

Методологические аспекты концепции глобальных измерений

Светлана В. Прокопчина

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Москва, Россия

svprokopchina@mail.ru

Аннотация. В статье предлагаются методологическое обоснование и принципы организации глобальных измерений как нового тренда в теории измерений. Показано, что глобальные измерения всегда реализуются в условиях значительной неопределенности моделей и данных. В связи с этим для их организации предлагается регуляризирующий байесовский подход и технологии на его основе, которые ориентированы на условия неопределенности. Показано, что методики и принципы глобальных измерений, как ветви и направления байесовских интеллектуальных измерений (БИИ), удовлетворяют всем критериям классических многопараметрических измерений: совместности, повторяемости (устойчивости), прослеживаемости измерительных решений. Предложена классификация глобальных измерений. Показано, что глобальные измерения в структурном отношении представляют собой системные измерения. В содержательном отношении их типы соответствуют составляющим глобальной экосистемы и подразделяются на геополитические, макроэкономические, геоэнергетические, геосоциальные, геосоциокультурные, межнациональные, геоприродные и другие типы глобальных измерений. В качестве шкал для измерения свойств глобальных систем и процессов при использовании байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) применяются шкалы с динамическими ограничениями (ШДО). Причем лингвистическая шкала ШДО играет главенствующую роль в получении измерительных решений, так как, несмотря на обилие данных международного масштаба, основные информационные потоки при оценке глобальных событий, процессов и систем носят субъективный характер, так как генерируются субъектами глобальной экосистемы. В качестве реперов возможно использование не только числовых значений измеряемых величин, но и любых, в том числе и виртуальных образов (измерений) и образцов. ШДО имеют многоуровневую структуру сопряженных шкал, которые для иерархической структуры модели сложного объекта (системы, процесса) представляют собой гиперкуб шкал. При повышении размерности гиперкуба его структура стремится к сферической. Число сопряженных шкал в структуре ШДО не ограничено. Для проверки соответствия, нормирования и аудита, кроме оценочных ШДО, применяются критериальные шкалы, которые могут объединяться с лингвистическими оценочными, что позволяет не только оценивать степень проявления свойств, но и определять степени риска превышения норм, а также потенциалы проявления свойств. Это дает формальную основу для организации риск-менеджмента, планирования и управления. Для организации многокритериальной оценки

или аудита свойств или параметров сложного объекта измерений используется структура многоярусных критериальных шкал, которая сопряжена с отдельной оценочной ШДО этого свойства. Для метрологического обоснования применяются комплексы метрологических характеристик БИТ в виде совокупности показателей точности, надежности, достоверности, риска измерительных решений, изменения энтропии и количества информации. Непрерывная цепь метрологического сопровождения и преобразование комплексов метрологических характеристик позволяют оптимизировать информационную технологию измерений с позиции повышения информационной ценности каждого ее этапа. Это обеспечивает ускорение и удешевление процесса измерений. В статье приводятся примеры глобальных измерений на основе байесовских интеллектуальных измерений и технологий в задачах геополитики, макроэкономики, межнациональных систем и связей.

Ключевые слова: глобальные измерения; байесовские интеллектуальные технологии; неопределенность; системный подход

I. ВВЕДЕНИЕ. АКТУАЛЬНОСТЬ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Масштабные природные и социальноэкономические процессы, происходящие на нашей планете и охватывающие значительные территории, приводят к необходимости рассмотрения и изучения их на некотором наднациональном уровне. Оценки и выводы относительно этих процессов определяют важнейшие решения, которые принимаются на их основе и затем реализуются на практике.

Особая важность и планетарная значимость международных оценок, выводов и рекомендаций определяют высокие требования к их достоверности, релевантности и эффективности. Для достижения эффективности решений необходимы достоверные и надежные данные и знания, полученные путем детального изучения, обобщения и аналитической обработки исходной информации. Однако в условиях многочисленных и разнообразных информационных потоков, малых выборок, уникальных данных и недостоверных источников информации при использовании традиционных методов измерений и получении решений достичь высоких показателей качества решений крайне затруднительно. Решения будут сопровождаться значительными неточностью,

недостоверностью, неустойчивостью, что обуславливает высокий риск их применения на практике.

В таких информационных ситуациях необходимы специальные методы и средства, ориентированные на условия информационной неопределенности. Спецификой таких методов являются интеллектуализация их методологии, а также метрологическое сопровождение всех этапов их реализации.

Только непрерывный контроль качества получаемых решений путем использования методов и средств метрологического обеспечения решений может сделать процессы измерений и обработки управляемыми и эффективными для практических приложений. То есть необходимы метрологическое обоснование, инструментальное обеспечение и непрерывное, параллельное с обработкой информации, метрологическое сопровождение информационных технологий глобальных измерений. Об этом часто забывают или даже не знают разработчики технологий больших данных и систем искусственного интеллекта, которые в рамках «цифровизации» повсеместно предлагаются к использованию для решения подобных задач.

Введение метрологического обоснования решений в процесс обработки глобальных данных и знаний, по сути, ведет к использованию измерительного подхода и созданию эффективных методов и средств глобальных измерений.

Таким образом, на основе сказанного определены актуальность и необходимость разработки методологии и информационных технологий глобальных измерений как нового мощного направления измерительной науки.

II. Системный подход глобальных измерений

Системность – неотъемлемое и важнейшее свойство глобальных измерений, так как само понятие глобальности предполагает включение в процесс изучения многочисленных информационных потоков самой разнообразной природы.

Объект измерения глобального уровня, будь то континентальные природные явления, макроэкономические процессы или демографические характеристики, состоит из ряда систем меньшего масштаба и является полисистемным. Каждая такая система этой полисистемной среды является условно автономной, локально-целостной и взаимозависимой, активно взаимодействующей с другими системами.

Как показано в работах [1, 4, 5], такая полисистемная среда, согласно закону эмерджентности, как и каждая из ее систем, обладает уникальными свойствами, не присущими составляющим.

На уровне методологического обеспечения решения задач глобальных измерений четко проявляется их отличие от классических схем решения измерительных задач. Так, в задачах измерения, оценивания, нормирования, аудита полисистемный характер информационного пространства, в котором они решаются, не позволяет их решать по

унифицированным схемам, нормам, показателям и шкалам.

Многокритериальность в этих задачах и технологиях их решения состоит не только в многочисленности критериев, но и в отражении специфики подсистем глобального информационного пространства. Например, этнические нормы деятельности различных национальных сообществ могут резко отличаться друг от друга. Различные нормы общественного порядка и благосостояния, условия решения задач хозяйствования и общественного развития с одной стороны и требование создания единого метрического компакта решений для обеспечения устойчивости, надежности и достоверности результатов – с другой обуславливают необходимость адекватного отражения указанной специфики в информационных технологиях измерений и интеллектуальной обработки информации. Это требование определяет необходимость использования не только системного, но и полисистемного подхода к решению указанных задач.

Все сказанное должно отражаться в концептуальных моделях, шкалах, технологиях.

Генерируемые рекомендации должны не только учитывать развитие потенциалов полисистемной среды, но и предусматривать и предотвращать критические ситуации в отдельных локальных системах полисистемы.

Спецификой глобальных измерений является ярко выраженная их распределенность в географическом и временном пространствах. Данные собираются в локальных системах глобальной полисистемы в условиях, характерных для конкретной локальной системы и измерителя, собирающего эти данные. Под измерителем при этом понимаются измерительное устройство, эксперт, наблюдатель, которые являются источниками информации и могут привносить в процесс измерений или наблюдений свою часть неопределенности, тем самым «зашумляя» данные.

Но, в отличие от технических измерений, результатами глобальных измерений являются не значения измеряемых физических величин, а прежде всего оценки, выводы и рекомендации, полученные на основе данных. Поэтому процесс глобальных измерений имеет продолжение в виде следующих этапов: хранения, передачи данных, их интеграции и интеллектуальной обработки с целью получения требуемых решений.

Таким образом, после получения «сырых» данных они передаются на обработку для получения решений.

В процессе передачи также может быть привнесена дополнительная часть неопределенности, обусловленная неточной, неполной и искаженной передачей информации техническими каналами связи или субъектами. На этом этапе необходимо продолжить цепь метрологического сопровождения с определением комплексов метрологических характеристик качества информации.

Следующий этап интеграции и интеллектуальной обработки данных, по сути, сводится к задаче системного синтеза. На этом этапе синтезируется комплексная модель

полисистемы на основе полученных данных и знаний о ее свойствах и свойствах составляющих ее локальных систем.

Задачами системного синтеза являются получение интегральных оценок параметров, моделей сложных систем, оценок и моделей ситуаций, сценариев развития событий и других комплексных решений. В целом системный синтез, как процесс обработки информации, является обратной задачей восстановления некоторых интегральных характеристик или образов реальных объектов по имеющейся информации. Таким образом, можно определить системный синтез полисистемы как процесс создания образа реального объекта по имеющейся информации.

Поскольку в качестве исходной информации используются как фактические, экспериментальные, так и экспертные данные, для формализации решения задач системного синтеза полисистемы глобальных измерений в условиях неопределенности предлагается следующая концепция.

Специфическим свойством в процессе получения решений задачи системного синтеза в условиях неопределенности является привлечение дополнительных знаний, косвенной информации, неформализованных знаний субъектов, например экспертов, модельеров, лиц, принимающих решения. Учет этого свойства в методах решения задач системного синтеза придает им когнитивный характер.

На основании этого тезиса обобщенную динамическую модель реальной глобальной полисистемы $G^{(o)}_t$ в задачах глобальных измерений можно записать в виде композиции локальных систем:

$$G^{(o)}_t = *_{i=1..I} (G^{(mo)}_{it} * G^{(so)}_{it}), \quad (1)$$

где $G^{(mo)}_{it}$ – модель реальной i -й системы, полученная по имеющейся и поступающей информации (непосредственной и косвенной);

символ $*$ обозначает свертку пространств (компактов) моделей, в которых они определены;

$G^{(so)}_{it}$ – дополняющая модель реальной i -й системы, полученная на основании субъективной информации.

Концептуальная модель внешней среды $G^{(E)}_t$ может быть представлена в виде совокупности двух моделей: совокупности моделей локальных систем внешней среды $G^{(mE)}_{jt}$ построенных на основании достоверной информации, т.е. на основании фактических данных и подтвержденных знаний, и локальных моделей внешней среды $G^{(sE)}_{jt}$ созданных на основе имеющихся знаний и экспертных оценок:

$$G^{(E)}_t = *_{j=1..J} (G^{(mE)}_{jt} * G^{(sE)}_{jt}), \quad (2)$$

Комплексная модель глобальной полисистемы как объекта изучения, измерения и моделирования с учетом выражений (1), (2) может быть выражена следующим образом:

$$G^{(o)}_t = (*_{i=1..I} (G^{(mo)}_{it} * G^{(so)}_{it})) *$$

$$* (*_{j=1..J} (G^{(mE)}_{jt} * G^{(sE)}_{jt})), \quad (3)$$

Однако, несмотря на неограниченно широкий в потенциале охват факторов полисистемы и внешней среды, в конкретный момент их число всегда конечно. Это обусловлено неполнотой знаний и данных (A_t), ограничениями по ресурсам и времени создания модели (O_t), критериями и требованиями (M_t). Поэтому модель вида (3) носит условный характер и с учетом сказанного принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} G^{(o)}_t = & (*_{i=1..I} (G^{(mo)}_{it} * G^{(so)}_{it})) \\ & * (*_{j=1..J} (G^{(mE)}_{jt} * G^{(sE)}_{jt})) / \\ & (*_{i=1..I} (A^{(mo)}_{it} * A^{(so)}_{it})) * \\ & (*_{j=1..J} (A^{(mE)}_{jt} * A^{(sE)}_{jt})) \\ & * (*_{i=1..I} (O^{(mo)}_{it} * O^{(so)}_{it})) * \\ & (*_{j=1..J} (O^{(mE)}_{jt} * O^{(sE)}_{jt})) * \\ & (*_{i=1..I} (M^{(mo)}_{it} * M^{(so)}_{it})) * \\ & (*_{j=1..J} (M^{(mE)}_{jt} * M^{(sE)}_{jt})), \end{aligned} \quad (4)$$

Процесс формирования модели может быть представлен в виде последовательности этапов сбора и обработки информации, получаемых из сети источников информации. Такая сеть может быть представлена в виде сети источников информации, в число которых входят источники информации, а также технических устройств и субъектов – носителей информации. В алгоритмическом плане это две активно взаимодействующие между собой сети, которые должны быть развиваемыми в процессе функционирования алгоритма решения задачи системного синтеза.

III. ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРИЗИРУЮЩЕГО БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА

В данном разделе предлагаются методологическое обоснование и принципы организации глобальных измерений как нового тренда в теории измерений.

Поскольку глобальные измерения реализуются в условиях значительной информационной неопределенности, в связи с этим для их организации предлагается регуляризирующий байесовский подход и технологии на его основе, которые ориентированы на условия неопределенности [1, 3–6].

Можно показать, что методики и принципы глобальных измерений, как ветви направления байесовских интеллектуальных измерений, удовлетворяют всем критериям классических и многопараметрических измерений: совместности, повторяемости (устойчивости), прослеживаемости измерительных решений.

Эти свойства достигаются посредством использования специальных шкал, которые создаются для каждого измеряемого свойства локальных систем и глобальной полисистемы и обеспечивают регуляризацию пространства измерительных решений в условиях неопределенности для достижения устойчивости решений.

Прослеживаемость решений достигается за счет построения иерархической структуры модели (3).

В качестве шкал для измерения свойств глобальных систем и процессов при использовании байесовских интеллектуальных технологий применяются шкалы с динамическими ограничениями. Методологическое обоснование и примеры использования таких шкал приводятся в работах [1, 3–6].

В структурном отношении ШДО представляют собой сопряженные двумерные шкалы для отображения числовой и лингвистической информации. По оси абсцисс отображаются значения реперов шкал, по оси ординат – вероятность или возможность этих значений.

Хотя в качестве информации для глобальных измерений используются и числовые, и лингвистические информационные потоки, лингвистическая ШДО играет главенствующую роль в получении решений глобальных измерений, так как, несмотря на обилие данных международного масштаба, основные информационные потоки при оценке глобальных событий, процессов и систем носят субъективный характер, потому что генерируются субъектами глобальной экосистемы.

В качестве реперов возможно использование не только числовых значений измеряемых величин, но и любых, в том числе и виртуальных (виртуальные измерения) образов и образцов. ШДО имеют многоуровневую структуру сопряженных шкал, которые для иерархической структуры модели сложного объекта (системы, процесса) представляют собой гиперкуб шкал. При повышении размерности гиперкуба его структура стремится к сферической. Число сопряженных шкал в структуре ШДО не ограничено.

Для проверки соответствия, нормирования и аудита кроме оценочных ШДО применяются критериальные шкалы, которые могут объединяться с лингвистическими оценочными, что позволяет не только оценивать степень проявления свойств, но и определять степени риска превышения норм, а также потенциалы проявления свойств. Это дает формальную основу для организации риск-менеджмента, планирования и управления.

Для метрологического обоснования решений применяются комплексы метрологических характеристик БИТ в виде совокупности показателей точности, надежности, достоверности, риска измерительных решений, изменения энтропии и количества информации. Непрерывная цепь метрологического сопровождения и преобразование комплексов метрологических характеристик позволяют оптимизировать информационную технологию измерений с позиции повышения информационной ценности каждого ее этапа. Это обеспечивает ускорение и удешевление процесса измерений.

IV. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В работах [1–3] приведены примеры глобальных измерений на основе БИИ и БИТ в задачах геополитики, макроэкономики, межнациональных систем и связей.

Один из примеров модели глобальных измерений приведен далее для измерения характеристик глобальной полисистемы экономической среды:

$$G^{(ef)} = G^{(ef1)} * G^{(ef2)} * G^{(ef3)} * G^{(ef4)} * G^{(ef5)} * G^{(ef6)} * G^{(ef7)} * G^{(ef8)} * G^{(ef9)} * G^{(ef10)} * G^{(ef11)} * G^{(ef12)} * G^{(ef13)}, \quad (5)$$

где $G^{(ef1)}$ – темпы роста экономики страны; $G^{(ef2)}$ – темпы роста отдельных отраслей; $G^{(ef3)}$ – динамика развития рынка и его насыщенность; $G^{(ef4)}$ – уровень инфляции и безработицы; $G^{(ef5)}$ – процентные ставки за кредит; $G^{(ef6)}$ – инвестиционная и налоговая политика; $G^{(ef7)}$ – политика в области заработной платы и цен; $G^{(ef8)}$ – налоговая база; $G^{(ef9)}$ – экономическая ситуация в регионах; $G^{(ef10)}$ – внешнеторговые барьеры; $G^{(ef11)}$ – таможенная политика; $G^{(ef12)}$ – состояние банковской сферы; $G^{(ef13)}$ – политико-правовые факторы.

$$G^{(ef13)} = G^{(f1)} * G^{(f2)} * G^{(f3)} * G^{(f4)} * G^{(f5)} * G^{(f6)} * G^{(f7)}, \quad (6)$$

где $G^{(f1)}$ – политическая ситуация в стране и нестабильность; $G^{(f2)}$ – лояльность властей; $G^{(f3)}$ – протекционизм в отраслях; $G^{(f4)}$ – наличие административных барьеров; $G^{(f5)}$ – системы охраны собственности; $G^{(f6)}$ – политические международные связи; $G^{(f7)}$ – социокультурные факторы.

$$G^{(f7)} = G^{(f8)} * G^{(f9)} * G^{(f10)} * G^{(f11)}, \quad (7)$$

где $G^{(f8)}$ – культурная среда и моральные ценности, религия; $G^{(f9)}$ – демографическая ситуация; $G^{(f10)}$ – система образования; $G^{(f11)}$ – научно-технические факторы.

$$G^{(f11)} = G^{(f12)} * G^{(f13)} * G^{(f14)} * G^{(f15)} * G^{(f16)}, \quad (8)$$

где $G^{(f12)}$ – состояние производственных отраслей; $G^{(f13)}$ – действующие приоритеты в научном и технологическом развитии; $G^{(f14)}$ – новые технологии; $G^{(f15)}$ – новые стандарты оборудования; $G^{(f16)}$ – природные факторы.

$$G^{(f16)} = G^{(f17)} * G^{(f18)} * G^{(f19)}, \quad (9)$$

где $G^{(f17)}$ – экология; $G^{(f18)}$ – глобальные природные катастрофы; $G^{(f19)}$ – географическое положение страны.

Очевидно, что с учетом всех предложенных моделей комплексная концептуальная системная модель может быть детализирована до показателей на основе уравнений (6)–(9).

Основываясь на БИИ, определяется состояние глобальной социоэколого-экономической системы через свертку оценок отдельных факторов:

$$h^{(sees)} = h^{(f20)} * h^{(f21)} * h^{(f22)} * h^{(f23)} * h^{(f24)} * h^{(f25)} * h^{(f26)} * h^{(f27)} * h^{(f28)} * h^{(f29)}, \quad (10)$$

где $h^{(sees)}$ – состояние глобальной социоэколого-экономической системы, зависящая от следующих факторов: $h^{(f20)}$ – оценка исходного состояния отдельных территорий; $h^{(f21)}$ – профессиональная структура населения; $h^{(f22)}$ – кооперация и интеграция деятельности населения; $h^{(f23)}$ – перспективное социоэкологическое, экономическое и духовное состояние; $h^{(f24)}$ – комплексное

использование природных ресурсов; $h^{(f25)}$ – показатели состояния окружающей природной среды; $h^{(f26)}$ – развитие органов местного самоуправления; $h^{(f27)}$ – показатели промышленного и сельскохозяйственного производства; $h^{(f28)}$ – показатели по другим видам промышленности; $h^{(f29)}$ – прочие показатели.

Характер изменения показателей позволяет оценить степень достижения целей, поставленных в программах перехода к устойчивому развитию.

Модель территорий можно определить на основе регуляризирующего байесовского подхода как свертку БИТ-моделей отдельных функций в виде:

$$S^{(t)} = S^{(t1)} * S^{(t2)} * S^{(t3)} * S^{(t4)} * S^{(t5)} * S^{(t6)} * S^{(t7)} * S^{(t8)}, \quad (11)$$

где $S^{(t1)}$ – народно-хозяйственные функции сельских территорий; $S^{(t2)}$ – производственная функция; $S^{(t3)}$ – культурная и этническая функция; $S^{(t4)}$ – экологическая функция; $S^{(t5)}$ – рекреационная функция; $S^{(t6)}$ – пространственно-коммуникационная функция; $S^{(t7)}$ – политическая функция; $S^{(t8)}$ – функция социального контроля над территорией;

Определение свойств территории по модели (11) проводится по имеющимся данным X и всем расчетным методикам в виде РБО в оптимизированной форме по обобщенному уравнению БИИ:

$$\left\{ h^{(c, \tau)} \left| \left\{ MX^{(c, \tau)} \right\} \right\} \right\} = \arg \min C \left[\Phi_{c, \tau} \left(x_{c, \tau} | y_{c, \tau} \right) \right]. \quad (12)$$

Согласно принципам оценки показателей, свойств и характеристик сложных объектов в условиях

неопределенности информации на основе байесовских интеллектуальных технологий, для каждого компонента формулы (12) следует построить измерительную шкалу с динамическими ограничениями. Для измерения сложных показателей такая шкала может быть представлена в виде иерархической шкалы, составленной из взаимосвязанных ШДО параметров, определяющих собственно свойства показателя, и ШДО параметров, влияющих на показатель внешних факторов.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена концепция построения методов глобальных измерений в условиях информационной неопределенности на основе системного, измерительного и регуляризирующего байесовского подходов. Приведены уравнения моделей глобальных измерений. Даны примеры моделирования глобальных макроэкономических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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.
- [2] Прокопчина С.В. Системные измерения и моделирование экономических систем в условиях неопределенности на основе регуляризирующего байесовского подхода (РБП) // Экономика и управление: проблемы, решения. 2014. № 7.
- [3] Прокопчина С.В., Щербаков Г.А., Ефимов Ю.В. Моделирование социально-экономических систем в условиях неопределенности. М.: Научная библиотека, 2019. 495 с.