

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОЛИСИСТЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

С.В. Прокопчина

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Abstract. The paper describes the author's method of polysystem's measurement realization, based on the theory of Regularizing Bayesian Approach (RBA). The concept of polysystem's measurement (PM) is suggested. The main principles for this concept are given. The mathematical description of PM has been developed. The practical examples of suggested methodology are given.

Keywords: Theory of Measurement, Bayesian Approach, Soft Measurement

Первым и основным этапом решения всех прикладных задач мониторинга, контроля (аудита), прогнозирования и управления, в том числе и в социально-экономических средах, является этап проведения измерений и получения достоверных измерительных решений.

Социально-экономические среды или «человекоразмерные системы» по определению В.Е.Лепского [1] могут быть представлены как полисистемные среды, состоящие из множества сложных систем с собственными автономными системами управления и иерархической распределенной центральной системой управления. Эти системы могут находиться в различного типа взаимодействиях: от партнерского, содействующего до конкурентного и противоборствующего. Такие взаимодействия могут проявляться явно и неявно, то есть быть скрытыми от распределенного наблюдателя. Они также могут обладать различной степенью силы их проявления. Причем эти взаимодействия, как и свойства самих автономных систем могут меняться в времени.

Измерения в таких системах имеют ряд специфических аспектов, методологическая основа которых в настоящее время не разработана. Отметим некоторые методологические аспекты реализации измерительных процессов в полисистемах.

Во-первых, в современной практике измерений основными задачами являются задачи измерений в автономных системах

их собственных свойств и характеристик. Проведение измерений свойств полисистемы как совокупности автономных систем требует учета новых свойств и качеств, обусловленных по закону эмерджентности синергетизмом полисистемы, в том числе и возникающих взаимосвязей, отмеченных выше.

Во-вторых, сложность, иерархичность, многомерность, динамичность, распределенность полисистем и разнообразие информационных массивов данных и знаний о них, обуславливает значительную неопределенность в получении модельных представлений, образцовых систем, измерительных шкал и методик измерений.

Именно это определило в практике измерений переход от использования показателей погрешности измерений к применению показателей неопределенности, закрепленный серией стандартов ISO и рекомендаций

ИМЕКО.

В третьих, первые два отмеченные аспекта приводят к неустойчивости получаемых измерительных решений, не позволяющих использовать их на практике для решения вышеуказанных задач.

В работах [2-7] и других работах автора показано, что в подобных условиях решение измерительных задач должно быть основано на принципах условности их адекватности и регуляризации измерительных пространств в рамках априорной информации, ограничений, критериальных

и метрологических требований. При этом сами измерительные задачи должны рассматриваться не как прямые задачи измерений (классический подход в условиях определенности), а как обратные задачи восстановления значений измеряемых параметров на основе принятых методов вывода и выбора решений.

Полученные в указанных работах вводы позволили сформулировать принципиальные положения, отражающие методологические требования к реализации полисистемных измерений.

Определения и основные принципы полисистемных измерений в социально-экономических задачах в условиях неопределенности

Термином «полисистема» определим совокупность автономных систем, функционирующих в едином топологическом пространстве, содержащем общие материальные, энергетические и информационные ресурсы, в котором взаимосвязи между этими системами сильнее, чем с окружающей полисистемой средой.

Под полисистемными измерениями будем понимать измерения свойств и отношений совокупности автономных систем полисистемы, а также свойств полисистемы как целостной структуры.

Отметим, что к объектам полисистемных измерений можно отнести индексы, интегральные, агрегированные показатели социально-экономических систем.

Сформулируем основные принципы реализации полисистемных измерений.

Первый принцип. в условиях неопределенности *постановка задачи полисистемных измерений должна быть определена в виде совокупности прямых и обратных задач восстановления значений, состояний, ситуаций по полученной информации.*

Второй принцип. Для обеспечения устойчивости измерительных решений в прикладных задачах полисистемных измерений в условиях неопределенности необходима *регуляризация измерительных решений.*

Третий принцип. Необходимо обеспечение *саморазвиваемости функциональных и контентных возможностей измерительных методов, моделей, алгоритмов.*

Четвертый принцип. Необходимо *метрологическое обеспечение моделей, алгоритмов, решений.*

Пятый принцип. *Непрерывное развитие методологической базы на основе вновь получаемой информации.* Информационные технологии полисистемных измерений в условиях неопределенности должны иметь *обратные связи с возможностью коррекции алгоритмов, моделей, решений с целью непрерывного контроля их качества и его улучшения.*

Шестой принцип. *Когнитивность и интерпретируемость решений полисистемных измерений.*

Седьмой принцип. *При реализации полисистемных измерений необходима возможность обработки свертки как числовой, так и качественной, лингвистической информации*

Восьмой принцип. *Итерационность и последовательная взаимосвязанность процессов сбора, интеграции информации, идентификации с целью модернизации моделей объектов измерений, измерительных методик и образцов сравнения, измерительных шкал в соответствии с изменениями свойств полисистемы и внешней среды.*

Девятый принцип. *Условность полученных измерительных решений (в виде моделей, рекомендаций, оценок, выводов, сценариев развития событий) в рамках принятых допущений, ограничений и требований, определяющая границы корректного применения измерительных решений и их устойчивости.*

Основные этапы организации процесса полисистемных измерений в условиях неопределенности:

1. Постановка задачи в нечеткой формулировке, определение цели задачи
2. Идентификация измерительной ситуации и типа задачи
3. Формирования пространства вход-

ной информации

4. Метрологическое обоснование источников информации

5. Формирование моделей объекта измерения или управления на основе решения обратных задач измерения, оценивания и идентификации, а также моделей окружающей среды в нечеткой форме, в форме списка возможных моделей объекта измерения или управления с определением их достоверности

6. Выбор сбалансированных показателей свойств автономных систем согласно разработанных моделей и их свертка в единое пространство

7. Выбор правила вывода, критериев и логики принятия решений.

8. Формирование и метризация пространства решений.

9. Создание конкретных измерительных шкал для свойств объектов полисистемных измерений

10. Решение обратных задач измерения, оценивания, идентификации:

11. Планирование и организация процесса решения основной измерительной задачи с целью обеспечения требуемого качества решений.

12. Реализация процесса решения основной измерительной задачи с получением решений в виде набора альтернатив с определением их возможности, надежности, достоверности, риска, информативности и т.д.

13. Проверка качества измерительных решений.

14. Коррекция всех составляющих процесса определения решений

15. Повторение процесса, начиная с первого этапа для получения уточненного решения измерительной задачи.

Сформулированные принципы были реализованы на основе регуляризирующего байесовского подхода в виде технологий байесовских интеллектуальных измерений и «мягких» измерений [2-7].

Концептуальные модели полисистемных измерений на основе байесов-

ского регуляризирующего подхода.

Концептуальная модель измерений, в том числе и полисистемных, согласно выводам работы [2] может быть представлена гомоморфным преобразованием вида (1).

$$G^{(O)}(t) \rightarrow G^{(M)}(t), \quad (1)$$

где $G^{(O)}(t)$ - система динамического объекта измерений

$G^{(O)}(t) = Q^{(O)}(t) * R^{(O)}(t)$ со свойствами $Q^{(O)}(t)$, отношениями $R^{(O)}(t)$, меняющимися в зависимости от времени t ;

$G^{(M)}(t)$ - система динамической модели

$G^{(M)}(t) = Q^{(M)}(t) * R^{(M)}(t) * L^{(M)}(t)$ со свойствами $Q^{(M)}(t)$, отношениями

$R^{(M)}(t)$ и ограничениями, допущениями, требованиями $L^{(M)}(t)$ постановки задачи, также меняющимися во времени.

Оптимизационное уравнение полисистемных измерений в соответствии с концепцией полисистемы может быть представлено в виде (2):

$$\begin{aligned} & \{h_{kt}^{(Q)} | \{MX\}_{kt}^{(Q)}\} / Y_t^{(O)} * Y_t^{(OE)} * G_t^{(OE)} * G_t^{(C)} = \\ & = \{ \arg \text{extr } C [F_j(\{X_{it}\} / Y_t^{(O)} * Y_t^{(OE)} * G_t^{(OE)} * G_t^{(C)})] \} \quad , \quad (2) \end{aligned}$$

где $\{h_{kt}^{(Q)} | \{MX\}_{kt}^{(Q)}\} / Y_t^{(O)} * Y_t^{(OE)} * G_t^{(OE)}$ - нечеткое решение измерительной задачи в условиях, (определяемых априорной информацией, требованиями, ограничениями и допущениями) функционирования объекта $Y_t^{(O)}$; в условиях влияющих факторов окружающей среды $Y_t^{(OE)}$; в компактах совокупности свойств объекта $G_t^{(OE)}$, среды $G_t^{(OE)}$ и системы взаимосвязей $G_t^{(C)}$ объекта и среды; $\{MX\}_{kt}^{(Q)}$ - комплекс метрологических характеристик решений; C - критерий, задающий логику вывода решения задачи; F - вычислительные функции, преобразующие $\{X_{it}\}$ - совокупность потоков информации, используемой для получения решений; $*$ -

символ байесовской свертки по модифицированной байесовской формуле, предложенной в [2].

Метрологическое сопровождение решений полисистемных измерений основывается на применении комплексов метрологических характеристик

Точность определяется по формуле:

$$\xi_s = \frac{\max_{h_s \in H_k} \rho(h_s, h_{s+1})}{\rho(h_K, h_1)}, \quad (3)$$

где $\rho(h_K, h_1)$ – диапазон шкалы

H_K ,

$\max_{h_s \in H_k} \rho(h_s, h_{s+1})$ – максимальное

расстояние между соседними элементами носителя шкалы;

Надежность.

Надежность

результата характеризует устойчивость решения. Показатель надежности основан на уровнях ошибки первого и второго рода и определяется как :

$$V_s = (1 - \alpha_s)(1 - \beta_s), \quad (4)$$

где α_s – уровень ошибок первого рода (отражающий вероятность отвержения правильного решения на шкале);

β_s – уровень ошибок второго рода (характеризующий вероятность принятия неправильного решения на шкале).

$$R = R^a \cdot \sum_{h_j \in H_r} P(h_j) \quad (5)$$

где R – окончательная достоверность решения на шкале

H_r – множество значимых гипотез на шкале

Риск – величина, показывающая риск принятия данного решения. Вычисляется, как $(1 - R)$,

где R – достоверность.

На базе методов байесовских интеллектуальных и мягких измерений разработана программная среда «Инфоанализ» [8], представляющая

собой платформу для быстрой разработки приложений. На базе данной программной среды были разработаны разнообразные системы измерений, мониторинга, аудита и управления сложными техногенными, социально-экономическими, энергетическими, природоохранными и другими системами. По сути в них были реализованы процессы полисистемных измерений. Ниже приведены экранные формы реализованных примеров полисистемных измерений.

На рисунке 1. иллюстрируется реализация полисистемных измерений социогуманитарного потенциала Московской области. В качестве автономных систем полисистемы регионального социогуманитарного потенциала рассмотрены системы экономики, демографии, духовно-религиозных систем, культурно-исторической базы, научных и учебных учреждений и других. Работа была выполнена для Счетной палаты РФ.

Когнитивная графика в левой части экранной формы иллюстрирует результаты аудит ключевых показателей автономных систем полисистемы социогуманитарного потенциала. Для полисистемных измерений показателей

использовались шкалы с динамическими ограничениями (ШДО), обладающие требуемыми свойствами. ШДО представляют собой специальные шкалы для реализации измерений свойств и степени влияния и связи факторов автономных систем условиях значительной неопределенности и разнотипности информации. Теоретические основы и методики построения таких шкал подробно представлены в работах [2-9]. Вид таких шкал иллюстрируется на рисунках 1- 7 настоящей статьи.

Первоначальная структура измерительного пространства конструируется согласно методологии, предложенной в [9], и предполагает реализацию моделей объекта измерения,

внешней среды и системы связей в виде моделей с динамическими ограничениями на основе РБП и БИИ [2-7].

На рисунке 1 отражена структура абстрактной полисистемы с автономными системами $G^{(Ei)}$, ($i=1, I$. I - число автономных систем внешней среды, с различными направлениями и степенями связи с объектом измерения). Степень проявления связи измеряется на лингвистической или числовой шкале по 11 основным градациям от полного отсутствия связи, от предельно слабой до предельно сильной или функциональной связи. Направление связи указывает на положительное или отрицательное влияние каждой автономной системы на рассматриваемую систему.

Автономные системы внешней среды группируются в 11 групп по силе связи, составляя ближайшее и дальнее внешнее окружение полисистемы.

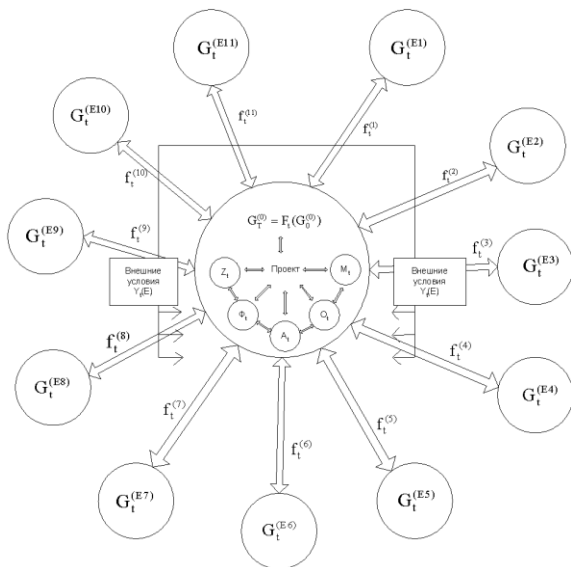


Рис.1. Полисистема в окружении систем внешней среды с различной степенью их взаимосвязи

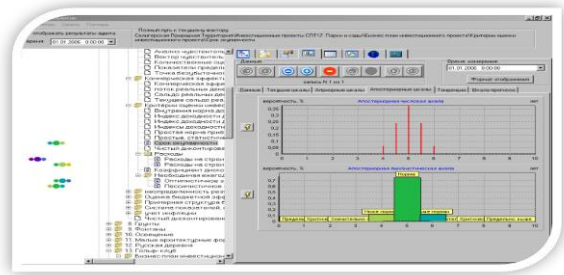


Рисунок 2. Пример ШДО для измерения показателей СГП

Для измерения качественных показателей рекомендуется использовать лингвистические ШДО. Примером может служить шкалы ШДО для измерения значимости решений субъекта и его личной заинтересованности в решении данной задачи (рис.3).

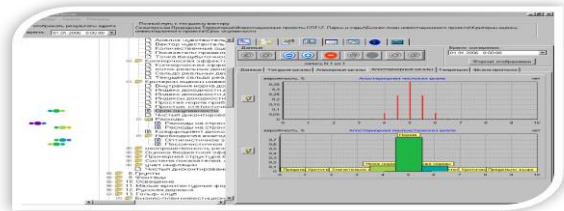


Рисунок 3 - Пример лингвистической оценки общего состояния экономической ситуации (уровень района)

Следующий пример разработан в рамках создания «умных» сетей энергоснабжения и ЖКХ города. Пример реализован в виде системы поддержки принятия управленческих решений по ЖКХ для г.Москвы.

В данной полисистеме в качестве автономных систем определены энергогенерирующие объекты и системы для всех видов энергетических и водных ресурсов, распределительные городские сети, управляющие организации ЖКХ, жилищный фонд, потребители ресурсов и услуг ЖКХ.

Измерительно-аналитическая система отражает полисистему ЖКХ как организованную совокупность всех указанных выше подсистем.

Информационные потоки разнотипной измерительной информации структуриро-

ваны в едином измерительном пространстве по источникам и видам исходных данных и знаний. Они метрологически аттестованы и распределены по специальным измерительным шкалам которые в соей совокупности составляют гиперкуб метрического пространства измерительных решений. Каждый объект этой «умной сети» описан своей моделью, моделью внешней среды и моделями взаимосвязей объекта и среды с учетом характера влияния автономных систем сети на данный объект.

В работах автора приводились примеры измерений состояний энергогенерирующих объектов. Ниже приведены примеры измерения состояния распределительных сетей (для Мосводоканала), а также и измерения показателей жилого фонда Москвы как одного из крупных потребителей услуг ЖКХ. Приведены экранные формы технических измерений на основе технологий БИИ, (в частности . измерение состояния водоснабжающей системы (рисунок 4), и далее примеры измерений показателе электронных паспортов домов города, в которых отражается информация по энергопотреблению и оплате услуг ЖКХ в режиме мониторинга с целью выработки оптимальных управленческих решений.

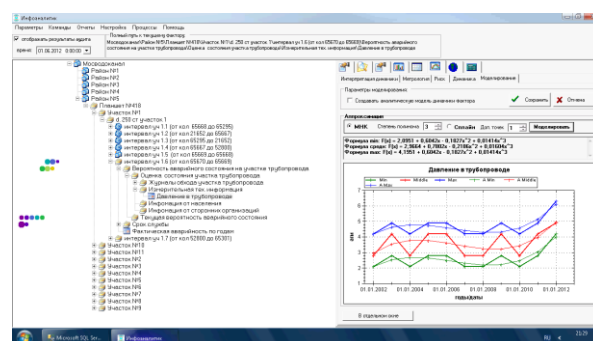


Рис. 4. Измерение состояния водоснабжающей системы на основе БИИ

Помесячный аудит параметров эл.паспорта дома - Октябрь

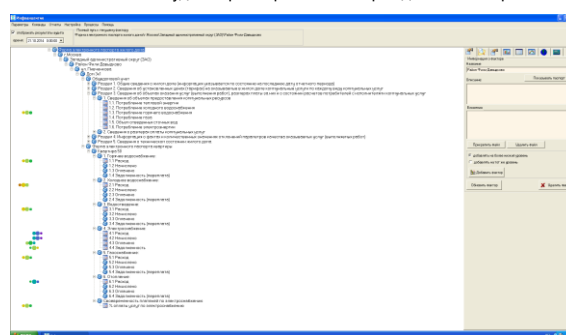
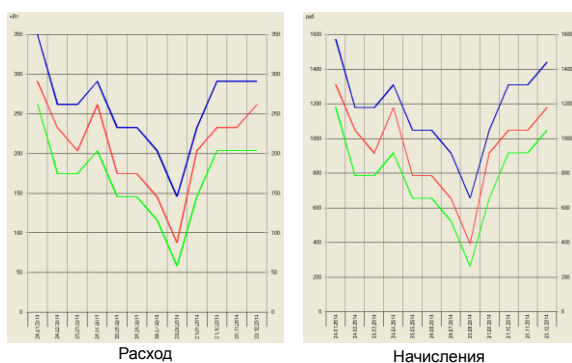


Рис.5. Полисистемные измерения качества услуг ЖКХ жилого дома



Динамика по использованию электроснабжения и начисления оплат (по месяцам) в отдельно взятой квартире за 2014 год

Рис.6. Полисистемные измерения расходов ресурсов и начислений по оплате услуг ЖКХ отдельной квартиры жилого дома

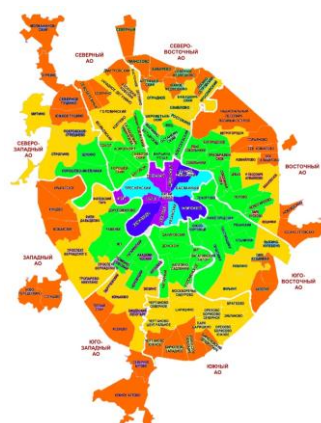


Рис. 7. Когнитивная карта Москвы, отражающая измерительные решения по оплате услуг ЖКХ.

На рисунке 6 представлена Когнитивная карта Москвы, иллюстрирующая. измерительные решения

по оплате услуг ЖКХ. По сути на ней отображены полученные решения полисистемных измерений в интегральном виде. Синий цвет соответствует благоприятной ситуации по оплате (оплата

составляет примерно 100%), коричневый оттенок отражает напряженную ситуацию (оплата около 90%), требующую принятия эффективных решений по управлению ЖКХ этих районов Москвы.

Литература

1. В.Е.Лепский Статья, настоящий сборник

2. Недосекин Д.Д., Прокопчина С.В., Чернявский Е.А. Информационные технологии интеллектуализации измерительных процессов.— СПб.: Энергоатомиздат, 1995. —178 с.

3. Прокопчина С. В. Концепция байесовской интеллектуализации измерений в задачах мониторинга сложных объектов // Новости искусственного интеллекта.—1997.— №3.—С.7-56.

4. Прокопчина С. В. Байесовские интеллектуальные технологии для аудита и управления сложными объектами в условиях значительной неопределённости /Сб.докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. 2002, СПб, изд-во СПб ГЭТУ, 27-36 с.

5. Прокопчина С.В, Аверкин А.Н. Краткий очерк теории мягких измерений. СПб, изд-во Гидрометеиздат, 1998, 76 с

6. Прокопчина С.В. Когнитивные измерения на основе байесовских интеллектуальных технологий./ Сб.докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям.

2010 , СПб, изд-во СПб ГЭТУ, 28-39 с.

7. Прокопчина С.В. Создание развивающихся технологий на основе регуляризирующего байесовского подхода// Сб.докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. 2005, СПб, изд-во СПб ГЭТУ, 48-57 с.

8. Прокопчина С.В. О подходе к измерению социогуманитарных потенциалов с использованием БИТ// Государственный аудит. Право. Экономика № 3, 2013, Изд-во ГОС БУ НИИ Счетной палаты РФ, с.73-82.

9. 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, 64-70 с.

10. Лукьянец А.А., Прокопчина С.В. Поддержка принятия решений в управлении энергоснабжающими организациями на основе регуляризирующего байесовского подхода. Изд-во Томский Некоммерческий Фонд развития региональной энергетики, Томск, 2006, 399 с.