

УДК 330.4(045)  
JEL: C11, C52

DOI 10.33278/SAE-2020.book1.392-397

## A SYSTEMIC APPROACH TO MEASUREMENT. METHODOLOGY AND TECHNOLOGY OF SYSTEMS MEASUREMENTS

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИЗМЕРЕНИЯХ. МЕТОДОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Svetlana V. Prokopchina<sup>1</sup>

ORCID 0000-0001-5500-2781

Светлана Васильевна Прокопчина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Financial University under the Government of the Russian Federation

<sup>1</sup> Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

The research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research  
(Project No. 20-17-00007)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований  
(Проект № 20-17-00007)

Keywords: *systemic measurement, Bayesian approach, Bayesian intelligent measurement*

Ключевые слова: *системные измерения, байесовский подход, байесовские интеллектуальные измерения*

The type of measurement of system parameter values according to the classical scheme "experimental data-model element-comparison scheme" has been used in measurement practice for quite a long time and some aspects of this methodology are still being developed (e.g. [1]). At the same time, the measurements themselves are organised for the system parameters independently of each other and after obtaining the measurement results for each parameter, conclusions are made about the state of the system or its subsystems. As a rule, these conclusions are made by the metres himself or another responsible person, for example, the LPR. Mandatory conditions the implementation of such a measuring scheme are the independence of the parameters from each other, the sufficiency of experimental material (to ensure the certainty of the measuring experiment) and equipment, as well as the availability of an approved measurement procedure. Currently, the relevance of system measurements in technical and socio-economic problems has increased significantly.

Вид измерений значений параметров систем по классической схеме «экспериментальные данные – образцовый элемент – схема сравнения» используется в измерительной практике достаточно давно и до настоящего времени разрабатываются отдельные аспекты этой методологии (например, [1]). При этом сами измерения организуются для параметров систем независимо друг от друга и после получения результатов измерений по каждому параметру делаются выводы о состоянии системы или ее подсистем. Как правило, эти выводы делает сам измеритель или другое ответственное лицо, например, ЛПР. Обязательными условиями реализации такой измерительной схемы являются независимость параметров друг от друга, достаточность экспериментального материала (для обеспечения условий определенности измерительного эксперимента) и оборудования, а также наличие утвержденной методики измерений. В настоящее время актуальность системных измерений в технических и социально-экономических задачах значительно возросла. Особенно в связи с необходимостью управления

Especially in connection with the need to manage polysystem environments such as territorial-industrial systems with integrated production, energy systems, territorial development, transport networks, social networks, etc.

Such tasks are characterised by the complexity of the structures of the objects of measurement, the variety of information flows, active interaction with the environment, the dynamism and unpredictability of the development of situations. This does not allow us using the above classical scheme to measure the parameters of such systems, since each of the parameters is integrated into a complex systemic environment and is, in fact, a separate system.

In addition, classical measurement schemes under uncertainty conditions cannot always be applied due to the incompleteness of information and knowledge about models, standards and properties of measurement objects, due to their variability and variability of measurement conditions, including a priori information, restrictions, assumptions, metrological and criterion requirements and bases.

In this regard, it is advisable to consider several methodological aspects that are important for the organisation of such system measurements.

First, about the formulation of the system measurement problem.

It is known that in accordance with the property of emergence, a system or a complex system factor (parameter), which is a hierarchical set of less complex parameters, has properties different from the properties of the elements that make them up. With the above approach with measurements of individual parameters according to their methods, it is not possible to measure new "synergistic" system properties.

Therefore, such measurements may be so incomplete that when generalizing the results of these measurements, it will cause a significant system error, and the results will be unusable.

Second, in real systems of technical, economic, social and environmental types, the situation of information certainty when measuring system parameters or assessing their state is practically not encountered. Informational uncertainty is in-

полисистемными средами, такими как территориально-промышленными системами с комплексным производством, энергосистемами, территориальным развитием, транспортными сетями, социальными сетями и др. Для таких задач характерны сложность структур объектов измерения, многообразие информационных потоков, активное взаимодействие с окружающей средой, динамичность и непрогнозируемость развития ситуаций. Это не позволяет использовать приведенную выше классическую схему для измерения параметров подобных систем, так как каждый из параметров является интегрированным в сложную системную среду и представляет собой, по сути, отдельную систему. Кроме того, классические измерительные схемы в условиях неопределенности не всегда могут быть применены в связи с неполнотой информации и знаний о моделях, эталонах и свойствах объектов измерения в связи с их изменчивостью и изменчивостью условий измерения, включающих априорную информацию, ограничения, допущения, метрологические и критериальные требования и базисы. В связи с этим целесообразно рассмотреть несколько методологических аспектов, важных для организации таких системных измерений.

Во-первых, о постановке задачи системных измерений. Известно, что в соответствии со свойством эмерджентности, система или сложный системный фактор (параметр), представляющий собой иерархическую совокупность менее сложных параметров, обладают свойствами, отличными от свойств элементов, их составляющих. При указанном выше подходе с измерениями отдельных параметров по их методикам не обеспечивается возможность измерения новых «синергетических» системных свойств. Поэтому такие измерения могут быть настолько неполны, что при обобщении результатов этих измерений это вызовет значительную системную ошибку, и результаты окажутся непригодными для использования.

Во-вторых, в реальных системах технического, экономического, социального и экологического типов ситуация информационной определенности при измерении системных параметров или оценке их состояния практически не встречается. Им присуща информационная неопределенность. Причем, она проявляется не только в недостаточности экс-

herent in them. Moreover, it manifests itself not only in the lack of experimental data, but also (which is much more important) in the absence of measurement techniques, instruments, models of measurement objects, and even exemplary measures. Since such systems are multidimensional and dynamic, and also actively interact with other systems of the external environment, then it is necessary to determine the above components of this process for each measurement process before carrying out the measurements proper.

Third, external systems, interacting with the system that is the object of measurement, form an environment that also has some new properties according to the "law of emergence". Thus, a polysystem is created in which the measurement object is its element on the one hand, and that of the central system of the polysystem, on the other.

It follows from this that before carrying out such "polysystem" measurements (polysystem measurements – i.e. system measurements taking into account the influence of the external environment), it is necessary to carefully plan the measurement experiment, determining, in addition to the previous requirements, the model of interaction of the measured system with factors of other systems, taking into account the nature and degree of their influence, a priori information, as well as metrological and other requirements.

In particular, based on the requirements for the accuracy of system measurements, it is necessary to determine with what accuracy individual properties and parameters should be measured in order to ensure, in general, the required or acceptable accuracy of the results of system measurements within the framework of the assumptions and limitations of the polysystem model. The proposed principles will be considered in relation to polysystem measurements of the state of the so-called "smart systems". Among such systems, the UN EC classification guides include "smart energy networks" and "smart cities", the concepts of which include the requirements for ensuring high indicators of economic efficiency and energy efficiency, observability and controllability of their polysystems, as well as ensuring continuous sustainable and harmonious development [2].

периментальных данных, но и (что гораздо существеннее) в отсутствии методик измерений, приборов, моделей объектов измерений, и даже образцовых мер. Поскольку такие системы многомерны и динамичны, а также активно взаимодействуют с другими системами внешней среды, то для каждого процесса измерения прежде, чем проводить сами измерения, необходимо определять вышеуказанные составляющие этого процесса.

В-третьих, внешние системы, взаимодействуя с системой, являющейся объектом измерения, формируют среду, которой также по закону «эмерджентности» присущи некоторые новые свойства. Таким образом, создается полисистема, в которой объект измерения является ее элементом, с одной стороны, и центральной системой полисистемы, с другой. Из этого следует, что до проведения таких «полисистемных» измерений (полисистемных измерений – то есть системных измерений с учетом влияния внешней среды) необходимо тщательно планировать измерительный эксперимент, определяя, дополнительно к предыдущим требованиям, модель взаимодействия измеряемой системы с факторами других систем, с учетом характера и степени их влияния, априорной информации, а также с учетом метрологических и других требований. В частности, исходя из требований точности системных измерений, необходимо определять, с какой точностью надо измерять отдельные свойства и параметры, чтобы обеспечить в целом требуемую или приемлемую точность результатов системных измерений в рамках допущений и ограничений полисистемной модели. Выдвинутые принципы рассмотрим применительно к полисистемным измерениям состояния так называемых «умных систем». К числу таких систем классификационные справочники ЕК ООН относят «умные энергетические сети» и «умные города», в концепции которых входят требования обеспечения высоких показателей экономической эффективности и энергоэффективности, наблюдаемости и управляемости их полисистемами, а также обеспечения непрерывного устойчивого и гармоничного развития [2]. Методологическая часть работы построена на основе регуляризирующего байесовского подхода (РБП) и байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) Параметры измерений делятся на измере-

The methodological part of the work is based on the regularizing Bayesian approach (RBP) and Bayesian intelligent technologies (BIT). Measurement parameters are divided into directly measured and indirectly measured.

The use of appropriate types of SDR allows maintaining the principle of uniformity of measurement, which ensures stability, quality control and risk management of solutions [2]. The required accuracy of the obtained solutions determines the distance between the SDR benchmarks in decision-making spaces: probabilistic and possible, geographical and temporal, parametric and functional spaces. It is possible to determine the distance between the benchmarks in units of measurement of the amount of information. If the distance between the benchmarks of the hyper-scale of the information space is determined in geographic coordinates, then, considering the benchmarks as sources of information, it is possible to determine the optimal infrastructure of a distributed Information Analytical Center that implements a single information space. To ensure the controllability of the information field, that is, to control its creation and further development, it is necessary to observe the principles of observability, identifiability and interpretability of its properties and characteristics. To ensure the principle of observability, an inventory of information sources is carried out, their ranking according to the degree of their reliability, accuracy and integration based on BIT technologies.

Following the rules of the RBP, the main stages of the formation of a unified information space can be represented in the form of the following technological series:

1. Designing a hyper-scale of a unified information space based on the principles of RBP.
2. Constructing a dynamic compact of a unified information space (IP).
  - 2.1. Formalizing the conceptual content representation of a unified information space (definition, typification and conceptual formalization of applied IP tasks based on RBP).

мые непосредственно и измеряемые косвенно. Применение соответствующих типов ШДО позволяет сохранить принцип единства измерений, обеспечивающий устойчивость, контроль качества и управление риском решений. [2] Требуемая точность получаемых решений определяет расстояние между реперами ШДО в пространствах принятия решений: вероятностном и возможностном, географическом и временном, параметрическом и функциональном пространствах. Возможно определение расстояния между реперами в единицах измерения количества информации. Если расстояние между реперами гипер-шкалы информационного пространства определяется в географических координатах, то, рассматривая реперы как источники информации, можно определить оптимальную инфраструктуру распределенного Информационного Аналитического Центра, реализующего единое информационное пространство. Для обеспечения управляемости информационным полем, то есть управления его созданием и дальнейшим развитием, необходимо соблюдение принципов наблюдаемости, идентифицируемости и интерпретируемости его свойств и характеристик. Для обеспечения принципа наблюдаемости производится инвентаризация источников информации, их ранжирование по степени их достоверности, точности и интеграция на основе технологий БИТ.

Следуя правилам РБП, основные этапы формирования единого информационного пространства можно представить в виде следующего технологического ряда:

1. Проектирование гипер-шкалы единого информационного пространства на основе принципов РБП.
2. Построение динамического компакта единого информационного пространства (ИП).
  - 2.1. Формализация концептуального контентного представления единого информационного пространства (определение, типизация и концептуальная формализация прикладных задач ИП на основе РБП).
  - 2.2. Формирование концептуального представления объектов и субъектов единого информационного пространства на основе РБП.
  - 2.3. Формирование требований и ограничений (требования к виду и качеству / риску ре-



- 2.2. Forming a conceptual representation of objects and subjects of a unified information space based on RBP.
  - 2.3. Forming requirements and restrictions (requirements for the type and quality / risk of solutions; limitations of methodological, technological and applied aspects).
  - 2.4. Inventory and audit (content, topological and metrological substantiation and filtration) of information sources based on the principles and formalisms of the BRP.
  - 2.5. Inventory and audit of information consumers.
  - 2.6. Forming a criterion base for solving applied problems.
  - 2.7. Filtering and inventory (typing) and formatting useful information sources.
  - 2.8. Metrization of information sources based on scales with dynamic constraints.
  - 2.9. Constructing a hypercube of SHDO (Hyper-SHDO) for a single IP.
  3. Information content of the metric space.
  4. Integrating Hyper-SHDO content filling.
  5. Integrating information and model representations of (computational) resources based on the BIT methodology.
  6. Filling knowledge bases (typical and a priori conclusions, recommendations).
  7. Organizational formation of a unified information space in the form of a network of intellectual centres (an example of such a network is the network of regional CINTECH centres).
  8. Filling local according to BIT factor and decision trees templates, copying BIT templates of field components.
  9. Filling the electronic library of a unified information space according to the types of tasks to be solved and the type of users.
  10. Developing a conceptual logistics model of the space, including a WEB model for connecting centres to the telecommunications network.
  11. Training of users of the centres.
  12. Start the working mode.
  13. Monitoring of new sources of information, generating new knowledge in the system of the created unified information space.
- шений; ограничения методологического, технологического и прикладного аспектов).
  - 2.4. Инвентаризация и аудит (контентное, топологическое и метрологическое обоснования и фильтрация) источников информации на основе принципов и формализмов БРП.
  - 2.5. Инвентаризация и аудит потребителей информации.
  - 2.6. Формирование критериальной базы для решения прикладных задач
  - 2.7. Фильтрация и инвентаризация (типизация) и форматирование полезных источников информации.
  - 2.8. Метризация источников информации на основе шкал с динамическими ограничениями.
  - 2.9. Построение гиперкуба ШДО (гипер-ШДО) для единого ИП.
  3. Информационное наполнение метризованного пространства.
  4. Интеграция контентного наполнения гипер-ШДО.
  5. Интеграция информационных и модельных представлений (вычислительных) ресурсов на основе методологии БИТ.
  6. Наполнение баз знаний (типовых и априорных выводов, рекомендаций).
  7. Организационное формирование единого информационного пространства в виде сети интеллектуальных центров (примером такой сети может служить сеть региональных центров CINTECH).
  8. Наполнение локальных центров по шаблонам деревьев факторов и решений БИТ, копирование БИТ-шаблонов компонентов поля.
  9. Наполнение электронной библиотеки единого информационного поля согласно типам решаемых задач и типу пользователей.
  10. Разработка концептуальной логистической модели поля, включая WEB-модель подключения центров к телекоммуникационной сети.
  11. Обучение пользователей центров.
  12. Запуск рабочего режима.
  13. Мониторинг новых источников информации, генерация новых знаний в системе созданного единого информационного пространства.

When new sources of information are found, the process of transforming and updating the information space is repeated, starting from positions 2.7.

When requirements, tasks or the criterion base change, the transformation process is repeated from the first position.

При нахождении новых источников информации процесс преобразования и обновления информационного пространства повторяется, начиная с позиций 2.7. При изменении требований, задач или критериальной базы процесс преобразования повторяется с первой позиции.

### References / Библиография

1. Prokopchina S.V. Methodological foundations of the theory of soft measurements. In the book: Soft measurements and calculations, V. 1. Moscow, 2017. 395 p.
2. Prokopchina S.V. the Concept of Bayesian intellectualization of measurements in the tasks of monitoring complex objects. News of artificial intelligence. 1997; 3: 7–56
3. The future is digital. Business Guide. Appendix to the newspaper "Kommersant", May, 2018.
4. Prokopchina S.V. Methodological aspects of the theory of soft measurements. International conference "SCM-2005", St. Petersburg, LETI Publishing house, pp. 49–63.
5. Prokopchina S.V. Principles of creating a single information space based on BITS. Collection of reports of the international conference on soft computing and measurement. 2003, St. Petersburg, St. Petersburg GETU publishing house, pp. 64–70.
6. Prokopchina S.V. System measurements and modeling of economic systems under uncertainty on the basis of the regularizing Bayesian approach (RBP). Economics and management Problems and solutions. 2014; 7.
7. Prokopchina S.V. Principles and methodological aspects of constructing a scale with dynamic constraints for measurement under uncertainty. Soft measurements and calculations. 2018; 3: 4–15.
1. Прокопчина С.В. Методологические основы теории мягких измерений. В кн. «Мягкие измерения и вычисления», Том 1. М.: Изд. Дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2017. 395 с.
2. Прокопчина С.В. Концепция байесовской интеллектуализации измерений в задачах мониторинга сложных объектов // Новости искусственного интеллекта. 1997. № 3. С. 7–56.
3. Цифровое будущее. Business Guide. Приложение к газете «Коммерсантъ», Май, 2018.
4. Прокопчина С.В. Методологические аспекты теории мягких измерений. Сб. докл. Межд. конф. «SCM-2005», СПб.: ЛЭТИ. С. 49–63.
5. Прокопчина С.В. Принципы создания единого информационного пространства на основе БИТ // Сб. докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. 2003, СПб., изд-во СПб ГЭТУ, С. 64–70.
6. Прокопчина С.В. Системные измерения и моделирование экономических систем в условиях неопределенности на основе регуляризирующего байесовского подхода (РБП) // Экономика и управление Проблемы и решения. 2014. № 7.
7. Прокопчина С.В. Принципы и методические аспекты построения шкалы с динамическими ограничениями для измерения в условиях неопределенности // Мягкие измерения и вычисления. 2018. № 3. С. 4–15.