

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

В.Г. Котельников, С.В. Прокопчина, А.В. Толстов

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Аннотация. Значимость внутреннего аудита для целей управления в настоящее время начинает возрастать вследствие выделения в системе корпоративного управления риск-менеджмента, что приводит к переориентации внутреннего аудита на риск-ориентированный подход. Актуальность выбранной темы, с одной стороны, обусловлена наличием дискуссионных вопросов в теории и методологии, а с другой — недостаточной проработанностью методики и техники осуществления внутреннего аудита на базе риск-ориентированного подхода.

В статье предложена авторская методика ранжирования уровня внимания руководства организаций и внутренних аудиторов по ключевым показателям эффективности в зависимости от существенности влияния и риска изменения факторов. Методика включает в себя следующие этапы: определение миссии и общей стратегии развития предприятия, системы внутреннего аудита; определение KPI; определение факторов, которые влияют на ключевые показатели; выделение центров финансовой ответственности; переход от абсолютных значений факторов к относительным; определение математического ожидания относительных значений каждого фактора; расчет интегрального показателя риска для каждого KPI; оценка риска для каждого фактора по каждому значимому KPI; определение существенности для каждого фактора по каждому значимому KPI; построение матрицы соотношения существенности и риска для каждого KPI; распределение уровня внимания внутреннего аудитора по квадрантам матрицы; разработка сценариев действий внутреннего аудитора для каждого квадранта матрицы соотношения существенности и риска. Особенности каждого этапа раскрыты в статье.

Предложенные новации позволят руководителю службы внутреннего аудита выделить наиболее существенные факторы, которые влияют на ключевые показатели эффективности деятельности компании, и на стадии планирования минимизировать трудозатраты внутренних аудиторов на проведение проверок.

Ключевые слова: внутренний аудит; риск; ключевые показатели эффективности; KPI; матрица рисков; риск-ориентированный внутренний аудит; интегральный показатель риска; управление рисками; риск-менеджмент.

I. Введение. Постановка задачи

Накопление информации в современном обществе привело к созданию многочисленного ряда компьютерных систем сбора, передачи, обработки, хранения и интерпретации информации. При этом самыми распространенными типами таких систем являются разнообразные базы данных. Многомерные разнотипные массивы данных сами по себе, даже хранимые в электронном виде, мало удобны для лиц принимающих решения (ЛПР) в сложных условиях практической деятельности. Возможная неопределенность информации о внешней и внутренней среде организации, разная степень ее достоверности, точности и надежности, многокритериальность выбора альтернатив затрудняют процессы анализа состояний, вносят элементы риска и ухудшают качество принимаемых управленческих решений.

При принятии оценочных, аудиторских и управленческих решений необхо-

дим инструментарий, позволяющий на основании сформированного запроса в приемлемый интервал времени определить максимально полные, объективные и достоверные решения. Таким образом, требуются системы поддержки принятия решений (СППР), способные к оптимизации выбора решений в многокритериальной среде. Информация, хранящаяся в электронном виде, как правило, имеющая статистический, картографический или экспериментальный (измерительный и/или экспертный) вид, характеризуется неточностью, нечеткостью и неполнотой, что определяет условия неопределенности и риска выбора неправильного решения. Кроме того, неопределенность создается также и за счет действия субъектов сфер деятельности (например, предприятий, банков, торговых организаций и др.), целенаправленное воздействие которых на ситуацию не может быть заранее определено. Первый тип неопределенности мож-

но считать принципиальным и объективным, второй – принципиальным для сфер активной человеческой деятельности и субъективным. Таким образом, возникает задача принятия решений в многокритериальной среде в условиях риска и неопределенности.

II. Модель принятия управленческих решений

Эффективность решений в информационно-аналитических системах напрямую зависит от математического аппарата, реализованного в них. Рассмотрим схему формирования математической модели при принятии решений. Для этого определим основные компоненты модели принятия решений. Представим объект управления, аудирования или оценивания как сложную динамически развивающуюся систему (СДРС) G_{ot} с набором свойств $\{Q_{oit}\}$ и отношений $\{R_{ojt}\}$, среду функционирования или жизнедеятельности объекта как СДРС G_{et} с набором свойств $\{Q_{eit}\}$ и отношений $\{R_{ejt}\}$, а также управляющую систему или ЛППР как СДРС G_{at} со свойствами $\{Q_{ait}\}$ и отношениями $\{R_{ajt}\}$. Индекс t определяет момент времени для модели СДРС. Индексы i, j в реальности стремятся к бесконечности, а в соответствующих моделях G_{otm}, G_{etm} и G_{atm} они ограничены значениями I_{ot}, I_{et}, I_{at} , которые в каждый момент времени $t=t_k$ определяют степень полноты и адекватности моделей. Под объектом оценивания, аудирования или управления можно понимать природные (абиотические и биотические) и антропогенные (техногенные, социально-экономические объекты и процессы), под средой функционирования, обитания или жизнедеятельности природную или техногенную (производственную, социальную, ландшафтную и др. среды), под системой управления (или управляющей, управленческой системой) – техническую, социально-политическую, природную среды или лиц принимающих решения.

Управляющая система (УС) всегда активна, действует целенаправленно в целях перевода объекта управления (ОУ) в требуемое

состояние. В качестве инструмента воздействия УС имеет в своем архиве или генерирует распоряжения, рекомендации, выводы, стратегии и тактики управления. Модель управляющей системы, реализуемая средствами информационных технологий, не может быть полностью адекватна реальной УС, так как она постоянно активно развивается вместе с ее приоритетами и предпочтениями в каждой конкретной ситуации. Кроме того, в общем случае среда может существенно влиять на изменение состояния УС, также, как и активный ОУ. Причем это влияние может быть случайным, неорганизованным, или целенаправленным в соответствии с интересами среды и ОУ.

Среда жизнедеятельности или функционирования объекта может быть активной или пассивной в зависимости от типа задачи, но всегда остается динамичной и недоопределенной в своем модельном представлении и, следовательно, не может иметь устойчивого модельного представления на детализированном уровне, необходимом для предварительной формализации процессов и факторов влияния среды на ОУ и УС.

Объект управления, как уже упоминалось, является в общем случае СДРС и может быть активным или пассивным по отношению в среде и УС. Таким образом, в сложных задачах, в отличие от предположения, выдвинутого в [1], адекватную детализированную математическую модель ОУ определить нельзя.

Однако для практических задач можно установить уровень детализации, который позволит создать в рамках конкретных ограничений, требований и набора критериев **квазиадекватные математические модели** ОУ, среды, УС, устойчивые в пределах перечисленных составляющих процесса принятия решений. При этом необходимо определить метрологические характеристики моделей и решений, устанавливающие степень адекватности, полноты и достоверности моделей.

В условиях вышеуказанной неопределенности методологической основой для

создания моделей СДРС может служить **регуляризирующий байесовский подход (РБП)**. Его преимущества состоят в его способности обеспечивать получение устойчивых оценок и моделей в условиях малых выборок, разнотипной информации, значительной неточности данных и нечеткости знаний об УС, ОУ и среде. Как правило, в задачах математического моделирования сложных систем априорных знаний недостаточно, поэтому привлекают имеющиеся экспериментальные сведения и данные. В математической постановке задачи моделирования ОУ, УС и среды, как и всего процесса принятия решений, следует рассматривать как некорректные обратные задачи восстановления модельной зависимости по экспериментальным данным, требующие применения регуляризирующих схем для обеспечения сходимости и устойчивости их решений. Регуляризирующие свойства РБП обеспечиваются введением математического аппарата создания, преобразования и передачи шкал с динамическими ограничениями (ШДО) [2], на которых происходит получение, хранение, преобразование, передача и интерпретация данных и знаний, необходимых для формирования моделей ОУ, УС и среды. Причем, с каждой новой порцией информации происходит преобразование и интеграция ее на соответствующих ШДО, и модели уточняются. Таким образом, в результате подобных преобразований на ШДО в качестве решений могут быть получены оценки состояния, решения о соответствии критериям, модельные представления процессов и ситуаций, выводы, рекомендации, таблицы и карты риска, что подробно рассмотрено, например, в [2–3].

Рассмотрим процесс принятия решений и его формализацию на основе методологии РБП и байесовских интеллектуальных технологий в различных типовых информационно-аналитических задачах.

Для формализации модельного представления процесса принятия решений определим основные понятия, в частности, понятия функции реализации f_t ,

платежной функции P_t и целевой функции C_t .

Согласно [1] под **функцией реализации** f_t понимается такая функция, что

$$f_t: G_{omt} * G_{emt} * G_{amt} * Y_t \rightarrow \{h_{kt}/\{MX\}_{kt}\}, \quad (1)$$

где $\{h_{kt}/\{MX\}_{kt}\}$ – множество альтернативных решений с комплексами метрологических характеристик, содержащих показатели точности, надежности и достоверности решений h_{kt} , принадлежащих динамическому компактному решению H_t .

Определения и допустимые функциональные преобразования $h_{kt}/\{MX\}_{kt}$, H_t приведены в [4].

В уравнении (1) полагается, что функция реализации f_t , принадлежащая функциональному множеству F_t способна адаптироваться к изменениям условий принятия решений и менять свою структуру во временном диапазоне функционирования СППР.

Поскольку при реализации процесса принятия решений на методологической основе РБП все преобразования производятся на шкалах ШДО, которым соответствуют СДРС обозначаемые как S_{omt} , S_{emt} , S_{amt} , S_{yt} соответственно, то для байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) формула (1) может быть представлена в следующем виде:

$$f_{st}: S_{omt} * S_{emt} * S_{amt} * S_{yt} \rightarrow \{h_{skt}/\{MX\}_{skt}\}, \quad (2)$$

где $\{h_{skt}/\{MX\}_{skt}\}$ – множество альтернативных решений в виде регуляризированных байесовских оценок (р.б.о.), представляющих собой реперы ШДО. Свойства р.б.о. определены в [4].

Как показано в [2–3], р.б.о. могут представлять собой все типы информационных потоков: числовой лингвистической, графической, картографической и других видов информации. По типу информации ШДО разделяются на соответствующее число типов. Числовые и лингвистические ШДО могут быть представлены в виде сопряженной ШДО, основного типа носителя шкалы для БИТ. Лингвистические ШДО относятся к порядковым

шкалам, а числовые шкалы представляют собой шкалы отношений.

Уравнение (2) представляет собой **концептуальную математическую модель реализационной структуры СППР на основе РБП**. Вторая составляющая математической модели принятия решений на основе РБП представляет собой оценочную структуру по определению, данному в [1], или в терминологии РБП платежную матрицу Π_t (матрицу штрафов). Вид платежной матрицы, как правило, выбирается заранее на основании расчетных или субъективных подходов ЛПР. Подробнее вопрос выбора матрицы Π_t обсуждается в [4]. Оценочная функция определяет выигрыш (прибыль) УС при реализации эффективного решения или плату за неверное решение, причем вид матрицы позволяет определить плату или выигрыш при конкретном сочетании решений и состояния основных компонентов функции реализации.

Задача СППР состоит в выборе оптимальных альтернатив $\{h_{skt}/\{MX\}_{skt}\}$, удовлетворяющим условиям оптимума целевой функции z_t , принадлежащей множеству Z_t .

Целевая функция основывается на критериальной базе C_t , где C_t имеет вид многомерного критерия, состоящего из совокупности разнотипных критериев $\{c_{it}\}$. Далее будет проиллюстрирован механизм принятия решений на ШДО в многокритериальной среде C_t .

Целевая функция z_t представляет собой свертку функций реализации f_t и оценивания Π_t , что может быть записано в виде:

$$z_t = \Pi_t * f_t \quad (3)$$

В качестве альтернативных решений выбираются решения, доставляющие экстремальные значения целевой функции по обобщенному критерию C_t или отдельным критериям c_t .

$$\{h_{skt}/\{MX\}_{skt}\} = \text{argextr} \{c_{it}(\Pi_t * f_t)\} \quad (4)$$

Так как аппарат выбора решений на

основе РБП всегда базируется на основных принципах и критериях классического правила выбора гипотез Байеса, то основополагающим критерием c_{bt} всегда будет минимум среднего риска решения (максимум апостериорной достоверности решения с учетом вида платежной матрицы). С учетом этого формулу (4) можно переписать в виде:

$$\{h_{skt}/\{MX\}_{skt}\} = \text{argextr} \{c_{it}(\text{argextr} \{c_{bt}(\Pi_t * f_t)\})\} \quad (5)$$

Таким образом, в соответствии с формулой (5) в математической модели принятия решений на многокритериальной РБП основе будет выбираться ряд наиболее значимых альтернативных решений с комплексами характеристик их качества и риска.

Процесс принятия решений на основе БИТ в многокритериальной среде можно представить в виде композиционной свертки р.б.о, оптимальных по каждому из критериев c_{it} и полученных на сопряженных ШДО. При этом на лингвистических шкалах сопряженных ШДО устанавливается значение критерия c_{it} в виде «нормы».

Таким образом, Парето-оптимальные решения являются подмножеством множества H_t и могут быть представлены в виде р.б.о. на всем пространстве решений компакта H_t . При этом отпадает необходимость сужения области Парето, так как в состав оптимальных в смысле (5) р.б.о. входят только значимые по достоверности альтернативы.

Совокупность р.б.о., соответствующая совокупности значений критериев «норма», определяет на гиперкубе ШДО модель образцовой, стандартной ситуации или состояния объекта, с которой можно сравнивать их текущее состояние, определенное по экспериментальным данным. И поскольку ШДО метризованы, и на них определены мера и метрика расстояния между реперами, то можно при проведении аудита состояния определить не только отличие его от образцового, но и указать, насколько оно далеко отстоит от образцового в единицах принятой метрики

расстояния. Таким же образом определяется модель наиболее благоприятного и критического состояний объекта или ситуации.

В задачах многокритериального выбора вводят понятие важности критерия W_{cit} для установления его приоритета перед остальными критериями. Если имеется всего J критериев, то в многокритериальных БИТ вес (приоритет) критерия можно установить по формуле:

$$(6) \quad W_{it} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \Pi_{ij}$$

В соответствии с формулой (6) определяется матрица важности или приоритетов критериев в виде W_{ijt} .

Математическая модель принятия решений на основе БИТ в многокритериальной среде может быть с учетом (6) представлена в виде:

$$\{h_{skt} / \{MX\}_{skt}\} = \text{argextr} \{c_{it}(\text{argextr} \{c_{bit}(W_{it} * \Pi_{it} * f_{it})\})\} \quad (7)$$

Процесс принятия решений согласно [2] может быть представлен последовательностью следующих этапов:

1. *Подготовительный этап*, к подэтапам которого относятся:

- постановка и концептуальная формализация задачи принятия решений;
- определение требований к качеству и ограничений;
- формирование критериальной базы (важности и степени приоритетности, предпочтительности критериев и их взаимосвязи);
- инвентаризация информационных потоков;
- метрологическое обоснование информационных потоков;
- инвентаризация знаний о решениях, создание базы знаний по реализованным рекомендациям, опыту применения возможных решений и реализации сформированных стратегий;
- выбор реализационной функции;
- выбор платежной (оценочной функции);

- формализация оптимизационного уравнения.

2. *Этап выбора решения*:

- получение значений показателей, параметров, индикаторов состояний объектов, среды и управляющей системы, которая при активном режиме может выступать в качестве подходе;
- метрологическое обоснование качества решений;
- расчет платежей и экономических показателей при реализации решений;
- формирование списка альтернатив на основе критериев, требований и ограничений, а также априорного опыта.

3. *Этап реализации решений*

4. *Этап формирования и проигрывания сценариев*

5. *Этап проверки качества альтернативных решений*:

- получение новых значений показателей;
- получение новых оценок ситуации;
- формирование списка альтернатив;
- принятие решений о готовности и годности альтернатив, а иначе возвращение ко второму этапу.

Обобщенная оптимизационная модель выбора решений на основе БИТ может быть представлена как композиция (свертка) компонентов оптимизационных уравнений вида (7) для каждого этапа и подэтапов, указанных выше. Например, для пяти указанных этапов уравнение имеет вид:

$$\{h_{skt} / \{MX\}_{skt}\} = \text{argextr} \{c_{it}(\text{argextr} \{c_{bit}(\sum_{i=1}^5 W_{it} * \sum_{i=1}^5 \Pi_{it} * \sum_{i=1}^5 f_{it})\})\} \quad (8)$$

Альтернативные решения в виде нечеткой р.б.о с учетом важности критерия для каждого из подэтапов можно получить по модифицированной формуле Байеса:

$$W_{ilt} \quad P_{ilt}(h_{ilt}) * W_{jlt} P_{jlt}(h_{jlt}) h_{klt} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J W_{ilt} * P_{ilt}(h_{ilt}) * W_{jet} * P_{jet}(h_{jet})$$

(9)

Модель (7) принятия решений на основе БИТ в многокритериальной среде предназначена для решения многокритериальных задач в условиях риска и неопределенности, а также активности и динамичности объекта управления среды и управляющей системы, что в концептуальной постановке охватывает широкий круг сложных практических задач.

III. Интегрирующие технологии в распределенных информационно-аналитических системах

Развитие распределенных производств, транспортных коридоров, сетей финансовых структур и других географически распределенных объектов экономики привело к созданию информационных систем со сложной разветвленной иерархической структурой и разнотипными информационными потоками. Для таких систем характерны распределённость вычислительных и информационных ресурсов, которые активизируются при получении задания и интегрируются в конкретную технологию решения задачи. Для того чтобы такая технология функционировала как целостная необходимо сопряжение требований вычислительных модулей к поступающим комплектам данных.

Такое сопряжение должно, прежде всего, основываться на контроле информационных свойств данных, степени их полноты и пригодности для вычислений. Кроме того, реализуя процессы мониторинга состояний объектов, поддержки принятия решений, прогнозирования, такие системы, как правило, собирают, хранят и обрабатывают информационные потоки со значительной степенью неопределенности. Все это определяет, что для обеспечения практически пригодных решений в таких системах должны быть реализованы технологии контроля и управления качеством получаемых результатов.

Технологически реализация контроля качества информационных решений реализуется в виде отдельной ветви метрологического сопровождения с определени-

ем на каждом этапе показателей точности и достоверности результатов. При поступлении в систему нового потока данных должно быть произведено полное метрологическое обоснование информационных свойств данных. Однако практически во всех существующих распределенных системах такое сопровождение отсутствует. Это не позволяет контролировать степень неточности, недостоверности, риска решений, который при этом не определяется, а декларируется.

В системах мониторинга и поддержки принятия решений на основе регуляризирующего байесовского подхода (РБП) реализованы методологические, технологические и прикладные аспекты контроля и управления качеством и риском решений.

Первым этапом процесса управления качеством информационных технологий (ИТ) является метрологическое обоснование информации. В методологии РБП выделяются показатели точности ξ , надежности V (характеризует уровень ошибок 1 и 2 рода) и достоверности P , которые объединяются в комплекс метрологических характеристик (МХ), определяющий свойства регуляризованных байесовских оценок (р.б.о.). Кроме того, в режиме мониторинга качества (метрологический мониторинг ИТ) определяются степень риска R и энтропийные показатели E , что позволяет контролировать количество и качество информации, полученной на каждом этапе ИТ. Повышение энтропийности результатов этапа свидетельствует о недостаточном качестве данных или решений, высокой степени их неопределенности.

В системе управления качеством ИТ реализуется процесс метрологического аудита, при котором обеспечивается сходимость ИТ и ее корректировка в соответствии с условиями реализации и ограничениями ИТ. Основной целью метрологического аудита является выявление участков значительной размытости решений и генерации управляющих воздействий для

обеспечения их требуемого качества. Возможными вариантами рекомендаций при этом могут быть предложения добавления данных или знаний, снижения требований к качеству данных, формирование запросов к внешним источникам информации. Рекомендации реализованы в виде ИТ, которые обеспечивают обратную связь при управлении качеством решений и риском.

Формирование решений байесовских интегрирующих технологий (БИТ) и байесовских интеллектуальных измерений (БИИ) ведется по модифицированному байесовскому решающему правилу (МБП) на основе критерия минимума среднего риска решения.

ИТ БИИ синтезируется в процессе функционирования системы в соответствии с априорной информацией, метрологическими требованиями и ограничениями. Изменение этих составляющих влечет за собой изменение структуры ИТ, которое адаптирует ее к новым условиям, что является основой для ее самоорганизации и саморазвития базы ИТ БИТ и БИИ.

IV. Выводы. Заключение

Очевидно, что сложность и многосторонняя значимость решений задач управления определяет необходимость базироваться на объективной и полной информационной базе. Однако в реальных условиях на практике такие задачи сопровождаются значительной априорной неопределенностью знаний о свойствах объектов природной и антропогенной среды и ситуаций в них, разнородностью, распределенностью информации в пространстве и во времени, многомерностью, взаимосвязанностью влияющих факторов.

Литература

1. *Розен В.В.* Математические модели принятия решений в экономике. М.: Книжный Дом «Университет», Высшая школа, 2002. – 288 с.
2. *Недосекин Д.Д., Прокопчина С.В., Чернявский Е.А.* Информационные технологии интеллектуализации измерительных

Необходимость получения и реализации решений в темпе экстремальных процессов и развития критических ситуаций обуславливают требование применения средств интеграции развития распределенных информационных баз, быстрого доступа к ним и реагирования на произвольные запросы пользователей, высокоэффективных технологий получения и обобщения знаний, а также высокопроизводительных средств их реализации. Спецификой развития производственно-экологических ситуаций является их сложно прогнозируемая изменчивость во времени и в пространстве. В связи с этим свойства изменчивости реальных процессов и ситуаций должны быть адекватно отражены в свойствах их моделей, информационных технологиях и средствах их реализации.

Методология РБП и технологии БИИ могут быть выбраны в качестве базовых в силу их интегрирующих свойств, позволяющих производить сопряжение информационных потоков данных и знаний в условиях значительной неопределенности разноаспектной, распределенной, неточной, неполной, нечеткой информации [5, 6]. Методология БИИ является уникальной в настоящее время методологией, позволяющей реализовать свертку, как в параметрических, так и в функциональных пространствах решений. Это обуславливает возможность глубокого проникновения методологий в методическую базу комплексного проекта, их взаимосвязанность и на этой основе получение синергетического эффекта повышения качества получаемых решений.

процесов.– 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. *Ногин В.Д.* Принятие решений в многокритериальной среде: количествен-

ный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 176 с.

5. *Прокопчина С. В.* Байесовские интеллектуальные технологии для аудита и управления сложными объектами в условиях значительной неопределённости // В сб. докладов Первой междунар. конф. ЮНИ-ИНТЕЛ 2010 «СЕЛИГЕР», 25–29 июня 2010, с. 81-85.

6. *Котельников В.Г., Прокопчина С.В.* Системный анализ в управлении: под-

держка разработки, принятия и обоснования управленческих решений// В сб. материалов IX Международной научно-практической конф. (научном журнале) «Научная индустрия европейского континента – 2013» (27 ноября – 05 декабря 2013 г.). Том 13. Экономические науки. Макроэкономика. – Прага: Издательский дом «Education and Science» s.r.o. – 2013. С. 27 – 39.