и используемая для получения свойства, удобного для дальнейших преобразований или сравнений.

Метод вторичного (промежуточного) преобразования свойств

Методы промежуточного преобразования отличаются от методов первичного преобразования тем, что они используют, преимущественно, преобразования ФВ на правленного действия: электрических, оптических (световых) и механических величин.

Определение 1

Метод вторичного линейного или нелинейного, управляемого или неуправляемого измерительного

¹ обычно в электрический или оптический сигнал

² предпочтительно при избыточных измерениях

³ преимущественно однократного, управляемого или неуправляемого преобразования

преобразования – это конечная совокупность элементарных операций преобразования свойств направленного действия, выполняемых во времени и в пространстве в соответствии с цепочечной, параллельной, кольцевой или комбинированной структурой заданной функций преобразования свойств с целью получения свойства, содержащего достоверной информации об измеряемом свойстве или о его функционально измененном значении, в виде, удобном для хранения, сравнения с однородным образцовым свойством, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

Метод вторичного измерительного преобразования – это конечная совокупность элементарных операций (преимущественно неуправляемого) восприятия и преобразования свойств одной физической природы (электрической, оптической или механической) непосредственно или через двойное, реже тройное, промежуточное преобразование в свойство иной физической природы (чаще электрической), содержащего достоверную информацию о преобразуемом свойстве или о его функционально измененном значении в виде, удобном для хранения, сравнения и дальнейших преобразований при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

Метод вторичного измерительного преобразования – это конечная совокупность операций восприятия и измерительного преобразования свойств электрической, оптической или механической природы в свойство той же или иной физической природы, содержащее достоверную информацию в форме, удобной для хранения, сравнения и дальнейших преобразований при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Метод третичного (завершающего) преобразования свойств

Определение 1

(при преобразованиях типа «(не)электрическая величина – неэлектрическая величина»)

Метод третичного измерительного преобразования – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования свойства (не)электрической природы, направленная на получение достоверной информации об искомом или функционально измененном свойстве в значения линейного или углового перемещений (угла поворота) или в число оборотов, т.е. в виде механического сигнала, удобного для сравнения, дальнейших преобразований, индикации¹ или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

(при преобразованиях типа «(не)электрическая величина – электрическая величина»)

Метод третичного измерительного преобразования свойства (не)электрической природы – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования промежуточной неэлектрической величины (сигнала), направленная на получение достоверной информации о преобразуемом свойстве или о его функционально измененном значении в виде электрического сигнала, удобного для сравнения в реальном и виртуальном пространстве, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

(при преобразованиях типа «(не)электрическая величина – электрическая величина»)

Метод троичного измерительного преобразования свойства (не)электрической природы – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования, направленная на получение достоверной информации об искомом свойстве или о его функционально измененном значении в виде цифрового (дискретного) электрического сигнала в определенной системе счисления и заданной разрядности, например, в виде двоичного кода, удобного к использованию в виртуальном пространстве для сравнения, дальнейших преобразований, хранения, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 4

(при преобразованиях типа «электрическая величина – электрическая величина»)

Метод третичного измерительного преобразования свойства электрической природы – это конечная совокупность операций восприятия и аналого-цифрового преобразования свойства, выполняемая для получения его значения в виде дискретного электрического сигнала, удобного для сравнения его со значением образцовой величины в виртуальном пространстве, цифровой обработки, передачи на расстояние и индикации при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Как видно из приведенных определений, операция сравнения может проводиться после первичного, вторичного или третичного преобразования свойств. Данный аспект в теории прямых измерений не рассматривался.

3.4. Классификация методы измерительного преобразования физических величин

В основу данной классификации положены следующие существенные классификационные признаки: активность преобразуемых свойств; способ выражения связи искомого свойства с неинформативными свойствами; первичность (или род) преобразований; тип структур ФП; способ

¹ путем установки указателя на соответствующей отметке оцифрованной шкалы или изменения показания механического счетчика импульсов

преобразования рядов ФВ; характер измерительного преобразования; управление процессом; природа измерительного преобразования; число используемых эффектов или явлений; способ преобразования; вид преобразования.

По активности преобразуемых свойств различают методы восприятия и измерительного преобразования свойств активных и пассивных ФВ. Эти два вида методов принципиально отличаются друг от друга методологическими подходами, совокупностью и набором выполняемых операций.

По способу выражения связи искомого свойства с неинформативными свойствами иной физической природы различают методы измерительного преобразования ФВ с приписанной математической моделью (ММ) и без приписанной объекту измерения ММ (рис. 2).

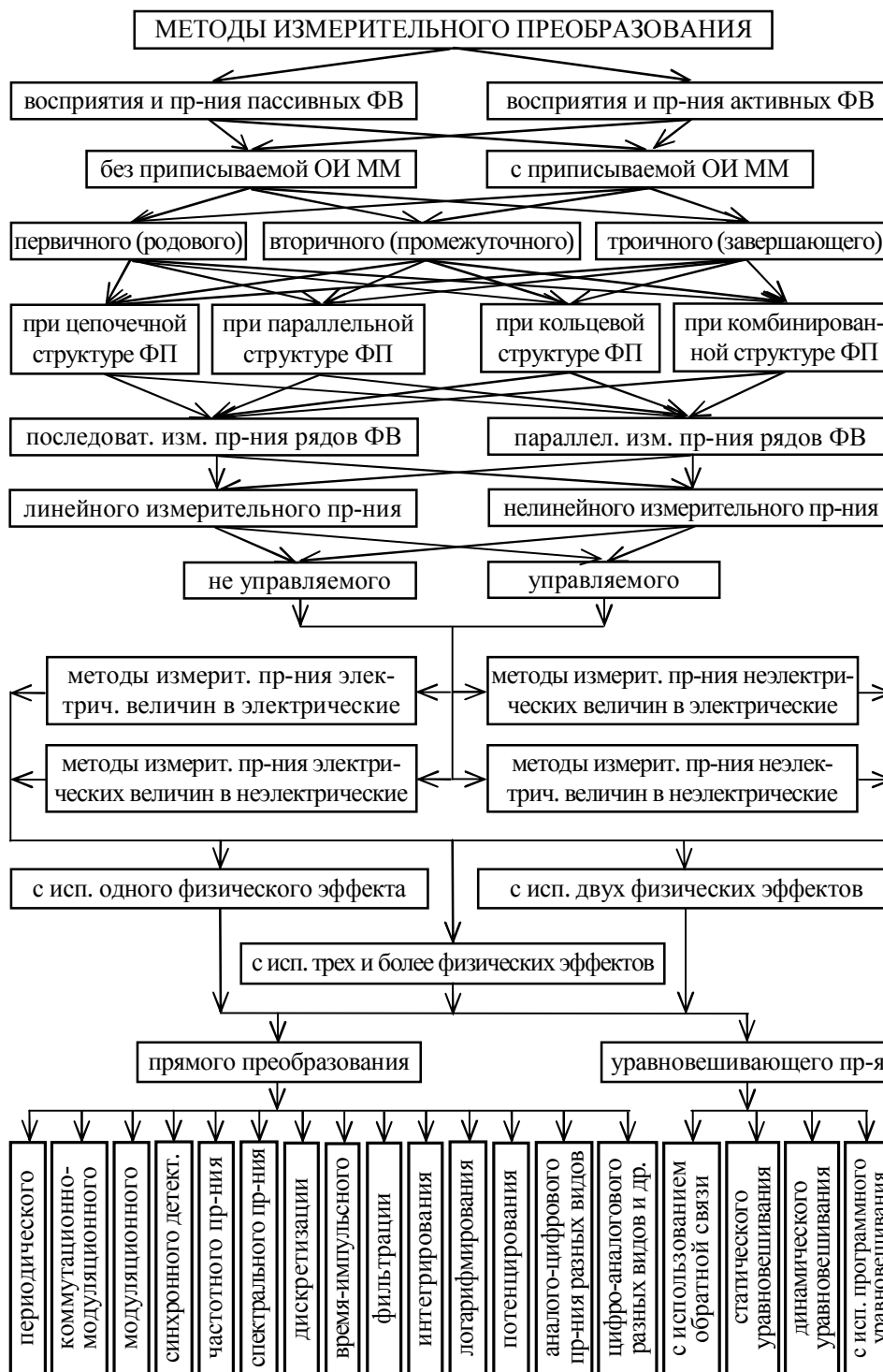


Рис. 2. Измерительное преобразование физических величин

По первичности преобразований все методы измерительного преобразования свойств делятся на три подвида: первичного (разнородовые), вторичного (промежуточного или внутриродовые) и третичного (выходного или завершающего) преобразования.

Методы первичного измерительного преобразования обеспечивают восприятие и преобразование

качественной и количественной определенности искомого свойства в качественную и количественную определенность свойства априори заданной физической природы при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях. В тех случаях, когда природа свойств входной ФВ (или сигнала) не меняется, то такое преобразование называется масштабированием и направлено на усиление или ослабление размера искомого ФВ с целью обеспечения условий для его дальнейших преобразований.

Методы вторичного измерительного преобразования направлены на линейное или нелинейное функциональное преобразование¹ первично преобразованной ФВ с использованием одного или цепочки согласованных эффектов и/или явлений, обеспечивающих получение ФВ (или сигнала), необходимой для осуществления завершающего преобразования при установленных условиях и ограничениях.

Методы третичного (завершающего) измерительного преобразования² обеспечивают преобразование полученной промежуточной ФВ в ФВ (или в параметр сигнала) заданной природы³, удобную для дальнейшей передачи на расстояние, сравнения и обработки, при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектов и явлений. Данное преобразование связано также с получением измерительной информации в форме чисел, отсчетов, сигналов, кодов путем аналого-цифрового, цифроаналогового, цифрового и других преобразований. Для интеграции такой распределенной во времени и в пространстве информации естественно должны обеспечиваться соответствующие условия для её хранения, передачи, обработки, отображения, регистрации, документирования и дальнейшего распространения.

Методы третичное преобразование включают в себя и завершающее цифровое преобразование.

Под цифровым преобразованием мы понимаем во-первых, вычислительные преобразования кодов чисел с фиксированной или плавающей запятой, обеспечивающие, с метрологической точки зрения, разную точность вычислений; во-вторых, преобразование одной системы счисления кодов в другую, например, позиционной в непозиционную, с целью обеспечения заданной формы отображения информации; в-третьих, преобразование двоичной системы счисления в десятичную, в троичную (позиционную систему счисления с целочисленным основанием «3»), в Фибоначчиеву систему (– смешанная система счисления для целых чисел), в другие комбинированные системы счисления и т.д.), в-четвертых, преобразования самих кодов (в ЭВМ применяется прямой, обратный и дополнительный коды) с целью повышения быстродействия выполнения не только простых, но и сложных операций (логарифмирования, потенцирования, возведения в дробную степень и т.д.) и т.п.

По типу структур функций преобразования различают методы, обеспечивающие измерительные преобразования ФВ по цепочечной, параллельной, кольцевой или смешанной структуре ФП ИК (рис. 2). Теория создания измерительных преобразователей неэлектрических величин, особенно преобразователей типа «неэлектрическая величина – неэлектрическая величина» находится, к сожалению, на начальном этапе своего развития. Вопросам синтеза и реализации структур ИП по структурам ФП, элементарные функции которых соответствуют элементарным физическим операциям, ученые не уделяют пока должного внимания.

По способу преобразования рядов ФВ различают методы последовательного и параллельного во времени измерительного преобразования рядов ФВ. Существуют измерительные задачи, которые, без ущерба для точности измерений, позволяют, при избыточных измерениях, осуществлять параллельное измерительное преобразование сразу нескольких однородных ФВ. Например, при избыточных измерениях полной, активной и реактивной мощности, а также эквивалентного коэффициента мощности суммарно-разностным методом используются методы измерительного преобразования суммарного и разностного сигналов по неидентичным ИК. Благодаря введенной избыточности и соответствующей обработке результатов промежуточных преобразований по уравнениям избыточных измерений обеспечивается автоматическое исключение погрешностей преобразования суммарного и разностного сигналов. С использованием трех неидентичных ИК возможно высокоточное измерение, например, влажности оптически-прозрачных листовых материалов при измерительном преобразовании трех ослабленных потоков оптического излучения (с тремя независимыми длинами волн), прошедших через листовые материалы с неизвестной и заданной (образцовой) влажностью.

По характеру преобразования или по целевой функции имеют место методы линейного и нелинейного измерительного преобразования ФВ. В отличие от прямых, избыточные измерения обеспечивают не только линейные, но и нелинейные измерительные преобразования ФВ при нелинейной ФП ИК. Это достигается благодаря использованию ИК с нелинейной функцией преобразования известного вида и решения системы нелинейных уравнений величин относительно нелинейно преобразованной (по значению) ФВ.

По наличию управления различают методы измерительного преобразования без управления процессом преобразования и методы измерительного преобразования с управлением процессом преобразования. Последние обеспечивают возможность получения информативной избыточности путем воздействия на вход ИК ФВ с нормировано измененным размером, – за счет изменения параметра, например, S_d ФП ИК, а не с первоначальным размером), – в случаях преобразования неэлектрических величин, когда отсутствует возможность высокоточного изменения размеров этих величин.

¹ обычно одной природы, но разного вида

² обычно аналого-цифрового, импульсно-цифрового или дискретно-цифрового

³ электрической или оптической (световой)

По природе преобразуемых ФВ выделяют методы измерительные преобразования:

- 1) электрических величин в электрические. Формализовано их можно записать следующим образом – $i_1(t) \Rightarrow i_2(t), i(t) \Rightarrow u(t), u(t) \Rightarrow i(t), I_x \Rightarrow U_x, I_x \Rightarrow f_x, U_x \Rightarrow f_x, R \Rightarrow f_x, u(t, \Delta f_1) \Rightarrow u(t, \Delta f_2),$
 $\left. \begin{matrix} u_1(\omega, t, \varphi_1) \\ u_2(\omega, t, \varphi_2) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \varphi_x, \left. \begin{matrix} u_x(\omega, t, \varphi_1) \\ i_x(\omega, t, \varphi_2) \end{matrix} \right\} \Rightarrow P_x(i, u, \varphi_x, t), \left. \begin{matrix} U_m \sin \omega t \\ U_m \cos \omega t \end{matrix} \right\} \Rightarrow U_m, U_{m1} \sin \omega t \Rightarrow U_{m2} \cos \omega t$ и т.д. В ряде измерительных задач формализованное описание операций измерительного преобразования ФВ может нести дополнительную информацию о наложенных ограничениях или условиях преобразования, об используемом эффекте или явлении, например, $i(t) \Rightarrow U_x$ – операция измерительного преобразования токового сигнала в напряжение без модуляции, где *wm* – аббревиатура слов «without modulation» (без модуляции); $U_x \xRightarrow[\text{АЦП}]{12} N_x$ – операция аналого-цифрового преобразования ФВ U_x в код двенадцатиразрядного числа N_x ;
- 2) электрических величин в неэлектрические – $i(t) \Rightarrow \alpha(t), u(t) \Rightarrow \beta(t), I_x \Rightarrow T_x,$
 $I_x \Rightarrow \Phi_x, U_x \Rightarrow \omega_x$ и т.д.;
- 3) неэлектрических величин в электрические – $(\alpha(t) \Rightarrow i(t), \beta(t) \Rightarrow u(t), T_x \Rightarrow U_x, \Phi(t) \Rightarrow I(t), \omega(t) \Rightarrow u(t)).$

В общем виде измерительное преобразование ФВ можно записать и таким образом: $x_i \xRightarrow[\text{wm}]{P} y_{ni}$ – операции измерительного преобразования ФВ x_i , например давления, в выходной сигнал y_{nk} (электрической природы). Здесь индекс «*wm*» означает «без модуляции»;

- 4) неэлектрических величин в неэлектрические – $(\alpha(t) \Rightarrow I(t), \beta(t) \Rightarrow P(t), T_x \Rightarrow I_x, T_x \Rightarrow V_x, \Phi_x \Rightarrow T_x$ и т.д.).

По числу используемых физических эффектов различают методы измерительного преобразования с использованием одного, двух и более физических эффектов и явлений. В методических материалах "Комплексный метод поиска новых технических решений" [13] Горьковского народного университета описано 127 физических эффектов и явлений с указанием вида используемой энергии. Каждый физический эффект снабжен ссылками на литературные источники. Указанное многообразие физических эффектов и обуславливает многообразие методов измерительного преобразования ФВ.

По способу преобразования различают методы прямого и уравнивающего измерительных преобразований.

К первым относятся методы: периодического преобразования; коммутационно-модуляционные; модуляционные (амплитудная, частотная и фазовая модуляция); синхронного детектирования (на одной, реже на двух частотах – двойное синхронное детектирование); частотного и спектрального преобразования сигналов; преобразования с использованием разных видов дискретизации (с синхронизацией или без синхронизации); времяимпульсного преобразования (амплитудно-импульсного, широтно-импульсного); фильтрации, в том числе и цифровой; интегрирования (за заданный интервал времени, за период гармонического сигнала, с использованием синхронизации, скользящего усреднения и т.д.); логарифмирования (натурального и десятичного) и потенцирования; возведения в квадрат; выпрямления (однополупериодного и двухполупериодного); корреляционного преобразования, аналого-цифрового преобразования разных видов, в том числе аналого-цифрового преобразования в симметричной троичной системе счисления и неэлектронного аналого-цифрового преобразования; цифроаналогового преобразования разных видов, в том числе и неэлектронного цифроаналогового преобразования и другие методы нелинейных преобразований (рис. 2).

К вторым относится методы: уравнивающего преобразования с обратными связями, статического уравнивания, динамического уравнивания, уравнивания по заданной программе. Все они в достаточно полном виде описаны в работах Гутникова В.С., Новицкого П.В., Орнатского П.П., Островского Л.А., Спектора С.А., Туричина А.М. и других ученых.

Для полноты формализованного описания некоторых операций измерительного преобразования той или иной ФВ могут использоваться следующие символы, например:

символ усреднения – $\prod_{t_i}^{t_i + T_{yc}}$ с указанием начального (t_i) и конечного ($t_i + T_{yc}$) времени усреднения)

результата измерительного преобразования ФВ; символ «Н» – от английского слова «homogenizing» или «homogenization» – усреднение;

символы фильтрации (ограничения по частоте сверху, снизу и полосовая фильтрация) – $\frac{f_n}{f_0}, \frac{f_0}{f_n}$ и $\frac{f_1 + \Delta f_0}{f_1}$;

$$\text{символ} \quad \sum_{j=1}^{m=5} y_j \quad \text{суммирования} \quad \Phi В, \quad \text{например,} \quad x_i \xRightarrow[m]{I} y_{ni} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m=5} y_{nj} = y_{n1} + \dots + y_{n5} \quad -$$

формализованное описание операции измерительного преобразования ФВ x_i (в частности, электрического тока) по пяти (квази)идентичным ИК с последующим суммированием выходных сигналов с помощью, например, аналогового сумматора-делителя напряжения. В данном случае также показано (см. индекс «m»), что дополнительно используются операции модуляции входного сигнала («modulation» (модуляции));

символ аналого-цифрового преобразования ФВ x_i в код шестнадцатиразрядного числа N_x –

$$x_i \xRightarrow[16]{\text{АЦП}} N_x \text{ и др.}$$

Например, операция интегрирования и аналого-цифрового преобразования, усреднения и аналого-цифрового преобразования, формализовано описываются следующим образом:

1) операции интегрирования за заданный промежуток времени (или за период помехи) и аналого-

цифрового преобразования в код числа заданной разрядности – $y_n \Rightarrow \int_{\tau_1}^{\tau_2} y_n dt \xRightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n$ или 2)

$$y_n \Rightarrow \int_{t_i}^{t_i+T_{yc}} y_{ni} dt \xRightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n;$$

3) аналоговой фильтрации (с использованием ФНЧ) и аналого-цифрового преобразования в код

$$\text{числа заданной разрядности} - y'_n \Rightarrow \Phi_{\text{афнч}}^{f_0 \pm \Delta f} y_n \xRightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n;$$

4) аналоговой фильтрации (с использованием ФВЧ) и аналого-цифрового преобразования в код

$$\text{числа заданной разрядности} - y'_n \Rightarrow \Phi_{\text{афвч}}^{f_0 \pm \Delta f} y_n \xRightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n;$$

5) аналоговой полосовой фильтрации (с использованием ПФ) и аналого-цифрового преобразования

$$\text{в код числа заданной разрядности} - y'_n \Rightarrow \Phi_{\text{апф}}^{f_0 \pm \Delta f} y_n \xRightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n;$$

6) аналого-цифровой фильтрации и преобразования в код числа заданной разрядности –

$$y_n \Rightarrow \Phi_{\text{фнч}}^{f_0 \text{ ацф}} \xRightarrow[16]{\text{ацф}} N_n, 7) y_n \Rightarrow \Phi_{\text{фвч}}^{f_0 \text{ ацф}} \xRightarrow[16]{\text{ацф}} N_{\text{нф}}, 8) y_n \Rightarrow \Phi_{\text{пф}}^{f_0 \pm \Delta f \text{ ацф}} \xRightarrow[16]{\text{ацф}} N_n^{\Phi};$$

9) цифровой фильтрации и преобразования в код (цифрового потока информации) числа с заданной разрядностью –

$$N_n \xRightarrow[16]{f_n \text{ фнч}} \Phi_{\text{пф}}^{f_0} \xRightarrow[16]{\text{ацф}} N_{\text{нф}}, 10) N_n \xRightarrow[16]{f_n \text{ фвч}} \Phi_{\text{пф}}^{f_0} \xRightarrow[16]{\text{ацф}} N_{\text{нф}}, 11) N_n \xRightarrow[16]{f_n \text{ пф}} \Phi_{\text{пф}}^{f_0} \xRightarrow[16]{\text{ацф}} N_{\text{нф}}.$$

Таким образом, существует большое многообразие методов измерительного преобразования ФВ, отличающихся между собой по заданной совокупности отличительных признаков.

3.5. Операции сравнения

Операция сравнения играет важную роль в прямых и избыточных измерениях ФВ. Это обуславливает определенный интерес к ней с методологической и гносеологической точек зрения. Рассмотрим сущность данной операции.

Определение (с философской точки зрения)

Сравнение – это отражение сходства или различия объектов по их свойствам соответствующим логическим заключением.

Определение (в технических науках [14])

Сравнение – это процесс установления отношения интенсивностей однородных отражаемых свойств эмпирических объектов, в целях получения логического заключения «больше», «меньше» или «равны».

С метрологической точки зрения, сравнение – процесс, при котором достигается равенство числовых значений сравниваемых ФВ в физическом или виртуальном пространстве в соответствии с уравнением измерений. Операции сравнения необходимы как для получения результата измерений, так и для проверки выполнения установленных условий (и команд) в зависимости от того истинно или ложно условие.

Операция сравнения формализовано (математически) описывается посредством знаков равенства: равенства между собой двух однородных ФВ, равенства нулю разности их значений или равенства единице отношения числовых значений двух ФВ непосредственно связанных между собой или через коэффициент связи. Для случая, когда образцовая ФВ воспроизводится многозначной мерой, выполнение операций сравнения упрощается.

Определение 1 (общее)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения: равенства значений сравниваемых однородных ФВ направленного действия; равенства нулю разности этих величин; равенства единице частного от деления числовых значений однородных ФВ, одна из которых воспроизводится мерой¹ (с нормированными по значению дискретными ступеньками), путем закономерного (равномерно- или неравномерно-ступенчатого) изменения значений последней.

Необходимо отметить, что данное определение не распространяется на неэлектрические величины, для сравнения которых используются стандартные образцы свойства и состава используемого вещества и материала фиксированного размера.

Для случаев, когда нормированная по значению ФВ воспроизводится однозначной мерой или стандартным образцом, операции сравнения имеет свои особенности выполнения. Дадим им соответствующие определения.

Определение 2 (частное 1 – операция «равенство»)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения равенства числовых значений двух однородных ФВ, одна из которых является образцовой (однозначной и нормированной по значению), путем установления, с заданной погрешностью, соответствующего значения коэффициента связи (пропорциональности) между их числовыми значениями в соответствии с уравнением измерений.

Определение 3 (частное 2 – операция «разность»)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения с заданной погрешностью (точностью) равенства нулю разности числовых значений двух ФВ, одна из которых является образцовой, однозначной и нормированной по значению, путем закономерного изменения значений коэффициента связи искомой ФВ с образцовой в соответствии с уравнением измерений.

Определение 4

(частное 3 – операция «отношение» при образцовой ФВ фиксированного размера)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения с заданной погрешностью (точностью) равенства числовых значений двух ФВ, одна из которых является образцовой и фиксированного размера, путем закономерного изменения коэффициента связи искомой ФВ с образцовой в соответствии с уравнением измерений.

Определение 5

(частное 4 – операция «отношение» при образцовой ФВ изменяемого размера)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения с заданной погрешностью (точностью) равенства единице отношения размеров двух ФВ, одна из которых является образцовой и изменяемого закономерным образом размера.

Известны следующие виды операций сравнения [15]: 1) больше/меньше/равно; 2) больше, меньше, не меньше, не больше; 3) равенство, неравенство; 4) эквивалентность, неэквивалентность; 5) строковые операции сравнения; 6) специальные операции языка SQL.

В метрологии используют операции сравнения первых трех видов. Причем нас интересует не только выполнение той или иной операции, а пути достижения равенства сравниваемых по значению однородных ФВ. Операции «больше», «меньше», «не меньше», «не больше» в метрологии являются необходимыми, но не достаточными операциями. Из всех операций сравнения только операция «равенства» является необходимой и достаточной, поскольку дает возможность судить о моменте равенства числовых значений ФВ. Операций сравнения, как и операция преобразования, является измерительной операцией.

Ограничительные операции «больше или равно», «меньше или равно», «не меньше» и «не больше» в процессе измерений используются для установления тех или иных условий и ограничений, например, при проведении операции сравнения размеров однородных ФВ, изменении, со временем, нормированных значений погрешностей результатов измерений ФВ, при выборе размера ФВ, воспроизводимой мерой или стандартным образцом, и т.д.

Существует несколько методов сравнения однородных ФВ. Поскольку операцию сравнения можно осуществлять на любом этапе измерительного преобразования ФВ, то различают методы сравнения однородных ФВ до их первичного измерительного преобразования (непосредственно размеров искомой ФВ и ФВ, воспроизводимой регулируемой мерой), сравнение на этапе вторичного (промежуточного) измерительного преобразования сравниваемых по значению ФВ и сравнение на этапе завершающего (третичного) преобразования в код значений промежуточных ФВ (сравнение кодов чисел или кодов значений промежуточных ФВ в виртуальном пространстве) (рис. 3).

Как отмечалось выше, сравнение ФВ возможно на любом этапе их преобразования. При сравнении однородных ФВ до их первичного измерительного преобразования используются метод непосредственного совпадения размеров однородных входных ФВ; метод противопоставления; метод замещения и дифференциальный или нулевой метод.

При сравнении первично преобразованных ФВ, т.е. на этапе вторичного измерительного преобразования, используются те же методы, но для преобразованных ФВ.

Наибольший интерес представляют методы сравнения на этапе завершающего (третичного) преобразования ФВ – это методы виртуального сравнения кодов чисел. Преимущественно они используются

¹ Однозначной или регулируемой многозначной мерой или стандартными образцами состава и свойств веществ и материалов

при избыточных измерениях ФВ. Среди них можно выделить: метод непосредственного совпадения кодов значений преобразованных ФВ; метод параллельного или поразрядного уравнивания кодов; дифференциальный (или нулевой) метод, т.е. метод сравнения посредством вычитания кодов результатов преобразования сравниваемых ФВ; реляционный метод или метод сравнения путем определения равенства единице отношения кодов числовых значений сравниваемых ФВ в результате изменения размера образцовой ФВ по тому или иному закону; дифференциально-реляционный метод сравнения результатов преобразований однородных ФВ и метод перебора значений кодов коэффициента связи между сравниваемыми значениями преобразованных ФВ до обеспечения их равенства (рис. 3).

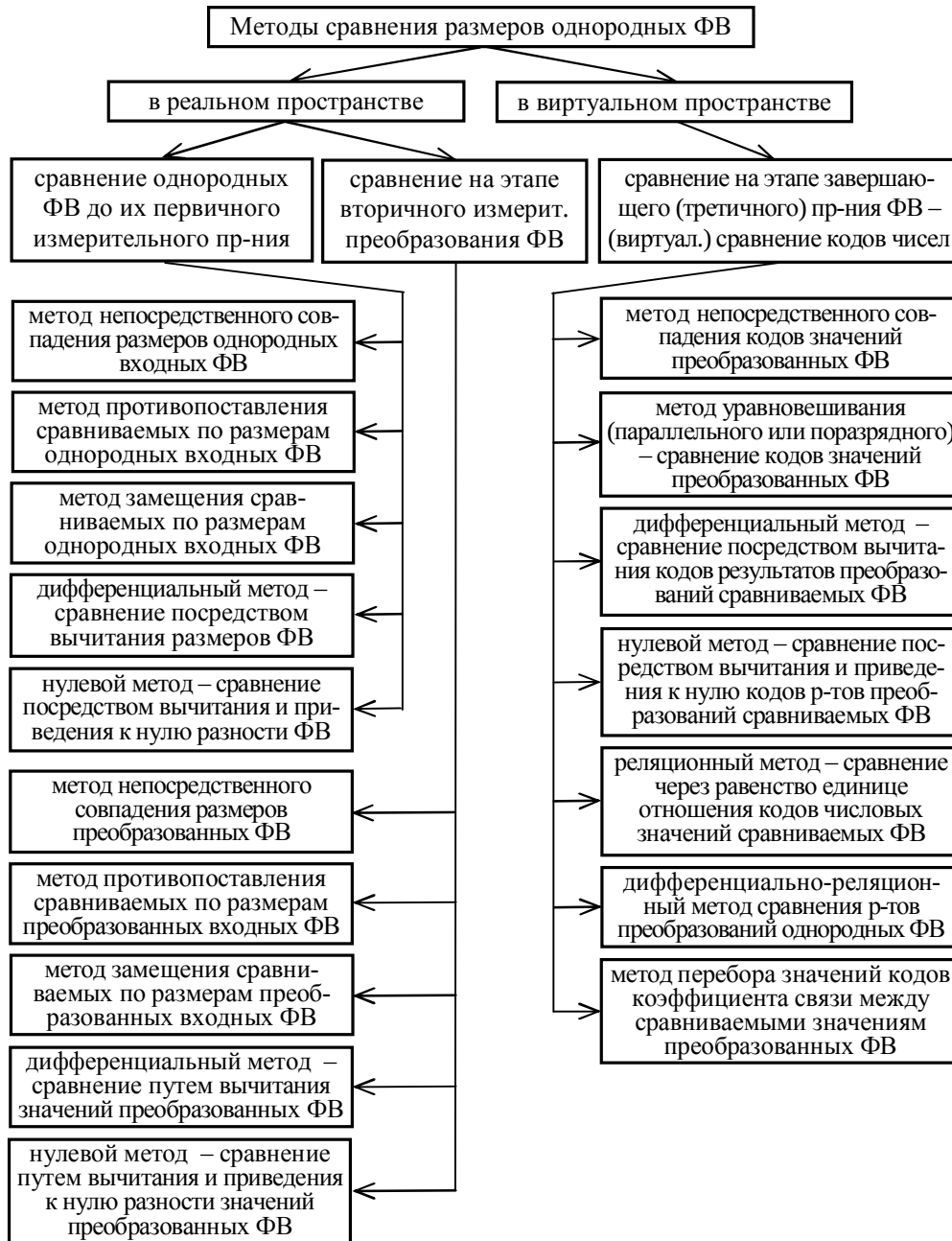


Рис. 3. Методы сравнения физических величин

Таким образом, существует достаточное количество методов сравнения не преобразованных и преобразованных ФВ, в основу которых положены общие подходы к реализации операции равенства, т.е. к получению логического заключения «равны».

Выводы

В работе рассмотрены функции преобразования измерительного канала, операция измерительного восприятия и ее свойства, операции первичного, вторичного и третичного преобразования физических величин, методы измерительного преобразования и их классификация, а также операции и методы сравнения, что расширяет и углубляет наши знания о теории измерений и основных измерительных операциях.

Показано, что функция преобразования измерительного канала состоит из подфункций, которые, в свою очередь, состоят из элементарных функций, описывающих ту или иную основную физическую

операцию. Причем, для каждой основной операции можно указать соответствующие физические, химические или биологические эффекты. Даны научные определения данным функциям.

Подчеркивается, что функции преобразования измерительного канала имеют определенные структуры (цепочечную, параллельную, кольцевую и комбинированную) и им присущи соответствующие графические представления, что расширяет наши представления о тонкой структуре этих функций.

Подчеркивается необходимость развития методологии и методов разработки структур функций преобразования электрических и неэлектрических величин с учетом основных физических, химических и биологических эффектов.

Впервые в теорию измерений введено понятие «измерительное восприятие», даны его определения. Раскрыта сущность процесса восприятия и его основных свойств (предметности, целостности, константности и избирательности).

Приведена классификация восприятия во видах явлений и объектов, которая дает возможность на новом семантическом уровне воспринимать процесс измерений. Утверждается, что измерительное восприятие является первичной операцией измерительного преобразования физических величин и обеспечивает согласованный прием и передачу информации о преобразуемом свойстве.

Согласование количественной определенности входных и выходных свойств и параметров элементарных функций и подфункций, описывающих процессы преобразования, при различных хронометрическом, статистическом, спектральном, корреляционном или полевом проявлениях того или иного искомого свойства, является составной частью процесса измерительного преобразования, без которого невозможно достичь высокого качества измерений.

Раскрыта сущность измерительного преобразования физических величин, как некоторого единого целого, состоящего из трех частей: первичного, вторичного и третичного преобразования. Приводятся соответствующие определения данным понятиям с позиции системного подхода. Утверждается, что взаимосвязь между тремя частями единого целого изучает триалектика, являющаяся новым научным направлением в теории познания.

Все процессы первичного, вторичного и третичного (завершающего) преобразований, естественно, подлежат оптимизации по выбранным критериям (по энергии или мощности, по стабильности параметров функции преобразования, по чувствительности к влияющим факторам и т.д. Функционально это осуществляется за счет введения обратных связей. Изучение триединства измерительных преобразований является важнейшей научной задачей.

Раскрыта сущность методов первичного, вторичного и третичного измерительных преобразований физических величин с указанием достигаемой цели. Это расширяет наши представления о данных преобразованиях и упорядочивает существующую систему знаний об этих методах.

Впервые разработана стройная классификация методов измерительного преобразования физических величин, характеризующая их различия по активности преобразуемых свойств, по способу выражения связи искомого свойства с неинформативными свойствами, по первичности преобразований, по типам структур функций преобразования; по способу преобразования рядов физических величин; по характеру измерительного преобразования; по управляемости процессом; по природе измерительного преобразования; по числу используемых эффектов или явлений; по способу и виду преобразований.

Приведены варианты формализованного описания ряда операций измерительного преобразования физических величин и соответствующие символы. Это обеспечивает полноту отображения информации о всех процессах преобразования, о существующих условиях и ограничениях.

Раскрыта сущность измерительной операции «сравнение». С философской и технической точек зрения даны общее и частные определения данной операции.

Утверждается, что из всех операций сравнения только операция «равенства» является необходимой и достаточной, поскольку дает возможность судить о моменте равенства числовых значений физических величин. Операции «больше», «меньше», «не меньше», «не больше» в метрологии являются необходимыми, но не достаточными операциями. Ограничительные операции используются только для установления тех или иных условий и ограничений на процесс измерительного преобразования физических величин.

Установлено, что существует три группы методов сравнения: до измерительного преобразования физических величин, после первичного или на всех этапах их вторичного измерительного преобразования, а также на этапе завершающего (третичного) преобразования. В их основу положены общие подходы к реализации операции равенства, т.е. к получению логического заключения «равны».

Работа представляет интерес для ученых-метрологов, аспирантов и студентов, изучающих метрологию и теорию измерений.

Литература

1. Левшина – Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи (1983) // <http://www.zodchii.ws/books/info-454.html>.
2. Кёллер Р. Метод конструирования машин, приборов и аппаратов, Германия, 1976 // <http://metodolog.ru/00356/00356.html>.
3. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений: универсальное уравнение измерений // Вісник

Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 5. – С. 116-130.

4. Восприятие и его свойства. Виды восприятия (часть 1) // <http://psylesson.ru/node/33>, <http://coma.su/content/view/99/30/>.
5. Восприятие // <http://add.net.ru/dictionary/vospriyatie.html>
6. Сознание. Восприятие. Бесплатное обучение // <http://www.ai-trening.ru/soznanie.htm>.
7. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Вища шк., 1976. – 432 с.
8. Свойства восприятия // <http://psyznaiyka.net/view-vospriyatie.html?id=svoistva-vospriyatya>.
9. Мир словарей // http://mirslovari.com/content_psy/VOSPRIJATIE-1218.html.
10. Восприятие и его свойства. Виды восприятия (часть 2) // <http://psylesson.ru/node/58>.
11. Татур В.Ю. О Диалектике и Триалектике // <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0216/002a/02160000.htm>.
12. Метод // <http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод>.
13. Массивы информации. Физические эффекты // <http://www.metodolog.ru/00751/00751.html>.
14. Орнатский П.П. Общенаучные методы познания. – К.: О-во «Знание», 1984. – 35 с.
15. Операции в языках программирования. Операции сравнения. <http://prg.vede-nin.ru/4.php>.

Надійшла 7.12.2009 р.

УДК 004.492.3

Р.П. ГРАФОВ, Р.О. ЛАДУНЕЦ, С.О. ШЕПАРСКИЙ

Хмельницький національний університет

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА И ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТА

У роботі запропоновано новий підхід до проблеми прийняття рішень в системах, які характеризуються не чіткою інформацією про протікання процесів і методів реалізації на основі механізму нечіткого логічно-го виводу і знань експертів, наведено методіку використання на прикладі пошуку шкідливого програмного забезпечення в обчислювальних системах. Отримані результати можуть бути використані розробниками антивірусного діагностування.

In work new approach is offered to the problem of decision-making in the systems, characterized not-clear information about flowings processes and method of realization on basis mechanism of unclear logichesko-go conclusion and knowledges of experts, the method of the use is resulted on the example of search of the vredonosnogo programm-nogo providing in the computer systems. Can be drawn on got results razrabot-chikami of the anti-virus diagnosing.

Ключевые слова: Нечетная логика; нечёткие множества; нечеткий вывод; лингвистическая переменная; фаззификация; дефаззификация; база знаний;

Введение

Известно, что при построении различных систем, характеризующихся нечеткой информацией о протекающих процессах, возникает ряд проблем, связанных с трудностью формализации решаемых задач. В связи с этим существует ряд задач, решение которых довольно проблематично. Например: проведения быстрого моделирования сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности; проведение нечеткой формализации критериев оценки и сравнения; оперирование критериями "большинство", "возможно", преимущественно" и т.д.; проведение качественных оценок как входных данных, так и выходных результатов. Перечисленные задачи относятся к классу fuzzy (нечетких) систем и решаются методами нечеткой логики [1]. Для решения задач нечеткими методами разработано в настоящее время ряд программных и аппаратных средств.

Рассмотрим некоторые из них:

- CubiCalc 2.0 RTC – одна из мощных коммерческих экспертных систем на основе нечеткой логики, позволяющая создавать собственные прикладные экспертные системы;
- RuleMaker – программа автоматического извлечения нечетких правил из входных данных;
- FuziCalc – электронная таблица с нечеткими полями, позволяющая делать быстрые оценки при неточных данных без накопления погрешности;
- OWL – пакет, содержащий исходные тексты всех известных видов нейронных сетей, нечеткой ассоциативной памяти и т.д.

Основными потребителями нечеткой логики являются банкиры и финансисты, а также специалисты в области политического и экономического анализа. Без применения нечеткой логики немислимы современные ситуационные центры руководителей, где принимаются ключевые политические решения и моделируются разные кризисные ситуации.

Сегодня элементы нечеткой логики можно найти в десятках промышленных изделий – от систем управления электропоездами и боевыми вертолетами до пылесосов и стиральных машин. В качестве примера известных микроконтроллеров, использующих нечеткую логику можно назвать 68HC11, 68HC12 фирмы "Motorola", MCS-96 фирмы "Intel", а также некоторые другие.