

БАЙЕСОВСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ «МЯГКОГО» УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ПОЛИСИСТЕМНОГО УПРАВЛЕНИЯ

С. В. ПРОКОПЧИНА

Финансовый университет при Правительстве РФ

Abstract. The article is devoted to the concept of control and the management of the complex system (poly-systems) under condition of active interaction with environment and a priory uncertainty.

Согласно современным теоретическим работам философии настоящее время характеризуется новым концептуальным представлением принципов управления сложными динамическими системами. «Под управлением понимается не жесткая детерминированная схема, а «мягкие формы управления». Фактически доминирующими видами управления становятся разнообразными видами управления через среду» на основе принципов полисубъектного управления по типу «субъект-полисубъектная среда» [1, 2].

Исходные положения и рефлексивные модели полисубъектного управления были впервые сформулированы В.А. Лефевром [2]. В настоящее время на этих принципах активно развивается концепция постнеклассической рациональности и управления на основе кибернетики третьего порядка «человекоразмерными саморазвивающимися средами».

Следует заметить, что в определении полисубъектных сред основное внимание уделяется субъекту как активному управляемому компоненту процесса управления. Однако широкий круг важнейших задач экономики имеет в качестве компонентов процесса управления как активные субъекты, так и пассивные объекты, в своей совокупности представляющие собой управляемые системы. То же относится и к управляющим компонентам процесса управления. Поэтому целесообразно ввести понятие «полисистемного управления», которое соответствует концепции

управления «управляющая среда – полисистемная управляемая среда».

Определение понятия «мягкого управления» и формальные модели на основе схем саморазвития были даны в работах автора [3–7]. На основании этих формальных моделей были разработаны информационные технологии и алгоритмы «мягкого управления» сложными динамическими системами техногенного и социально-экономического типов

В данной работе вводится понятие и предлагается концепция полисистемного мягкого управления сложными системами в условиях их активного взаимодействия с окружающей средой и значительной информационной неопределенности на основе регулизирующего байесовского подхода.

Основные отличия концепции и моделей управляемых и управляющих систем полисистемного управления от вышеуказанных состоит в том, что, во-первых, в качестве управляемых и управляющих систем могут быть любые существующие системы (техногенные, природные, социально-экономические), а не только социальные сети как совокупность субъектов; во-вторых, для таких систем формируется понятие и комплексная модель окружающей системы среды, которая интегрируется с моделью управляемых систем; в-третьих, все модели динамичны и развиваются в соответствии со складывающимися в системах ситуациями и могут изменять тип и степень взаимовлияния в процессе управления в зависимости от складывающихся ситуаций.

Процессы оценки состояния и управления распределенными техногенными системами, например, топливно-энергетическими комплексами, транспортными магистралями или территориями являются типичными примерами контроля и управления сложными динамическими системами с меняющимися во времени и в пространстве свойствами. При активном взаимодействии таких объектов с окружающей средой в условиях значительной неопределенности информации, ситуаций, меняющихся ограничений (например, по нормативно-методической или правовой баз), критериев и требований возникает задача реконфигурации моделей, структуры и функций систем мониторинга, аудирования, управления объектами в режиме функционирования самих объектов. При эксплуатации указанных информационных систем это обеспечивает постоянное поддержание адекватности используемых в них моделей объектам с целью обеспечения эффективности получаемых управленческих решений при меняющихся свойствах и характеристиках, как самих управляемых систем, так и бизнес-ландшафта или природно-хозяйственной среды.

Отличие от концепции управляемой системы в классической схеме управления «управляемый объект-управляющая объект» состоит в сложности взаимодействия и взаимовлияния систем как входящих в полисистему управляемую, так и в саму полисистему управления. Так, в предлагаемой концепции полисистемного управления вполне допустимы конфликтные ситуации как между системами управляющей и управляемой полисистем, так и в самих этих системах, приводящие к торможению и усложнению управления.

Управленческая практика выдвигает новые задачи полисистемного управления. Так, в процессе управления предприятиями по неполной и неточной информации, собираемой системой мониторинга, необходимо одновременно оценить и скорректировать в заданном направлении техническое состояние управляемых систем, эко-

логичность производства и его влияние на окружающую среду, производственную политику, кадровую, финансовую и рыночную ситуации и другие процессы деятельности предприятия и окружающей среды. Очевидно, что для выработки эффективной стратегии управления таким объектом необходимо иметь средства для реконфигурации модели объекта с достаточной степенью достоверности и контролируемостью риска принятия решений в темпе поступления новой информации об объекте и среде.

Учитывая вышеперечисленные требования и ориентируясь на свойства интеграции, метрологичности и саморазвития методологической основы регулирующего байесовского подхода (РБП) и информационных технологий на его основе (байесовских интеллектуальных технологий – БИТ) представляется целесообразным использовать их для создания развивающихся систем мониторинга, аудита и управления по схеме «мягкого управления» полисистемными средами.

Очевидно, все эти задачи могут быть разделены на три основные группы:

- измерение, оценивание свойств и характеристик управляющей системы и управляемой полисубъектной среды, а также моделирование их эволюции, восстановление ретроспективы развития и прогнозирование состояний и ситуаций;
- многокритериальный контроль (аудирование) и нормирование состояния систем или их характеристик; к этому этапу относятся все задачи различных аудитов (качества продукции и производства, экологичности производств, персонала, энергетических показателей и др.);
- генерация оптимальных управленческих решений и управляющих рекомендаций и реализация их на практике с последующим контролем и планированием.

В данном докладе рассмотрены возможности создания таких саморазвиваю-

щихся систем на основе моделей и шкал с динамическими ограничениями (ШДО)

Системы на основе РБП имеют поля решений, деревьев факторов и их свойств в виде динамических компактов ШДО для управляемой среды S_t^O , окружающей среды S_t^E , или управляющей полисистемы, взаимодействующей со средой S_t^{OE} . При оценивании свойств или ситуаций на основе методологии БИТ концептуальная запись ШДО имеет вид:

$$S_t^{OE} = S_t^O \overset{z}{*} S_t^E \overset{z}{*} S_t^{OL} \overset{z}{*} S_t^{OK} \overset{z}{*} S_t^{OU} \quad (1)$$

где S_t^{OL} – ШДО ограничений в пространстве и во времени; $t = \overline{1, T}$ – временной интервал, определяющий динамику ШДО; S_t^{OK} – ШДО критериальной базы; S_t^{OU} – ШДО требования (в том числе метрологические требования) и условия постановки задачи; $*$ – символ свертки с логикой z (при $z=1$ и параметрическом семействе логик свертка соответствует свертке с вероятностной логикой).

Для синтеза ШДО разработана методологическая база и информационная метатехнология, которые позволяют достаточно просто осуществлять переход к новому пространству существования решений, оценок или моделей. Для интеграции такого пространства в существующие рабочие поля и обеспечения квазиустойчивости решений в условиях неопределенности новой информации производится метризация пространства на основе ШДО. В этой методологии могут меняться требования, ограничения, условия решения задачи, критериальная база, логика вывода и принятия решений, априорная информация, информационно-технологическая и техническая базы. Поэтому выражение (1) по сути представляет краткую формализованную запись концепции реконфигурации моделей сложного объекта и среды для условий неопределенности.

В силу возможности управления не только данными, но и знаниями [3–5] в си-

стемах на основе РБП, а также открытости их для включения в информационные базы новых данных моделей, алгоритмов и рекомендаций на основе шкал с динамическими ограничениями теоретических и практических знаний обеспечиваются требования реконфигурации моделей (1). Каждое пополнение такого рода сопровождается в системе процессом метрологического обоснования вновь принятой информации. Для отражения параметрической, функциональной или системной информации строится иерархическая структура гипер-ШДО HS в виде композиции параметрических S_t^{OP} , функциональных S_t^{OF} и системных (ситуационных) S_t^{OS} ШДО:

$$HS_t^O = S_t^{OP} \overset{z}{*} S_t^{OF} \overset{z}{*} S_t^{OS} \quad (2)$$

Концептуальная запись, для синтеза всех типов ШДО основным принципиально важным аспектом метрологического обоснования является метрология знаний, в том числе и знаний, представленных в виде аналитических зависимостей, алгоритмов, лингвистических выводов, описания ситуаций и сценариев их развития, что реализуется на базе ШДО. Применение ШДО позволяет контролировать качество и метрологические характеристики (МХ) (точность, надежность, достоверность), энтропию и риск получаемых решений, а также синтезировать технологию с требуемым качеством.

Разработаны ШДО для оценки числовых S_t^N и лингвистических S_t^{Lg} переменных, динамических переменных $S_t^S (t = \overline{1, T})$ и многомерных процессов $HS_t^S (t = \overline{1, T})$ ситуаций $S_t^S (t = t_i)$, сценариев развития ситуаций $S_t^S (t = \overline{1, T})$, рекомендаций $S_t^D (t = f.)$, стратегий управления $HS_t^D (t = \overline{1, T})$ ШДО взаимосвязи объектов и ситуаций S_t^{SS} . Последний тип шкал позволяет создавать гипершкалы для интегральных характеристик (индексов, индикаторов), восстанавливать их или прогнозировать.

Для проведения аудита состояний или ситуаций дополнительно к перечисленным формируются эталонные шкалы указанных типов S_i^C или гипершкалы HS.

Эталонная ШДО для аудита S_i^C представляет собой регуляризованную информацию о нормах, стандартах и степенях соответствия установленным пределам показателей характеристик объекта. В частности, проведение проверки на соответствие стандартам ISO 9000 или ISO 1400 реализовано на методологической и информационно-технологической базе байесовских интеллектуальных технологий средствами ШДО. Это необходимое каждому предприятию программное средство для проведения самоаудита, обеспечивают значительную экономию финансовых и временных затрат. Концептуальное уравнение такого **интеллектуального аудита**, определяемого в данной работе как аудита, основанного на производстве, использовании знаний и управлении знаниями в условиях неопределенности (при использовании БИТ – **байесовского интеллектуального аудита**) может быть записано в оптимизационной форме следующего вида:

$$\{h_i^c | \{MX\}_i^c\} = \left\{ \arg \text{extrC } S_i^{OE} \overset{z}{*} S_i^{CL} \overset{z}{*} S_i^{CU} \overset{z}{*} S_i^{CK} | (X_i; X_i^A; \Phi_i^A; \Phi_i; \Phi_i^{CA}; \Phi_i^C) \right\} \quad (3)$$

где $X_i; X_i^A$ – массивы текущей и априорной информации; $\Phi_i^A; \Phi_i$ – информационная технологическая база в текущий и предыдущий моменты времени; $\Phi_i^{CA}; \Phi_i^C$ – расчетно-методическая основа аудита, представленная в виде набора информационных технологий контролирующих (аудиторских) методик, которые интегрируются средствами байесовских интегрирующих технологий; S_i^{CL} – ШДО ограничений при проведении аудита; S_i^{CU} ШДО условий аудита; S_i^{CK} – ШДО критериальной базы аудита; C – байесовское решающее правило с гибкой логикой.

Если применяется отличная от вероятностной логика байесовского правила, то такое правило называется **мягким байесовским правилом (Soft Bayesian Rule)**. Аудит, основанный на применении ШДО с мягким байесовским правилом можно определить как «**мягкий**» (**soft audit**) **аудит**.

При использовании таких технологий в процессе аудита наглядно выявляются факторы тормозящие и усиливающие эффективность управления, определяются системы противодействующие управлению и содействующие ему а также определяются причины этих ситуаций. Это дает мощную основу для генерации рекомендаций для бесконфликтного и эффективного управления в сложных условиях динамичности и неопределенности.

Для этого в технологиях БИТ предусмотрена параллельная ветвь метрологического синтеза ШДО. Свойство инертности экосистем в определенных пределах внешних воздействий и шкалирование ситуаций по РБП позволяют перейти от жесткого управления по оценкам отдельных контролируемых параметров этих экосистем к более глубокому комплексному управлению на основе оценки ситуаций. **Интеллектуальное («мягкое» при гибкой логике) ситуационное или стратегическое управление** на основе методологии РБП и БИТ дает возможность предусмотреть влияние результатов предпринимаемого регулирования на все компоненты объекта и экосистемы и предупредить появление кризисных или чрезвычайных ситуаций, а при необходимости своевременно скорректировать стратегию управления, что является основой обеспечения устойчивого функционирования или развития объекта. Однако для обеспечения устойчивости управления в условиях неопределенности (неточности, неполноты и нечеткости) информации необходимо достоверно оценить ситуацию.

Предлагаемый в данном проекте регуляризирующий байесовский подход (РБП) и методология байесовских интеллекту-

альных технологий (БИТ) дают уникальную возможность обеспечить получение таких оценок и требуемого качества их определения. На основе этого подхода производится квантификация пространства ситуаций, рекомендаций или управляющих воздействий, что позволяет сформировать их репрезентативное множество в виде многомерных и интегральных шкал ситуаций, реперами которых являются градации признаков или типовых классов ситуаций, отстоящие друг от друга на заданное расстояние.

Процесс принятия решений может быть реализован как процесс преобразования таких взаимосвязанных шкал на основе получения объективных и достоверных: знаний о контролируемом объекте и окружающей его среде, знаний об их текущем состоянии, динамики развития ситуаций, тенденциях в эволюции объекта и среды. Процесс получения таких знаний и управление на его основе, очевидно, можно назвать **интеллектуальным управлением на основе БРП /БИИ/БИТ**. Если логика такого управления реализуется на основе мягкого байесовского правила со сменной логикой получения решений, то такое управление можно определить как **«мягкое» управление**.

Данные технологии реализованы в программной среде «Инфоаналитик», которая является платформой многочисленных разработанных систем мониторинга, аудита и поддержки принятия управленческих решений [6, 7]. На основе этих техно-

логий разработаны системы аудита и принятия решений для управления энергогенерирующими комплексами, ресурсоснабжающими сетями, транспортными сетями, системами ЖКХ, природоохранной деятельностью, распределенными производствами, территориальным и социогуманитарным развитием и другие задачи полисистемного управления.

Литература

1. Лепский В.Е. Эволюция представлений об управлении в контексте развития научной рациональности / В сб. «Рефлексивные процессы и управление». Под ред. В.Е. Лепского. М.: «Когнитивный Центр». 2013, стр. 43–55.
2. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. М. «Высшая школа», 1968.
3. Прокопчина С.В. Байесовские интеллектуальные технологии для аудита и управления сложными объектами в условиях значительной неопределенности // 9 Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2005: сб. докл. 2005.
4. Прокопчина С.В. Когнитивные измерения // 10 Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2006: сб. докл. 2006.
5. Прокопчина С.В. Развивающиеся информационные технологии // 11 Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2007: сб. докл. 2007.
6. Прокопчина С.В. Информационные технологии на принципах мягкого управления // В сб. Труды вольного экономического общества. 2010. №144.
7. Прокопчина С.В. Решение социально-экономических задач и задач территориального планирования на основе БИТ // В сб. Труды вольного экономического общества. № 144. М.Б 2010.