ОБОБЩЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ В СЦЕНАРНОМ АНАЛИЗЕ

Михаил Стернин, Геннадий Шепелёв

Аннотация: *Показано, что метод обобщенных интервальных оценок (ОИО), первоначально предназначавшийся для выявления и формализованного представления экспертных знаний об известных с неопределенностью количественных исходных данных моделей интеллектуальных систем поддержки экспертных решений (СПЭР), можно рассматривать как развитие сценарного подхода в теории принятия решений. Предложены процедуры исследования методом ОИО задач с зависимыми параметрами, таких как задача прогнозирования объемов извлекаемых запасов месторождений в зависимости от уровней цены на углеводороды. Установлены аналитические соотношения для функций распределения вероятностей обобщенных равномерных распределений, используемых в сценарном анализе и анализе результирующих показателей моделей включенных в базу моделей СПЭР.*

Ключевые слова: *Обобщенные интервальные оценки, сценарный анализ, системы поддержки экспертных решений, обобщенные распределения вероятностей.*

ACM Classification Keywords: *H.4.2 Types of Systems – Decision support; G.3 Probability and Statistics – Distribution functions.*

Conference: *The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008*

Введение

В различных областях экономической деятельности распространены ситуации, когда решения принимаются с учетом прогнозных значений ключевых показателей, характеризующих анализируемую проблему. Во многих случаях такие ключевые показатели получаются как решения уже существующих («объективных») моделей предметных областей, к которым относится изучаемая проблемная ситуация. С усложнением исследуемых проблем, увеличением числа и значимости междисциплинарных задач значительно возросла роль специалистов-экспертов в качестве источника оценок исходных данных таких моделей. Потребность в эффективном регулярном использовании интеллектуальных ресурсов экспертов материализуется в системах поддержки экспертных решений (СПЭР).

В большинстве практических прикладных задач исходные данные (параметры) моделей являются числовыми величинами, измеримыми в количественных шкалах. Зачастую, однако, из-за наличия неопределенности, описание таких ситуаций «точечными» величинами (оценками, задаваемыми для каждого параметра одним числом) оказывается неадекватным достижению желаемой цели – расчету значений результирующих показателей исследуемой задачи в виде, способствующем принятию обоснованных решений.

Исходные данные V, таким образом, представляются интервалами («интервальными числами») $[V_l, V_r]$, задаваемыми их левыми V_l и правыми V_r границами. Результирующие показатели, рассчитанные на объективных моделях предметной области, которые связывают исходные данные с показателями, также оказываются теперь интервальными числами. Подобного рода ситуации, когда исходные параметры представлены как интервалы, типичны для естественных, инженерно-технических наук и техники, где измерениям принципиально присуща некоторая погрешность, которую требуется учитывать в дальнейших расчетах, в том числе в расчетах искомых значений непосредственно неизмеримых величин. В экономических исследованиях, бизнесе в виде интервальных чисел могут быть представлены прогнозируемые параметры, при этом погрешности значения параметров, отвечающие прошлым и текущему моментам времени, могут быть известны вполне точно.

Для числовых исходных данных их интервальное задание отвечает ситуации с наибольшей неопределенностью. Диапазоны полученных в результате расчетов допустимых изменений значений результирующих показателей моделей оказываются при этом, как правило, чрезвычайно широкими. Этот недостаток частично устраняется, а возможности количественного, математического анализа исходных данных становятся гораздо богаче, если эксперт в дополнение к интервальной оценке параметра выдвинет гипотезы о шансах на реализацию тех или иных значений в заданном интервале $[V_l, V_r]$.

В рамках теоретико-вероятностных методов параметры задачи рассматриваются как случайные величины с распределениями вероятностей, отражающими представления экспертов о шансах на возникновение тех или иных диапазонов значений параметров. Расчеты результирующих показателей осуществляются методом статистических испытаний, а при принятии решений используются дихотомические оценки, разделяющие весь интервал возможных значений результирующего показателя на две части, - одну, содержащую все исходы, классифицируемые экспертом как благоприятные, и другую, включающую все неблагоприятные случаи. Такой оценкой в теоретико-вероятностной картине является пара (L, $P(R \geq L)$), где L – некоторое граничное значение результирующего показателя R, анализируемое в данный момент экспертом, а $P(R \geq L)$ - вероятность того, что в «игре с природой» реализуются лишь благоприятные возможности, то есть такие, значения результирующего показателя R для которых превосходят L. (Здесь предполагается, что увеличение значений результирующего показателя увеличивают привлекательность возможных исходов для эксперта). Например, извлекаемые запасы углеводородов, окажутся больше, чем заданное экспертом их значение, или реализуются исходы, стоимостные оценки которых превосходят желаемую граничную величину, и т.д. Результаты расчетов представляются обычно графиком (L, $P(R \geq L)$). Задаваясь отвечающим его предпочтениям значением вероятности получения «гарантированного» результата, специалист-эксперт может тогда найти соответствующую величину ключевого показателя (или наоборот) и принять рациональное решение.

Метод обобщенных интервальных оценок

В работах [1 – 4] нами предложен и развит новый метод выявления и обработки экспертных знаний об известных с неопределенностью исходных данных моделей различных предметных областей, метод обобщенных интервальных оценок (ОИО). Метод распространяет представленный во введении известный подход к учету неопределенности количественных параметров, состоящий в (моно) интервальном задании экспертом области возможных значений исходных данных вместе с распределением вероятностей их реализации, на случай совокупности интервалов, характеризующей неполноту экспертных знаний о длине и положении интервала-оценки.

На трудности, с которыми сталкивается эксперт при необходимости задания интервала-оценки в рамках моноинтервального подхода, указано в работе [5]: интервал излишнего размаха снижает ценность знаний эксперта, а слишком суженный интервал довольно часто ведет к ошибкам предсказания. Метод ОИО, позволяющий эксперту не ограничиваться при оценке параметра единственным интервалом, снимает указанное противоречие и дает эксперту возможность более гибко и полно отразить его знания. Потребность в подобном методе проявилась для нас при решении прикладных задач прогнозирования перспективности слабо разведанных месторождений углеводородов.

Простейший пример ОИО доставляет ситуация, когда эксперт задает в качестве начальной оценки параметра какой-либо интервал, а затем «размывает» его (не обязательно симметрично) в обе стороны от границ, выражая таким образом неопределенность своих знаний об интервальной оценке параметра. При таком подходе естественно считать, что и интервалы, промежуточные между начальным и получившимся в результате размытия, также входят в совокупность интервалов и характеризуют знания эксперта о параметре. Для более точного и наглядного отображения такой совокупной оценки входящие в нее интервалы представляют в виде криволинейной трапеции на плоскости (V, α). Ось ординат $\alpha \in [0, 1]$ служит осью меток упорядоченных левых границ интервалов совокупности. Наибольшему основанию («базовый» интервал) трапеции соответствует $\alpha = 0$, а наименьшему («мини» интервал) отвечает $\alpha = 1$. Полученная конструкция названа нами полиинтервальной оценкой (ПИО) параметра, она определяется положением и длинами минимального и базового интервалов совокупности и формой боковых границ трапеции. В приложениях эксперты выбирают эти границы, как правило, прямолинейными. Пример простейшей ПИО для совокупности вложенных интервалов показан на рисунке 1, где V_{ld} (V_{rd}) и V_{lu} (V_{ru}) левая (правая) граница базового и мини интервалов соответственно.

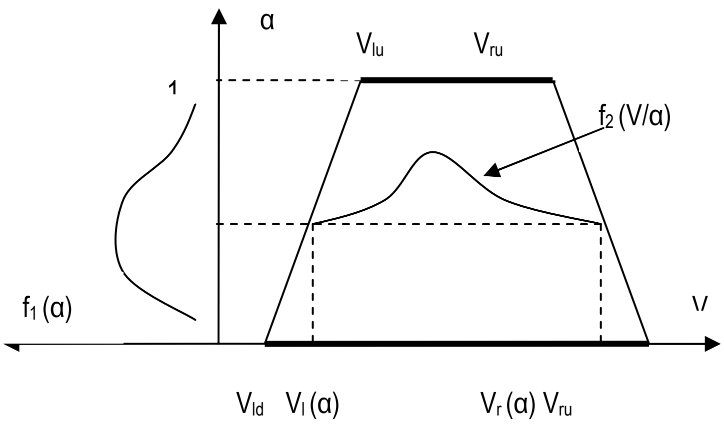

Рис.1. ОИО на вложенных интервалах.

Задание экспертом распределений $f_1(\alpha)$ на α («шансов» реализации интервалов-сценариев) и $f_2(V/\alpha)$ на V превращают ПИО в обобщенную интервальную оценку. В общем случае на разных (по α) полосах ПИО $f_2(V/\alpha)$ могут принадлежать к разным семействам распределений.

Метод ОИО может быть использован в двух направлениях. Во-первых, для каждого исходного параметра модели метод ОИО позволяет получить, в соответствии с соотношениями (1), усредненное распределение вероятности $f(V)$ на базовом интервале и тем самым свести задачу расчета результирующих показателей моделей к известному моноинтервальному случаю.

$$f(V) = \begin{cases} \int_0^{\alpha_l(V)} f_1(\alpha) f_2(V|\alpha) d\alpha, & V \in [V_{ld}; V_{lu}) \\ \int_0^{1} f_1(\alpha) f_2(V|\alpha) d\alpha, & V \in [V_{lu}; V_{ru}) \\ \int_0^{\alpha_r} f_1(\alpha) f_2(V|\alpha) d\alpha, & V \in [V_{ru}; V_{rd}) \end{cases} \qquad (1)$$

Для прямолинейных боковых границ ПИО $\alpha_l(V) = \dfrac{V - V_{ld}}{V_{lu} - V_{ld}}$, $\alpha_r(V) = \dfrac{V_{rd} - V}{V_{rd} - V_{ru}}$.

Во-вторых, для исходных параметров и результирующих показателей моделей методом ОИО могут быть получены оценки в виде «вероятностных границ» и «обобщенных вероятностных трубок», использующие всю совокупность полученных от эксперта знаний, а не только их усредненное выражение. В вероятностных трубках отражена информация о вариабельности вероятностных распределений на всех интервалах ОИО. Обобщенные трубки максимального размаха с достоверностью содержат в себе все возможные, с точностью до знаний эксперта, значения оцениваемых показателей моделей и соответствующих вероятностей. Трубки суженного, по сравнению с максимальным, размаха содержат эту информацию с известной вычислимой степенью уверенности. Эта возможность была использована при прогнозировании методом ОИО объемов запасов углеводородов слабо разведанных месторождений [8]. Так для расчетов, результаты которых приведены на рис. 2., величина доказанных запасов, то есть запасов, определяемых на уровне Р = 0,9, в обобщенной трубке максимального размаха находится в диапазоне 24 - 32 млн. т., а в суженной трубке, представленной на рисунке, величина доказанных запасов с уверенностью 80% находится в диапазоне 26 - 30 млн. т. При необходимости методом ОИО могут быть рассчитаны не только отдельные трубки, отвечающие заданным степеням уверенности, но и распределения вероятностей на соответствующих интервалах в границах трубки максимального размаха при фиксированных уровнях запасов, с одной стороны, или фиксированном уровне вероятности, с другой стороны.

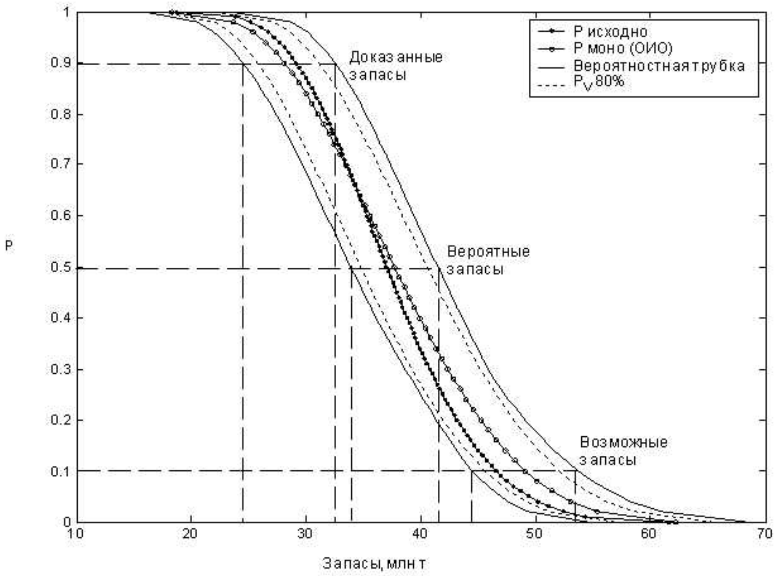

Рис. 2. Результаты расчетов объемов запасов углеводородов методом ОИО

Обобщенные интервальные оценки в сценарном анализе

В теории и практике принятия решений распространен сценарный подход к анализу сложных слабо структурированных проблем. Сценарный подход предполагает, что развитие ситуации может происходить разными путями, при этом ни один из путей не является предопределенным. Именно неопределенность развития ситуации, зависимость реализации того или иного сценария не только от внутренней логики исследуемой проблемы, но и от внешних факторов, необходимость учета мнения экспертов, необходимость вести активный диалог с экспертом на языке, максимально приближенном к его профессиональному языку породили сценарный подход. Методы, применяемые в настоящее время в сценарном анализе используют конечное число сценариев, каждый из которых требуется предварительно подготовить, что представляет собой самостоятельную, временами сложную, задачу. Более простым представляется подход с непрерывным числом исходных альтернатив-сценариев, когда их множество задается указанием его границ. Аналогична ситуация с подходом дискретной оптимизации, в рамках которой осуществляется выбор наилучшей альтернативы из числа заранее сформированных и предъявленных для анализа альтернатив (при этом нет никакой уверенности, что среди исходного множества альтернатив имеются «хорошие» варианты), и линейно-программным подходом.

В методе ОИО интервалы их совокупности в ПИО допускают интерпретацию, при которой они трактуются как возможные сценарии реализации исходного параметра или результирующего показателя, а распределение на оси ординат ПИО задает «веса» сценариев. Таким образом, наряду с возможностями рассмотренными ранее, метод ОИО может служить и методом сценарного анализа в теории принятия решений. Именно, ОИО представляет собой вероятностную смесь бесконечного числа связанных случайных величин, каждая из которых соответствует возможному сценарию развития ситуации с известной вероятностью его реализации.

В русле развития метода сценариев теории принятия решений в подходе ОИО следует указать, прежде всего, возможности анализа задач, результирующие показатели которых зависят от значений факторов «окружающей среды», задач с зависимыми переменными. Надо при этом иметь в виду, что если в первоначальной схеме ось ординат ПИО служила осью «меток» интервалов-сценариев и не имела самостоятельного «физического» смысла, в сценарном подходе обе оси ПИО несут смысловую нагрузку. Это позволяет анализировать в условиях неопределенности задачи типа «что, если?», выявляя зависимость значений интересующих эксперта показателей от состояния «окружающей среды», например, зависимость величины коммерческих извлекаемых запасов нефти от прогнозных значений цен на нее.

Напомним, что реальным работам по освоению месторождений углеводородов предшествует разносторонняя оценка их запасов. Одна из таких оценок связана с оценкой объемов нефти, фактически находящихся в пласте, или геологических запасов. Однако, горно-геологические условия месторождения, а также используемые, в том числе, перспективные, технологии нефтедобычи не позволяют извлечь всю нефть, содержащуюся в пласте. Поэтому в составе геологических запасов выделяют так называемые извлекаемые запасы. Обеим упомянутым оценкам присуща значительная неопределенность на всех этапах освоения месторождения. В сущности, никогда нельзя точно узнать размеры геологических запасов, а объемы извлекаемых запасов реально определяются «по факту», - после прекращения добычи. Поэтому обе эти оценки имеют гораздо меньшее практическое значение, чем оценка величины той части запасов, извлечение которой будет экономически оправдано. Их иногда называют коммерческими извлекаемыми запасами. При оценке коммерческих извлекаемых запасов к неопределенностям, присущим оценкам геологических и извлекаемых запасов, добавляются неопределенности финансово-экономической природы. В отсутствии надежной информации о прогнозной величине существенных параметров, влияющих на размеры коммерческих извлекаемых запасов, важную роль в процессе первоначальной оценки играют суждения экспертов и сценарный анализ. Удобным инструментом проведения такого экспертного анализа может служить метод ОИО. При этом каждой точечной оценке цены на оси ординат ПИО соответствует интервальная оценка запасов на оси абсцисс, и, в соответствии с содержанием задачи, ПИО строится на системе не вложенных, а смещенных интервалов. Результатом решения будет вероятностная кривая, показывающая шансы наличия в месторождении осредненных по прогнозируемому диапазону цен коммерческих запасов, в объемах, интересующих эксперта. Аналогичным образом может быть решена обратная задача, задача об определении распределения гарантированных результатов для цен, осредненного по прогнозируемым объемам углеводородов, выставленных на продажу. Конечно, этими задачами далеко не исчерпывается перечень задач с зависимыми переменными, моделирование которых возможно в подходе ОИО. Их решение требует развития математического аппарата ОИО, в дополнение к предложенному ранее, и включения новых результатов в базу моделей СПЭР.

Поли- и обобщенные интервальные оценки в задачах с зависимыми переменными

В задачах с зависимыми переменными V, как и раньше, значения анализируемого параметра или показателя, а α – значения внешнего фактора, влияющего на V, $\alpha \in [\alpha_m, \alpha_M]$, где $\alpha_{m(M)}$ – минимальное (максимальное) значение α соответственно. ПИО задается четверкой V_{ld} (нижняя левая граница ПИО), V_{rd} (нижняя правая граница ПИО), V_{lu} (нижняя левая граница ПИО), V_{ru} (нижняя правая граница ПИО), отношения между ними определяют форму ПИО, $D = V_{rd} - V_{ld}$, $U = V_{ru} - V_{lu}$. Все возможные формы ПИО для случая $D \neq 0$, $U \neq 0$ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Формы ПИО для D ≠ 0, U ≠ 0

Формы ПИО	Отношения между граничными точками ПИО
1	$V_{ld} < V_{lu} < V_{rd} < V_{ru}$
2	$V_{ld} < V_{rd} < V_{lu} < V_{ru}$
3	$V_{ld} < V_{lu} < V_{ru} < V_{rd}$
4	$V_{lu} < V_{ld} < V_{rd} < V_{ru}$
5	$V_{lu} < V_{ld} < V_{ru} < V_{rd}$
6	$V_{lu} < V_{ru} < V_{ld} < V_{rd}$

Для каждого интервала-сценария ПИО плотность совместной функции распределения f*(α, V)* имеет вид $f(\alpha,V) = f_1(\alpha) f_2(V|\alpha)$. Ранее для ПИО простейшей формы нами получены аналитические формулы для усредненных результирующих функций распределения, получаемых из совместных функций распределения ОИО, для ряда практически важных комбинаций исходных функций на осях ПИО, таких как «равномерное – равномерное» [6], «равномерное – треугольное», «треугольное – равномерное» и «треугольное - треугольное». Эти распределения представляют собой математические объекты, обобщающие традиционные вероятностные распределения. Они имеют как самостоятельную значимость, так и находят применение в приложениях. В задачах с зависимыми параметрами многообразие возможных форм ПИО приводит к появлению целого семейства обобщенных равномерных распределений. При нахождении осредненных распределений вероятностей *f(V)* следует учесть, что при D ≠ 0, U ≠ 0 области интегрирования в соотношениях, аналогичных соотношениям (1), разбиваются для ПИО всех форм на три связных подобласти, своих для каждой ПИО (Таблица 2).

Таблица 2. Функции осредненных распределений вероятностей для D ≠ 0, U ≠ 0

Подобласти ПИО	Плотность для D ≠ U	Плотность для D = U
1.1: $V_{ld} \le V < V_{lu}$	$P(V < V_S) = F_1$	$P(V < V_S) = G_1$
1.2: $V_{lu} \le V \le V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_2$
1.3: $V_{rd} < V \le V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_3$	$P(V < V_S) = G_3$
2.1: $V_{ld} \le V < V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_1$	$P(V < V_S) = G_1$
2.2: $V_{rd} \le V \le V_{lu}$	$P(V < V_S) = F_4$	$P(V < V_S) = G_4$
2.3: $V_{lu} < V \le V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_3$	$P(V < V_S) = G_3$
3.1: $V_{ld} \le V < V_{lu}$	$P(V < V_S) = F_1$	$P(V < V_S) = 0$
3.2: $V_{lu} \le V \le V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_5$
3.3: $V_{ru} < V \le V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_5$	$P(V < V_S) = 0$
4.1: $V_{lu} \le V < V_{ld}$	$P(V < V_S) = F_6$	$P(V < V_S) = 0$
4.2: $V_{ld} \le V \le V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_5$
4.3: $V_{rd} < V \le V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_3$	$P(V < V_S) = 0$
5.1: $V_{lu} \le V < V_{ld}$	$P(V < V_S) = F_6$	$P(V < V_S) = G_6$

5.2: $V_{ld} \le V \le V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_2$
5.3: $V_{ru} < V \le V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_5$	$P(V < V_S) = G_7$
6.1: $V_{lu} \le V < V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_6$	$P(V < V_S) = G_6$
6.2: $V_{ru} \le V \le V_{ld}$	$P(V < V_S) = F_7$	$P(V < V_S) = G_8$
6.3: $V_{ld} < V \le V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_5$	$P(V < V_S) = G_7$

Здесь

$$F_1 = \frac{1}{D-U}\left[V_S - V_{ld} + \frac{D(V_{lu}-V_S)+U(V_S-V_{ld})}{D-U} Ln \frac{D(V_{lu}-V_S)+U(V_S-V_{ld})}{D(V_{lu}-V_{ld})}\right],$$

$$F_2 = \frac{1}{D-U}\left[V_{lu} - V_{ld} + \frac{D(V_{lu}-V_S)+U(V_S-V_{ld})}{D-U} Ln \frac{U}{D}\right],$$

$$F_3 = \frac{1}{D-U}\left[D + V_{lu} - V_S + \frac{D(V_S-V_{ru})+U(V_{rd}-V_S)}{D-U} Ln \frac{D(V_S-V_{ru})+U(V_{rd}-V_S)}{D(V_{rd}-V_{ru})}\right],$$

$$F_4 = \frac{1}{D-U}\left[D + \frac{D(V_{ru}-V_S)+U(V_S-V_{rd})}{D-U} Ln \frac{V_{ru}-V_{rd}}{V_{lu}-V_{ld}}\right],$$

$$F_5 = \frac{1}{D-U}\left[V_S - V_{ld} - U + \frac{D(V_{ru}-V_S)+U(V_S-V_{rd})}{D-U} Ln \frac{D(V_{ru}-V_S)+U(V_S-V_{rd})}{D(V_{ru}-V_{rd})}\right],$$

$$F_6 = \frac{1}{D-U}\left[V_{lu} - V_S + \frac{D(V_S-V_{lu})+U(V_{ld}-V_S)}{D-U} Ln \frac{D(V_S-V_{lu})+U(V_{ld}-V_S)}{U(V_{ld}-V_{lu})}\right],$$

$$F_7 = \frac{1}{D-U}\left[-U + \frac{D(V_S-V_{ru})+U(V_{rd}-V_S)}{D-U} Ln \frac{V_{rd}-V_{ru}}{V_{ld}-V_{lu}}\right],$$

$$G_1 = (V_S - V_{ld})^2/[2D(V_{lu}-V_{ld})],$$
$$G_2 = (2V_S - V_{ld} - V_{lu})/(2D),$$
$$G_3 = 1-(V_{ru}-V_S)^2/[2D(V_{ru}-V_{rd})],$$
$$G_4 = (2V_S - V_{rd} - V_{ld})/[2(V_{lu}-V_{ld})],$$
$$G_5 = (V_S - V_{ld})/D,$$
$$G_6 = (V_S - V_{lu})^2/[2D(V_{ld}-V_{lu})],$$
$$G_7 = 1-(V_S-V_{rd})^2/[2D(V_{rd}-V_{ru})],$$
$$G_8 = (2V_S - V_{ru} - V_{lu})/[2(V_{ld}-V_{lu})]$$

Получены также соответствующие аналитические соотношения для плотностей осредненных распределений вероятностей при D ≠ 0, U ≠ 0 и соотношения для осредненных плотностей и распределений вероятностей при D = 0 или U = 0 (ПИО треугольной формы).

Заключение

Возникающее в задачах с зависимыми переменными «равноправие» осей ПИО позволяет, кроме исходной ОИО, построить дополнительную ОИО на оси ординат, оси цен в задаче о запасах, более полно учитывающую возможную неопределенность оценки «внешних факторов» (прогноза цен). Для реализации этой возможности и использования в анализе распределений вероятностей, отличных от обобщенных равномерных распределений, в разработанной нами экспериментальной версии СПЭР имеется алгоритм, осуществляющий расчеты результирующих распределений по заданной экспертом ПИО, форма которой адекватна его суждениям.

Благодарности

Настоящая работа частично поддержана программами фундаментальных исследований президиума РАН «Фундаментальные проблемы информатики и информационных технологий» и ОИТВС РАН «Фундаментальные основы информационных технологий и систем», Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 08-01-00247, 06-07-89352, 07-01-00515).

Библиография

1. Shepelyov G., M.Sternin. Method of Generalized Interval Estimations for Intelligent DSS. // DSS in the Uncertainty of the Internet Age. The Karol Adamiecki University of Economics in Katowice, Katowice, 2003, pp. 367-377.
2. Стернин М.Ю., Чугунов Н.В., Шепелёв Г.И. Модели предметных областей в компьютерных системах, основанных на знаниях // Методы поддержки принятия решений. Труды Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН). Том 12. Емельянов С.В., Петровский А.Б. (Ред.). М.: Едиториал УРСС, 2005. С. 95 – 113.
3. Chugunov N., Shepelyov G., Sternin M. A method for uncertainty quantification in expert decision support systems. Papers from the IFIP WG8.3 International conference on creativity and innovation in decision making and decision support. Vol. 2, pp.851 – 865. Ldn.: Ludic Publ. 2006.
4. Shepelyov G., Sternin M. The new method of Generalized Interval Estimations in problems under uncertainty // Advances in Decision Technology and Intelligent Information Systems / Ed. by K. J. Engemann, G. E. Lasker. — Vol. 8. — Windsor: The International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics, 2007. — Pp. 11–15.
5. Kahneman D., Slovic P., Tversky A. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. Cambridge. Cambridge university press. 1982.
6. Стернин М. Ю., Шепелев Г. И., Шепелев Н. Г. Свойства обобщенного равномерного распределения вероятностей // Вторая международная конференция “Системный анализ и информационные технологии” (САИТ-2007). Труды конференции в 2 т. — Т. 1. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. — С. 239–242.

Информация об авторах

Михаил Стернин *– Старший научный сотрудник Института системного анализа РАН. Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, ИСА РАН; e-mail: mister@isa.ru*

Геннадий Шепелёв *– Заведующий лабораторией Института системного анализа РАН. Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, ИСА РАН; e-mail: gis@isa.ru*