

УДК 531.7

Н.П. Ординарцева**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ***

Рассмотрены вопросы моделирования в предметной области, связанной с измерениями; показана особая значимость и актуальность вопроса моделирования в науке об измерениях. Отмечена специфика результатов измерений как данных нечисловой природы с интервальной неопределённостью без вероятностной меры. Предложен новый метод восстановления функциональных зависимостей на основе теоретических предпосылок модели и данных планируемых физических экспериментов. Метод актуален в практических задачах нахождения функциональных зависимостей. Предложенный метод регрессионного моделирования на данных с интервальной неопределённостью актуален в практических задачах нахождения функциональных зависимостей, в частности при построении градуировочных кривых средств измерений. Отмечены специфические особенности медицинских измерений, главной из которых является наличие биологической обратной связи (БОС). Благодаря этой БОС возможна и эффективна по результатам измерений восстановительная терапия и обучающие тренинги пациентов.

Модель; измерительная задача; физическая величина; средство измерения; градуировочная характеристика; восстановление зависимостей; гибридная модель; биологическая обратная связь (БОС).

N.P. Ordinartseva**MATHEMATICAL MODEL OF MEASUREMENT TASK**

Model building problems in a subject related field, linked with measurements, are described; an extra valuable importance and a high necessity of model building issues in Measurement Science are acknowledged. Measurement results specification as data of non-numeral structure with an indefinite interval and omitted probability value are defined. A new method of functional dependence recovery processing, based on theoretical causes of the model and data of planned physical experiences are presented. The method is highly recommended for practical tasks to determine functional dependence. The method is highly recommended for practical tasks in order to determine functional dependence, for instance, while building calibration characteristics. Regression model using indefinite interval data. Specific features of medical measurement are given the presence of Biological Reversive Connection (BRC) is considered to be the primary one (out of the mentioned above). BRC make recovery therapy and training patient programs possible and effective, according to the measurement results.

Model; measurement task; physical quantities; measuring instrument; calibration characteristic; dependence recovery processing; hybrid model; Biological Reversive Connection (BRC).

Общепризнано, что измерение относится к познавательным процедурам, и в рамках теории познания изучение явлений выполняется либо на самих моделях, либо на их моделях.

Усложнение измерительных задач связано со стремлением максимально полно и всесторонне описать объект исследования через параметры его модели, поэтому решение всё более сложных измерительных задач напрямую связано с созданием всё более адекватных (а следовательно, более сложных) физических и математических моделей реальных объектов измерения.

Само понятие измеряемой величины вводится на определённой модели объекта, которая строится для решения конкретной практической задачи и отражает существенные для решения данной задачи особенности объекта при некоторой идеа-

* Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Создание высококачественных вакуумных конденсаторов» ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–20013 гг.)», гос. контракт № П 489 от 13 мая 2010 г.

лизации его свойств. Моделью может служить математическое выражение, отображение, схема, условное описание с указанием отдельных параметров (скалярных, векторных), соответствующих конкретным свойствам объекта. Изменение измерительной задачи может потребовать уточнение модели (что никак не противоречит принципу множественности моделей). Более того, такое уточнение должно происходить в процессе изучения объекта при постановке новых задач. Таким образом, в процессе подготовки измерительного эксперимента необходимыми этапами являются: выбор модели объекта исследования; определение (дефиниции) параметров модели; определение измеряемой величины, соотношенной с параметрами модели.

Выбор средства измерений (СИ) и его проектирование осуществляется в соответствии с представлениями об измеряемой величине, т.е. моделью свойства, а само измерение выполняется при взаимодействии этого средства с объектом, с его реальным свойством. Отличительно, что если в модельной исследовательской задаче используется модель СИ, то математическая модель СИ всегда определима, устройство с неизвестной моделью не может быть использовано как средство измерения. Кроме самой модели СИ, в метрологических задачах всегда задана её точность, представляющая собой условия и ограничения, накладываемые на СИ.

Итак, измеряемая величина вводится в качестве параметра модели. Применительно к рассматриваемой предметной области измерений получить полную исчерпывающую информацию об объекте и проявляемом им свойстве невозможно, как и невозможно получить истинное значение измеряемой ФВ; несовершенство модели обуславливает значение погрешности измерений. Поиск истинного значения измеряемой физической величины (ФВ) – это поиск идеальной модели свойства объекта; **последнее подчёркивает роль и значимость моделирования в теории измерений.**

В предметной области измерений моделируется следующее многообразие объектов и процедур: входные воздействия, измеряемые ФВ, средства измерений, процедуры измерений, характеристики результатов измерений, погрешности измерений, процедуры анализа (метрологический анализ), процедуры синтеза (проектирование измерительных модулей).

В целом аппарат описания математических моделей объектов, условий, процедур и средств измерений развивается по следующей схеме: процедура измерений (уравнение измерений) – объект измерений (входное воздействие) – средство измерений (модуль) – условия измерений (набор дополнительных входных воздействий).

Наиболее общее формальное определение понятия измерительной процедуры впервые было дано А. Тарским [1]: «измерение – гомоморфное отображение некоторой эмпирической системы с отношениями ξ на числовую систему с отношениями N , т.е.

$$\xi = [\xi, R_\xi] \rightarrow N = [N, R_N],$$

где $\xi = [\xi, R_\xi]$ – эмпирическая система с отношениями (ξ – множество эмпирических объектов; R_ξ – множество эмпирических отношений); $N = [N, R_N]$ – числовая система с отношениями (N – множество числовых объектов, R_N – множество отношений)».

В работе [2] И. Пфанцагль вводит понятия и условия гомоморфизма (однаправленности) и изоморфизма (двухнаправленности) при отображении эмпирических систем с отношениями в числовые системы с отношениями. И даже условиями гомоморфизма отображение $[\xi, R_\xi] \rightarrow [N, R_N]$ не определяется единственным

образом: существует целый класс шкал, гомоморфно отображающих эмпирическую систему с отношениями.

Кортеж $\langle \xi : N : h \rangle$, где h – гомоморфизм из $[\xi, R_\xi]$ в $[N, R_N]$ называют шкалой измерения. Совокупность $H = \{h\}$ всех гомоморфизмов описывает класс эквивалентных шкал, называемый типом шкалы измерения. Следовательно, отображения $[\xi, R_\xi] \rightarrow [N, R_N]$ являются обязательной моделью любой измерительной процедуры. Любое измерение представляет собой отображение наблюдаемого фрагмента действительности в модельном метрологическом пространстве; цель измерения состоит в нахождении в соответствующих единицах этого пространства количественной оценки текущего значения интересующей ФВ как аналитического образа действительности, проявляющегося воздействием сигнала на соответствующий сенсор.

Классическим примером использования отображения может служить формирование результата измерений показывающим прибором с использованием традиционной шкалы. В виде отображения может быть также построено градуировочное преобразование, хотя всё чаще в современных измерительных средствах оно выполняется на основе известной зависимости – функционального преобразования.

В измерительной практике широко распространены задачи поиска лучших моделей градуировочных характеристик. Решение поставленной задачи актуально не только для градуировки СИ. При передаче размеров единиц метод градуировки обеспечивает наименьшую потерю точности, и в некоторых случаях только этот метод может обеспечить требуемую точность поверяемых СИ. Поэтому он довольно распространён при передаче размеров единиц на верхних ступенях поверочных схем и при исследованиях высокоточных средств измерений [3].

Среди известных моделей градуировочных характеристик интересной является модель мультисегментной пространственной аппроксимации, разработанная применительно к интеллектуальным датчикам давления [4]. Существующие метрологические стандарты и руководства по представлению измерительных данных детально разработаны только для прямых измерений одной величины. Метрология не даёт корректных рекомендаций по числовым выражениям и представлениям многомерных измерительных данных, эти рекомендации находятся ещё в процессе обсуждения [5], и в этом смысле предлагаемая модель [4], обрабатывающая двумерные измерительные данные (по давлению и по температуре), является пионерской. Вторая размерность в рассматриваемой модели позволяет учесть влияние на результат измерения температуры и минимизировать температурную составляющую влияющего фактора. Аппроксимация градуировочной характеристики в виде системы линейных пространственных элементов предельно упрощает вычисление процессором результата измерения. Но и в случае некорректности линейной аппроксимации в нелинейных системах модель позволяет использовать нелинейные пространственные элементы. Однако модель не учитывает нечисловую природу обрабатываемых данных, полагая, что результаты измерений представлены числом, а не интервалом возможных значений.

Автором разработана новая модель восстановления функциональных зависимостей на основе теоретических предпосылок модели и данных планируемых физических экспериментов [6]. Метод гибридного регрессионного анализа позволяет улучшить искомую модель Y и сделать последнюю более обоснованной и адекватной. Модель строится путём использования гибридных данных априорной теоретической модели и результатов планируемого физического эксперимента. Суть объединённого анализа теоретических и эмпирических данных в том, что в силу

их некоторой избыточности имеется возможность уточнения исходных предположений. Например, теоретическая модель

$$Y_{теор} = f(X_{теор_1}, X_{теор_2}, \dots, X_{теор_m}) \quad (1)$$

не учитывает случайную погрешность измерения, причиной которой могут быть стохастические явления, обусловленные люфтом, трением, гистерезисом, совместным влиянием влияющих величин и т.д.

Результаты планируемого физического эксперимента представляют собой результаты совместных измерений входной и выходной величин искомой модели (входного и выходного сигнала СИ)

$$Y_{эксн} = \varphi(X_{эксн_1}, X_{эксн_2}, \dots, X_{эксн_k}), \quad (2)$$

выполненных с какой-то погрешностью. Гибридная модель представляет собой функцию, принадлежащую области, ограниченной зависимостями (1) и (2). Искомая регрессионная модель находится из условия

$$\left[f(X_{теор_1}, X_{теор_2}, \dots, X_{теор_m}) - \varphi(X_{эксн_1}, X_{эксн_2}, \dots, X_{эксн_k}) \right]^2 \Rightarrow \min.$$

Неизвестными в искомой регрессионной гибридной модели будут коэффициенты V_i и μ_j при аргументах $X_{теор_i} \ i=1-m$ и $X_{эксн_j} \ j=1-k$ соответственно, которые определяют, решая систему из $(m+k)$ уравнений, что означает равенство нулю частных производных функций

$$\begin{cases} \frac{F(v_0, \dots, v_m, \mu_0, \dots, \mu_k)}{\partial v_{0-m}} = 0, \\ \frac{F(v_0, \dots, v_m, \mu_0, \dots, \mu_k)}{\partial \mu_{0-k}} = 0. \end{cases}$$

Развитие СИ по пути компьютеризации и интеллектуализации потребовало исчерпывающей формализации описания объектов, условий, процедур и средств измерений. Если процедура измерений описывается созданием алгоритмической модели как разновидности математической и далее на языке, воспринимаемом техническими средствами, то это исчерпывающая формализация описания, обеспечивающая возможность автоматизации выполнения процедуры измерений. Говоря о значимости формализации в измерениях, нельзя не отметить моделирование как отправную точку техники виртуальных измерений и создания виртуальных СИ. Исчерпывающей формализацией измерительных данных и измерительных знаний (алгоритмов принятия решений) отличаются интеллектуальные измерительные и адаптивные (как разновидность интеллектуальных) системы.

Моделирование в каждой конкретной области измерений имеет свои отличительные черты и особенности. В последнее время все большее и большее практическое значение приобретают медико-биологические измерения и, соответственно, растёт интерес к ним, что, прежде всего, конечно, объясняется их социальной значимостью, а также технической возможностью выполнения последних благодаря современному уровню измерительно-диагностирующей аппаратуры. Отличительной особенностью моделирования медицинских измерений является наличие биологической обратной связи (БОС) [7,8]. Именно наличие этой БОС делает возможной и эффективной по результатам измерений восстановительную терапию, а также различные обучающие тренинги пациентов.

Рассмотренные вопросы моделирования в предметной области, связанной с измерениями, подчеркивают актуальность и значимость работ этого научного направления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Tarski A.* Contributions to the theory of models. I-III Indagationes Math. – 1954. – P. 16.
2. *Пфанцagl И.* Теория измерений. – М.: Мир, 1976. – 240 с. // *Johann Pfanzagl.* Theory of measurement. – Physica-Verlag. Würzburg-Wien, 1971.
3. *Семёнов Л.А., Сирая Т.Н.* Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 128 с.
4. *Пьявченко О.Н., Клевцов С.И., Мокров Е.А., Панич А.Е., Пьявченко А.О., Удод Е.В., Фёдоров А.Г.* Прецизионные интеллектуальные тензометрические датчики давления. Методы, модели, алгоритмы и архитектуры / Под ред. О.Н. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2009. – 152 с.
5. <http://mscsmq.vniim.ru/files/2009/rus/8-golubev-09-ru.pdf>.
6. *Ординарцева Н.П.* Метод гибридного моделирования в регрессионном анализе // Вопросы электроники. – 2012. – № 1. – С. 136-143.
7. *Ординарцева Н.П.* Планирование эксперимента в измерительных задачах постурологии // Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 4. (Электронный журнал ВАК <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011>).
8. *Истомина Т.В., Ординарцева Н.П.* Вопросы метрологии в задачах медико-биологической диагностики // Известия ЮТУ. Технические науки. – 2009. – № 10 (99). – С. 44-48.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Зори.

Ординарцева Наталья Павловна – Пензенский государственный университет; e-mail: nat@rclink.ru; 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40; тел.: 88412368233; к.т.н.; доцент.

Ordinartseva Natalia Pavlovna – Penza State University; e-mail: nat@rclink.ru, 40, Krasnaya street, Penza, 440026, Russia; phone: +78412368233; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 368.3.068

Д.В. Ольхов, А.В. Затылкин, Н.К. Юрков

**СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ
В ПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ***

Рассмотрен этап проектных исследований радиотехнических устройств (РТУ), характеризующийся сложностью проведения анализа моделей проектируемых устройств и позволяющий повысить качество проектных решений и надежность самого изделия. Специфику конструирования РТУ определяют условия окружающей среды и особенности использования изделий, среди которых особое место занимают механические воздействия – удары, вибрации, ускорения и звуковые давления. Совпадение собственных резонансных частот устройства с частотой вынужденных колебаний при его эксплуатации приводит к возникновению эффекта резонанса в конструкции РТУ, что в свою очередь вызывает появление сбоев и даже отказов. Чтобы избежать этого, необходимо прогнозировать протекание механических процессов в конструкциях РТУ, основным из которых является процесс упругих деформаций. Разработана программная система “Solo-Mid”, предназначенная для обработки первичной информации, полученной в ходе выполнения практического эксперимента по исследованию процесса механических воздействий на стержневые и пластинчатые конструкции РТУ. Применение представленной программной системы позволяет осуществить визуализацию первичной информации, что позволяет существенно повысить эффективность анализа прототипа РТУ на устойчивость к внешним механическим воздействиям.

Проектные исследования; радиотехнические устройства; механические воздействия; первичная информация; анализ; устойчивость.

* Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка интеллектуальной системы управления сложным программно-аппаратным комплексом на основе теории межсистемного взаимодействия» (Г.К. №П1316 от 09 июня 2010 г.) ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013 гг.)».