

Введение института государственных сертификационных испытаний может стать важным механизмом повышения конкурентоспособности средств измерений и управления путем подтверждения их соответствия международным нормам функциональной надежности (безопасности), а Кадастр средств измерений и управления — информационной базой для формирования технической политики в обновлении промышленного производства.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ Р 27.002—2009. Надежность в технике. Термины и определения.
2. Каштанов В. А., Медведев А. И. Теория надежности сложных систем (теория и практика). М.: Европейский центр по качеству, 2002.
3. Юркевич Е. В., Кофанов Ю. Н., Старостин А. К. Нормативное обеспечение техники автоматизации. М.: ООО «Азбука», 2003.

4. Юркевич Е. В. Методологические особенности обеспечения надежности технологий предоставления услуг коммерческой компанией // Экономические стратегии. 2011. № 11. С. 100—107.

5. ГОСТ Р МЭК 61508-1—2007. Функциональная безопасность систем, электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 1. Общие требования.

6. Дэвид Дж. Смит, Кеннет Дж. Л. Симпсон. Функциональная безопасность: Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов / Пер. с англ. М.: ИД Технологии, 2004.

7. Липаев В. В. Функциональная безопасность программных средств. М.: СИНТЕГ, 2004.

8. Бурлаков А. Б. и др. Особенности тестирования на функциональную надежность модели сложной системы // Вестник Калужского университета. 2010. № 3. С. 41—47.

Дата принятия 28.05.2012 г.

621.317.08:621.317.1:621.317.6:629.7.036.3:62-752:62-047.58:004

Лингвистическая модель классификационных измерений распределений сигналов

А. А. ГОРШЕНКОВ, Ю. Н. КЛИКУШИН, В. Ю. КОБЕНКО

Омский государственный технический университет, Омск, Россия, e-mail: iit@omgtu.ru

Предложена модель, позволяющая автоматически классифицировать распределения сигналов и любые другие ряды наблюдений. Принцип действия модели основан на измерении степени неупорядоченности (хаотичности) списка имен эталонов распределений случайных сигналов. Описан алгоритм оценивания положения неизвестного сигнала в классификационной системе.

Ключевые слова: диагностика, идентификационные измерения, мера неупорядоченности, классификация и распознавание сигналов, хаос положений.

A model allowing to classify automatically the signals distributions and the any other series of observations is suggested. The operating principle of the model is based on the measurement of the degree of disorder (state of chaos) of the name list of standards of random signals distributions. The algorithm of estimation of the position of unknown signal in classification system is described.

Key words: diagnostics, identification measurements, disorder measure, classification and recognition of signals, static chaos.

Под классификацией понимается разделение группы объектов на некоторые части — подгруппы (кластеры, таксоны, сегменты), внутри которых объекты имеют общие, в определенном смысле, свойства. В познавательном отношении сложность процедуры классификации состоит в том, что, с одной стороны, объекты необходимо разделить на отдельные отличающиеся кластеры, а с другой — сделать так, чтобы в один и тот же кластер попали сигналы, имеющие нечто общее. Данное противоречие приводит к тому, что классификация становится оптимизационной процедурой и ее «правильность» во многом зависит от принятых пользователем критериев оптимизации. Более того, если учесть, что задачам классификации присуща высокая степень априорной неопределенности, то становится понятным, почему их решение не может быть однозначным.

В науке имеются примеры построения удачных и общезначимых классификаций, например, периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева [1]. В прикладном анализе данных [2—4] разработано определенное количество алгоритмов классификации и несколько вариантов их программной реализации.

Наиболее известные алгоритмы включены в состав таких популярных прикладных математических пакетов, как MATHEMATICA и STATISTICA [5]. Общей особенностью этих алгоритмов является то, что исходные данные представлены в форме таблицы типа «объект — свойство», которая рассматривается как математическая матрица [6]. Для выявления закономерностей, скрытых в матрице, применяют классические методы факторного, дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализа, которые позволяют визу-

лизировать связи между сигналами, в частности, путем построения соответствующих иерархических структур.

Однако изучение деревьев классификации не слишком распространено в вероятностно-статистическом распознавании образов вследствие ряда существенных недостатков, к которым относятся критичность к структуре и размерности исследуемой выборки, что часто приводит к отказу от классификации, и отсутствие возможности количественной оценки сложности построенных структур. Последнее обстоятельство затрудняет создание систем автоматической классификации сигналов, которые могли бы быть интегрированы в состав интеллектуальных средств управления, измерения и диагностики. Проведенными в последние годы исследованиями в области идентификационных измерений сигналов установлены новые перспективные направления в решении классификационных задач [7].

На этой основе предложен общий лингвистический подход, основанный на оценке степени неупорядоченности (хаоса) структуры сигналов, свободный от указанных недостатков традиционных классификационных алгоритмов и отличающийся простотой реализации.

Идентификационная шкала распределений. Базовым элементом лингвистической модели классификационных измерений является идентификационная шкала (ИШ) распределений, которая представляет собой таблицу [8].

Оцифрованные и поименованные отметки ИШ отображают фундаментальную закономерность связи между формами симметричных (2mod — двухмодального, asin — арксинусного, even — равномерного, trap — трапецеидального, simp — треугольного, gaus — нормального, lapl — двустороннего экспоненциального, kosh — Коши) распределений случайных сигналов. Физический смысл указанной закономерности состоит в непрерывном упорядоченном переходе форм распределений от Коши к двухмодальному (или наоборот). Упорядочение распределений проводится при помощи инструмента, который называется идентификационным тестером (ИТ). Принцип действия ИТ рассматриваемого типа (S-тестера) основан на оценке крутизны ранжированной функции сигнала. С формальной точки зрения ИТ отображает множество (например, временной ряд наблюдений) в особое идентификационное число ($0 \leq S \leq 100$), диапазон изменения которого покрывает все многообразие как непрерывных, так и дискретных форм распределений.

Чтобы подчеркнуть методологическое единство понятий «идентификационные измерения формы распределений» и «измерения физических величин», рассмотрим логическую схему (рис. 1), которая визуализирует аналогию между этими понятиями на примере измерения переменного напряжения $X(t)$. Если взять самый простой случай классических прямых измерений переменного напряжения с помощью аналогового показывающего прибора, в котором роль

измерительного преобразователя выполняет электростатический или электромагнитный механизм, то при идентификационных измерениях измерительным преобразователем служит ИТ, например S-типа. В обоих случаях результатом работы измерительного преобразователя является число, задающее отклонение стрелки указателя на некоторый угол. Однако, чтобы получить результат измерения, необходимо интерполировать положение стрелки по шкале, которая является упорядоченной многозначной мерой. Таким образом, как при классических, так и при идентификационных измерениях присутствует процедура сравнения с мерой. Более того, в целом идентификационные измерения так же, как и классические, являются «процессом нахождения значений физических величин опытным путем с помощью специальных технических средств...» [9]. Если предположить, что при измерении переменного напряжения стрелка указателя установилась на четвертой отметке (см. рис. 1), то для пользователя внешних различий между этими измерениями вообще не будет.

Отличия между классическими и идентификационными измерениями будут состоять в ответе на вопрос, что является объектом измерения — напряжение или форма распределения мгновенных значений. Если измеряемой величиной является напряжение, то все реперные точки шкалы будут иметь одинаковую размерность соответствующих стандартных единиц измерения (вольт). В [10] было показано, что форма распределения мгновенных значений как величина имеет размерность угловых градусов (радиан). Это связано с физическим смыслом понятия «форма распределения», которое показывает, на какой угол поворачивается вектор сигнала за один период, так называемой, характеристической частоты. В свою очередь, понятие «характеристическая частота» является обобщением классического понятия «частота» на класс случайных сигналов. При этом для периодических сигналов характеристическая частота численно равна их физической частоте. В случае с примером идентификационных измерений (см. рис. 1) реперные точки ИШ не имеют размерности, поскольку нормированы на 360° и выражены в процентах. Для полноты получаемой информации реперные точки ИШ дополнены стандартными именами распределений, взятыми из словаря [11], принадлежащего области статистических измерений. Указанные аналогии позволяют рассматривать возможность применения понятийного аппарата и технологий теории измерений к процедурам распознавания (идентификации, классификации).

Следует отметить, что условия существования идентификационных чисел как некоторых особых символов, которые служат упорядочиванию распределений, были сформулированы в виде принципов масштабной инвариантности, эквивалентности и согласованной упорядоченности [12].

Именно этими свойствами идентификационные числа отличаются, например, от чисел, представляющих в статистике моменты распределений.

В информационном смысле ИШ (см. таблицу) является классификатором выборочных реализаций сигналов, выделяющим все множество распределений на девять указанных классов. Класс с именем «const» соответствует постоянным во времени сигналам в течение неопределенно долгого времени наблюдения. Таким образом, если перед ис-

Идентификационная шкала распределений случайных сигналов

Идентификационное число	Вид распределения случайного сигнала (S-тестер) и Ранги (отметки ИШ)								
	const	kosh	lapl	gaus	simp	trap	even	asin	2mod
S — эталонов (реперных точек ИШ)	0	0,05	15	32	51	63	75	92	100
S_x — входного сигнала $X(t)$	—	—	31,94		—	—	—	—	—

следователями стоит задача разбиения группы сигналов на некоторые кластеры, то понятие идентификационных измерений можно конкретизировать, назвав соответствующие процедуры классификационными измерениями. В примере с $S_x = 31,94$ показано, что неизвестное распределение входного сигнала находится между эталонными распределениями Лапласа (lapl) и Гаусса (gaus) и может быть классифицировано, вероятнее всего, как нормальное. Однако указать погрешность подобной

интерполяции нельзя, поскольку закономерность изменения S_x между этими реперными точками (lapl и gaus) неизвестна. Таким образом, сформулируем проблему как задачу поиска закономерности связи между реперными точками ИШ с целью повышения точности интерполяции (считывания показаний) при проведении идентификационных измерений формы распределений.

Лингвистическая модель классификационных измерений сигналов. Классификацию сигналов путем их интерполяции по ИШ распределений можно реализовать еще одним способом. Его главная идея базируется на целостном представлении ИШ, при котором в классификации участвуют одновременно все девять ее реперных точек, а не только две ближайшие от S_x слева и справа (см. таблицу). Модель названа лингвистической, поскольку представляет собой совокупность процедур со списками реперных точек ИШ.

Применительно к ИШ распределений эта идея проиллюстрирована на рис. 2, где показаны следующие элементы: *DS* — прямая шкала (Direct Scale), в которой список эталонов соответствует указанному в таблице порядку следования имен реперных точек; *RS* — обратная шкала (Reverse Scale), в которой порядок следования эталонов противоположен списку *DS*; *MS* — измерительная шкала (Measurement Scale), порядок следования в которой возник при измерении некоторого сигнала (в данном примере — случайного сигнала с распределением, близким к нормальному, $S_x = 31,94$).

В свою очередь, ИШ является совокупностью трех списков. Первый список называется лингвистическим кодом (lingvocode, LC) и включает перечень имен распределений, выстроенных в соответствии со значением S_x . Второй список (Distance, *D*) перечисляет абсолютные отклонения D_i измеренного значения S_x и идентификационных чисел $\{Z_i\}$ реперных точек, упорядоченных по возрастанию. Третий список называется позиционным кодом (positioncode, PC), который перечисляет ранги имен распределений ИШ, выстроенные в соответствии со списком LC. Прямая шкала задает левую, а обратная — правую границы диапазона существования всех возможных рас-

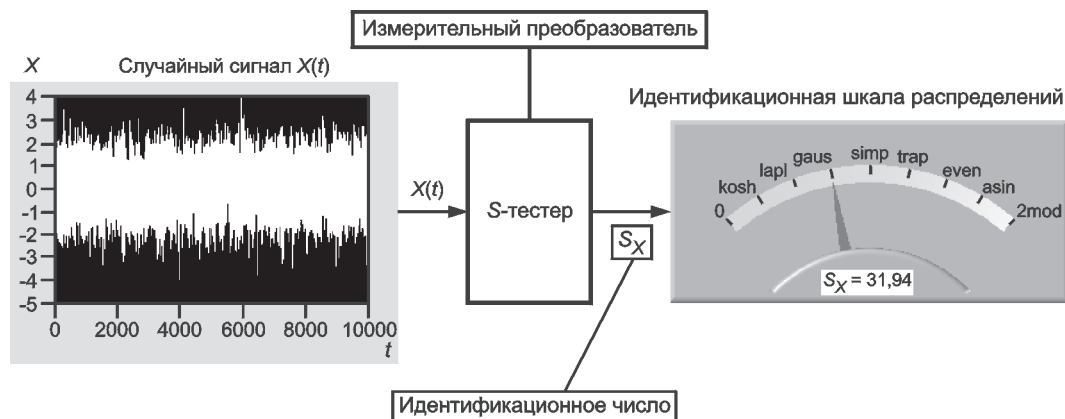


Рис. 1. Логическая схема идентификационных измерений формы распределений

пределений. Поскольку эти шкалы являются упорядоченными структурами, наиболее хаотичный список имен реперных точек будет располагаться где-то посередине между списками *DS* и *RS*.

Таким образом, получается аналогия между двумя измерительными системами, первая из которых представляет собой обычный аналоговый показывающий прибор, указатель (стрелка) которого находится между оцифрованными отметками, а вторая — предлагаемую модель. В последнем случае роль указателя (стрелки) играет измерительная шкала, расположенная между оцифрованными и упорядоченными отметками прямой и обратной шкал.

Алгоритм формирования измерительной шкалы изображен в правой части рис. 2. В блоке 1 осуществляется ввод измеренного с помощью тестера значения идентификационного параметра S_x входного сигнала. В блоке 2 происходит вычисление модуля разности идентификационного параметра и массива реперных точек ИШ: $D_i = \text{abs}(S_x - Z_i)$, где Z_i — значение идентификационного числа i -й реперной точ-

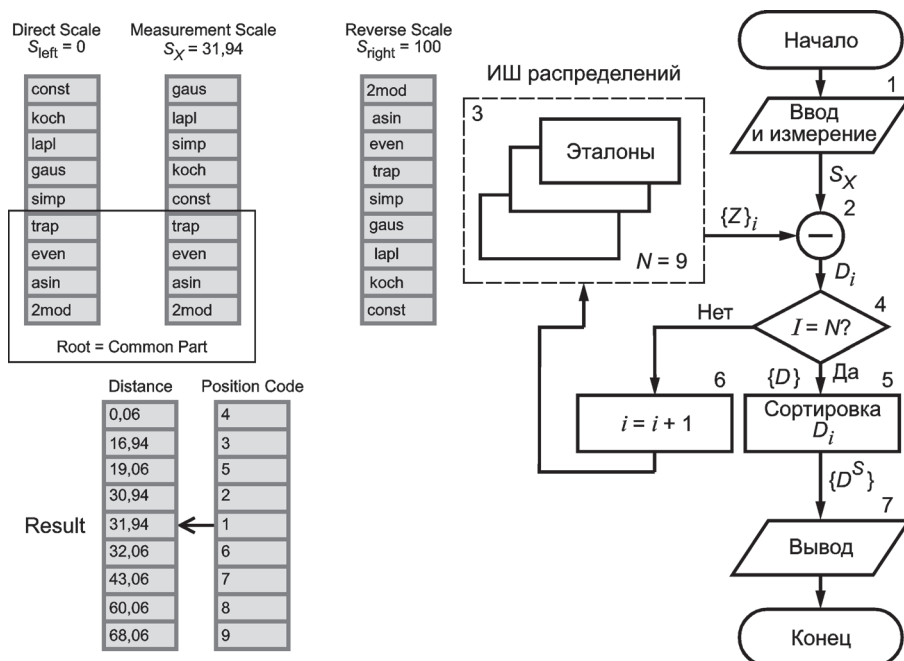


Рис. 2. Лингвистическая модель классификационных измерений сигналов

ки. Блок 3 — база данных, в которой хранится виртуальная шкала распределений в форме приведенной выше таблицы. В блоке 4 контролируется полнота просмотра всех $N = 9$ реперных точек. На выходе этого блока формируется массив $\{D\}$, который представляет список отклонений по всем реперным точкам: $\{D\} = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$. В блоке 5 этот массив сортируется по возрастанию, в результате чего формируется список $\{D^s\}$ типа D . Перебор реперных точек происходит в счетчике 6, вывод полученного списка их имен — в блоке 7.

В соответствии с рассмотренным алгоритмом результат измерения $S_x = 31,94$ хранится в той ячейке (строке) списка D , на которую указывает стрелка (см. рис. 2), направленная от ячейки, содержащей ранг 1 шкалы РС. Таким образом, уравнение измерения, с формальной точки зрения, можно записать в виде

$$S_x = S[j_d = j_{pc}(\text{pos} = \langle 1 \rangle)] / (M_x = m),$$

где j_d, j_{pc} — номера соответствующих позиций ячеек списков D и РС; $M_x = m$ — оценка значения неопределенности полученного результата.

Проведенными исследованиями установлено, что математическая модель $M(S)$ характеристики *Position Factor* справедлива для любых типов (линейных и нелинейных) шкал и содержит всего два параметра — смещения (S_0) и крутизны характеристики (S_m):

$$M(S) = -1 + 2 [1 + \exp(-(S_x - S_0)/S_m)]^{-1}, \quad (1)$$

где $S_0 \approx 47,4$; $S_m \approx 11$ для ИШ, приведенной в таблице.

Имея характеристику, подобную (1), можно аналитически оценивать степень близости (удаленности) любого результата S_x измерения к ближайшим отметкам ИШ. В частности, используя данные примера из таблицы, находим $M(S_1 = 15) = m(\text{lapl}) = -0,897$; $M(S_g = 32) = m(\text{gaus}) = -0,593$; $M(S_x = 31,94) = m(X) = -0,595$; $\Delta_1 = m(X) - m(\text{lapl}) \approx 0,3$; $\Delta_2 = m(\text{gaus}) - m(X) \approx 0,002$. Таким образом, окончательный ре-

зультат измерения неизвестного распределения можно записать в виде: Result = $S_x / [-\Delta_1$ (right name); $+\Delta_2$ (left name)] или $S_x = 31,94 / [-0,002$ (gaus); $+0,3$ (lapl)].

Познавательное значение лингвистической модели заключается в том, что она позволила определить диапазон измерения формы распределений сигналов.

Классификационное сравнение сигналов. Классификационные свойства лингвистической модели идентификационных измерений удобно проиллюстрировать примером сравнения формы распределений нескольких сигналов приведенным на рис. 3. Для этих целей выбраны модели сигналов, представляющих собой аддитивные смеси периодического синусоидального сигнала и случайного сигнала с нормальным распределением типа белого шума. Поскольку такие модели являются классическими и хорошо известны специалистам в области радиоэлектроники [14], значительно облегчается задача экспертной оценки «правильности» (адекватности) предложенных в данной работе решений.

В качестве управляющего фактора используется отношение сигнал—шум (ОСШ), варьируемое в диапазоне 0,5 — 2. В нижней части рис. 3 можно проследить эволюцию формы гистограмм в этом диапазоне. В средней части рис. 3 показано классификационное дерево, состоящее из корня, двух основных стволов (прямой и обратной шкал) и трех ветвей сигналов с ОСШ, равными 0,5; 1 и 2, упорядоченных по идентификационному числу ($S = \{S_{0,5} = 31,4; S_1 = 32,2; S_2 = 40,3\}$) слева направо. В верхней части рис. 3 в окнах *Chaos Factor* и *Position Factor* помещены оценки неопределенности в виде степеней хаотичности (неупорядоченности) и принадлежности, соответственно. Информационная структура классификационного дерева визуализируется не только упорядоченным расположением ветвей, но и связями между ними. Первый тип (свойство «общности») связей выделен жирными линиями, соединяющими ветви с прямой шкалой. В частности, абсолютная общность ветви сигнала с ОСШ = 0,5 ($S_{0,5} = 31,4$) и прямой шкалой составляет четыре позиции из девяти, а та же общность ветви сигнала с ОСШ = 2 ($S_2 = 40,3$) и прямой шкалой — только одну позицию. Следовательно, взаимная общность этих двух сигналов будет определяться разностью в $\Delta = 4 - 1 = 3$ позиции (или $3/9 = 1/3 = 33\%$ в относительной форме). Второй тип связей, показанных тонкими линиями, отображает свойство соответствия, при котором в разных ветвях в одинаковых позициях находятся одинаковые имена распределений ИШ. В данном случае ветвь сигнала с ОСШ = 1 ($S_1 = 32,2$) имеет четыре соответствия с ветвью сигнала с ОСШ = 0,5 ($S_{0,5} = 31,4$), и всего одно соответствие с ветвью сигнала с ОСШ = 2 ($S_2 = 40,3$). При генерации сигнала с ОСШ > 2 может произойти переключение связей этой ветви от прямой к обратной шкале. В таком случае следует говорить о качественном переходе сигнала в другое состояние.

Важно отметить следующее. Поскольку прямая и обратная шкалы являются строго упорядоченными, а измерительные шкалы сигналов — неупорядоченными (хаотичными), появляется возможность трактовать классификационные измерения как измерения «хаоса положений», который имеет статический характер. Переход к описанию поведения классификационной системы в динамике в данном случае осуществляется методически просто — указанием закона изменения идентификационного числа $S_x = S(t)$ во времени.

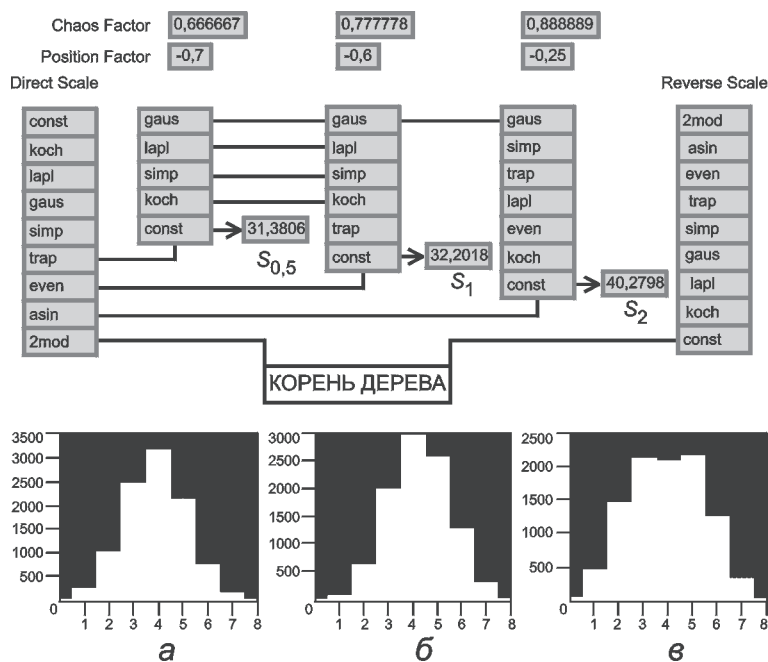


Рис. 3. Пример сравнения трех сигналов, гистограммы а — в соответствуют числам $S_{0,5}$, S_1 , S_2

Выводы. Предложенные модели позволяют измерять и классифицировать форму распределений путем создания, в частности, иерархических структур. Эти структуры идеально приспособлены для графического представления, и поэтому сделанные на их основе выводы, гораздо легче интерпретировать, чем выводы, представленные только в числовой форме. Учитывая тот факт, что рассмотренные деревья распределений сигналов являются полностью измеряемыми, наиболее перспективно использовать их для медицинской и технической диагностики и при решении задач, связанных с обработкой больших массивов неструктурированной информации, например, в метеорологии и сейсмографии. Лингвистическая модель агрегирует процедуры идентификации, измерения, распознавания образов и анализа данных так, что в распоряжении исследователей появляется новый набор универсальных инструментов для поиска, визуализации и оценки латентных закономерностей.

Материалы исследования получены в рамках выполнения государственного контракта № 16.516.11.6091 по теме: «Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области разработки и создания оборудования для диагностики и эксплуатации энергетического оборудования».

Л и т е р а т у р а

1. Некрасов Б. В. Основы общей химии. М.: Высшая школа, 1973.
2. Губарев В. В. Вероятностные модели: Справ. пособие. Новосибирск. Изд-во НЭТИ, 1992.
3. Методы анализа данных / Пер. с фр., под ред. С. А. Айвазяна. — М.: Финансы и статистика, 1985.

4. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / Под ред. С. А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1989.

5. Боровиков В. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере для профессионалов. СПб: Изд-во Питер, 2001.

6. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во Ин-та математики им. С. Л. Соболева СО РАН, 1999.

7. Кликушин Ю. Н. Технологии идентификационных шкал в задаче распознавания сигналов: Монография. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006.

8. Кликушин Ю. Н., Кошеков К. Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов: Монография. Петропавловск (Казахстан): Изд-во СКГУ им. М. Козыбаева, 2007.

9. Байда Л. И. и др. Электрические измерения / Под ред. А. В. Фремке, Е. М. Душина. Л.: Энергия, 1980.

10. Горшенков А. А., Кликушин Ю. Н. Представление моделей сигналов в системе идентификационных параметров // Интернет-журнал радиоэлектроники. 2010. № 9 [электрон. ресурс]. <http://jre.cplire.ru> (дата обращения 05.01.2012).

11. Губарев В. В. Алгоритмы спектрального анализа случайных сигналов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005.

12. Кликушин Ю. Н. Идентификационные инструменты анализа и синтеза формы сигналов: Монография. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010.

13. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000.

Дата принятия 13.09.2012 г.

53.088

Проективные свойства широкодиапазонных измерений

О. А. ЦЫБУЛЬСКИЙ

ЗАО «ПромСервис», Димитровград, Россия, e-mail: multimer@promservis.ru

Показана необходимость применения дробно-линейной функции при описании характеристики преобразования широкодиапазонных приборов.

Ключевые слова: широкодиапазонное преобразование, метрологические характеристики прибора.

The necessity of fractional-linear function application at description of the wide-range instruments conversion characteristics is shown.

Key words: wide-range conversion, instrument metrological characteristics.

Измерительная техника, изобразительное искусство, проективная геометрия имеют общие закономерности, определяемые тем, что в каждой из перечисленных дисциплин осуществляется проецирование или отображение. В измерительной технике измеряемая величина проецируется на измерительную шкалу. Впервые аналогия между проектным и измерительным преобразованием отмечена и

применена в [1]. В изобразительном искусстве и фотографии тоже происходит проецирование отображаемого объекта на плоскость картины или фотопленки. Проективная геометрия исследует закономерности проективных преобразований. Она была предложена Ж. Дезаргом для архитектурных и инженерных проектов в XVII веке, однако теория перспективы применялась художниками гораздо раньше.