

## **ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ: МНОГОМОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД**

**Спесивцев А.В.<sup>1</sup>,**  
(ЗАО «ТЕХНОЛИНК», Санкт-Петербург)

**Котельников В.Г.<sup>2</sup>, Новожилов А.С.<sup>3</sup>**  
(Петербургский государственный университет путей  
сообщения, Санкт-Петербург)

*Проведено сравнение двух концептуально различающихся моделей принятия решений: на основе байесовских интегрирующих технологий и формализации экспертной информации в виде полиномиальной фаззи-модели. Показано, что применение различных моделей оценки приводит к большей степени уверенности в рациональности принимаемых решений.*

Ключевые слова: фаззи-модель, байесовские интегрирующие технологии, мультимодельный подход.

### **1. Введение**

Решение задач принятия решения в условиях многокритериального выбора при неполной и нечеткой информации представляет безусловный интерес во многих областях человеческой деятельности. Активно развивающееся ныне научное направление поиска эффективных алгоритмов и методов принятия рациональных решений особенно важно для лиц, принимающих

---

<sup>1</sup> Спесивцев Александр Васильевич, кандидат технических наук (Spesivtsev@technolink.spb.ru).

<sup>2</sup> Котельников Валерий Григорьевич, доктор технических наук, профессор (For\_kotvaler@mail.ru).

<sup>3</sup> Новожилов Алексей Станиславович, аспирант (Alexnov83@mail.ru).

эти управленческие решения (ЛПР). Сегодняшние требования к методам принятия решений таковы, что и сама постановка задачи, и результаты ее решения должны основываться на профессиональных навыках, опыте и, что особенно важно, на понятном всем языке. Различные методы имеют свои особенности и раскрывают особенности изучаемого объекта с различных сторон. Так, например, в системе «Инфоаналитик» [2, 3, 5], основанной на идеях регуляризирующего байесовского подхода (РБП), есть возможность использовать не только результаты измерений, но и накопленных знаний. А метод формализации экспертных знаний в виде полиномиальной модели, предложенный в работе [6], позволяет «развернуть» получаемое оценивание по факторным направлениям в количественном виде. Тогда применение обоих подходов естественным образом приводит к мультимодельному решению одной и той же задачи принятия решения.

Именно такой подход и продемонстрирован в настоящей статье на примере решения тестовой задачи выбора наилучшего претендента на замещение вакантной должности бухгалтера [1]. Рассматриваются пять кандидатов на должность бухгалтера, данные по которым отражены в табл. 1.

*Таблица 1. Исходные данные по кандидатам на должность бухгалтера [1]*

Лингвистическая переменная	Кандидаты				
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
Образование	Среднее	Высшее	Среднее $U$ вышш.	Среднее	Высшее
Опыт	Приемлемый	Большой	Большой	Приемлемый $\cap$ Большой	Большой
Умение работать с ПО	Есть	Нет	Есть	Нет	Нет
Юридическая грамотность	Нет	Нет $\cap$ есть	Есть	Есть	Есть

Для простоты иллюстрации учитывались только четыре критерия: образование (высшее, среднее); опыт (отсутствует, приемлемый, большой); умение работать (да, нет) с программным обеспечением (ПО); юридическая грамотность (есть, нет). Как следует из представленного факторного пространства переменных, основной проблемой при решении данной задачи является необходимость учета неполной и нечеткой информации, представленной в лингвистическом виде.

### **1. *Оценивание на основе регуляризирующего байесовского подхода***

Методология регуляризирующего байесовского подхода (РБП) и технологии Байесовских интеллектуальных измерений (БИИ) выбраны в силу их интегрирующих свойств, позволяющих производить сопряжение информационных потоков данных и знаний в условиях разноаспектной, распределенной, неточной, неполной и нечеткой информации [3, 5]. Уникальность методологии БИИ состоит в ее возможности реализовывать свертку как в параметрических, так и в функциональных пространствах решений. Это обуславливает возможность «глубокого погружения» РБП в методическую базу изучаемого объекта или явления, «срастания» с ней, и на этой основе достижения синергетического эффекта значительного повышения качества получаемых решений.

Байесовские интеллектуальные измерения, реализующие РБП, – это измерения, основанные на получении знаний об объекте измерения и использовании их в процессе измерения в совокупности с имеющейся априорной информацией, представленной в виде архивных или экспериментальных данных, теоретических знаний, аналитических зависимостей, табличной и графической информации, а также рекомендаций и неформализованного опыта специалистов. Результатами таких измерений могут быть значения, функциональные зависимости, решения о состоянии объекта и необходимости природоохранных мероприятий, интерпретация экологических ситуаций.

Основное уравнение байесовских интеллектуальных измерений (БИИ) записывается в виде [3, 5]:

$$(1) \quad \{h_{kt} | MX_{kt}\} = \{\arg \min C[\varphi_{jt}(x_t | y_t)]\};$$

$$y_t = \{A_t; O_t; M_t\},$$

где  $\{h_{kt}\}$  – список результатов БИИ, апостериорная достоверность каждого из которых определяется значением вероятности  $P_{kt}$  ( $k$  – количество гипотез,  $t$  – момент времени из множества  $T$ );

$C$  – оптимизирующее решающее правило выбора решения  $h_{kt}$  по алгоритму  $\varphi_{jt}$  из множества алгоритмов  $\Phi_{JT}$  ( $J$  – количество алгоритмов) при наборе данных  $x_t$  из множества  $X_T$ ;

$y_t$  – условия реализации измерения, состоящие из метрологических требований  $M_t$ , априорной информации  $A_t$  и ограничений  $O_t$  из соответствующих множеств  $M_T, A_T, O_T$ ;

| – при условии;

*argmin* – оптимизация по минимуму среднего риска.

Метрологическая обеспеченность модели объекта отражается в форме кортежа комплексов метрологических характеристик (MX) в виде:

$$(2) \quad \{MX\}_{kt} = \{\xi_{kt}; V_{kt}; P_{kt}\},$$

где  $\xi_{kt}$  – точность результата БИИ;

$V_{kt}$  – надежность, определяемая по уровням ошибок 1 и 2 рода;

$P_{kt}$  – байесовская апостериорная достоверность результата БИИ.

Оценки предпочтений, полученные в «Инфоаналитике», показаны на рис.1.

Как видно по расположению вероятностей на рис.1, значение выходного параметра охватывает все пространство возможных оценок с указанием наименований лингвистических переменных.

Ранжированный ряд кандидатов выглядит следующим образом:  $U_3 > U_5 > U_2 > U_4 > U_1$ . Наибольшую вероятность высокой оценки имеет третий кандидат, следовательно, его шансы наиболее предпочтительны.

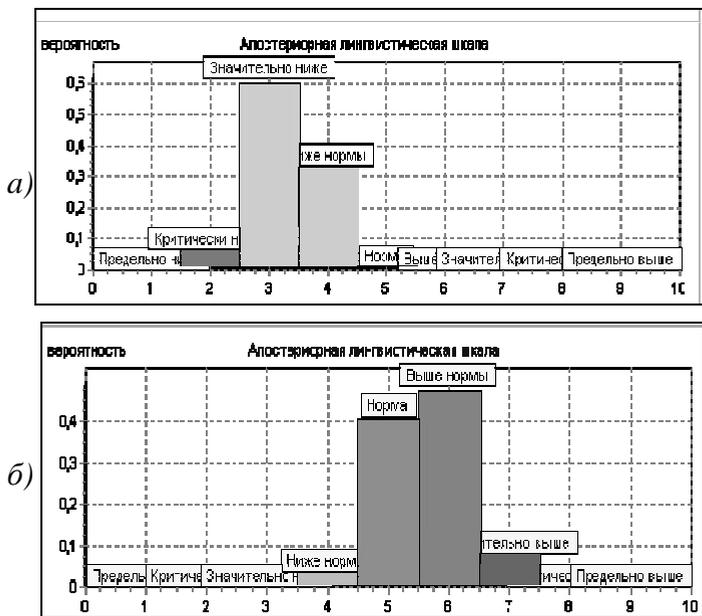


Рис.1. Шкалы вероятностей альтернативных оценок:  
 а) – первого кандидата; б) – третьего кандидата.

Программа «Инфоаналитик» выводит карту рисков решений не только для выходного параметра, но и для всех влияющих на этот параметр факторов (рис.2).

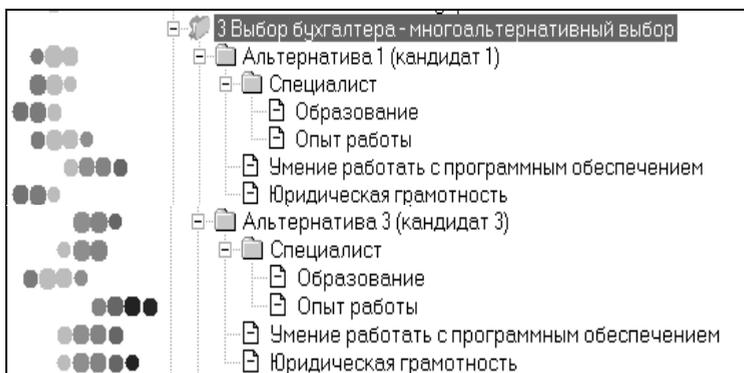


Рис.2. Карта рисков решений

Полученная карта рисков удобна для анализа и сравнения альтернатив по отдельным критериям, поскольку цветовое сопровождение указывает состояние каждого критерия на заданный момент времени.

Каждый кружок соответствует некоторой лингвистической гипотезе о состоянии фактора. Например,  в данном случае соответствуют гипотезам «Критически ниже нормы», «Значительно ниже нормы», «Ниже нормы». Размеры кружков отражают величины вероятностей соответствующих гипотез.

Все результаты, получаемые при моделировании в «Инфоаналитике», имеют соответствующее метрологическое обоснование в виде показателей: надежности, точности, достоверности и риска применения модели (рис. 3).

<b>Метрология и оценка риска моделей:</b>	
<b>Метрологические характеристики и оценка качества модели верхнего уровня:</b>	
Точность	12,5%
Достоверность	0,218
Надёжность	0,47
Риск применения модели	78,2%
<b>Метрологические характеристики и оценка качества наиболее вероятной модели:</b>	
Точность	12,5%
Достоверность	0,503
Надёжность	0,47
Риск применения модели	49,7%
<b>Метрологические характеристики и оценка качества модели нижнего уровня:</b>	
Точность	12,5%
Достоверность	0,279
Надёжность	0,47
Риск применения модели	72,1%

*Рис.3. Метрологические характеристики моделей разных уровней*

При этом «Инфоаналитик» просчитывает модели трех разных уровней: модель верхнего уровня (оптимистическая мо-

дель), наиболее вероятную модель и модель нижнего уровня (пессимистическая модель).

## 2. Оценивание по обобщенному показателю в виде полиномиальной модели

В работе [6] разработан метод извлечения и представления экспертной информации в виде аналитического выражения. Применение этого метода особенно эффективно при принятии решений в нечетком многомерном факторном пространстве, как, например, в данном конкретном случае. Для создания нечеткой модели построена опросная матрица (табл.2) и получены ответы  $Y_{\text{экс}}$  экспертной группы.

Таблица 2. Матрица опроса с оценками экспертов

№ п/п	$X_0$	Образов., $x_1$	Опыт, $x_2$	Работа с ПО, $x_3$	Юр. грамотн., $x_4$	$Y_{\text{лингв}}$	$Y_{\text{экс}}$	$Y_{\text{расч}}$
1	1	-1	-1	-1	-1	Н	0,2	0,238
2	1	1	-1	-1	-1	НС – С	0,425	0,463
3	1	-1	1	-1	-1	С	0,5	0,481
4	1	1	1	-1	-1	С – ВС	0,575	0,575
5	1	-1	-1	1	-1	НС – С	0,425	0,397
6	1	1	-1	1	-1	ВС	0,65	0,622
7	1	-1	1	1	-1	ВС	0,65	0,641
8	1	1	1	1	-1	ВС – В	0,725	0,734
9	1	-1	-1	-1	1	НС	0,35	0,303
10	1	1	-1	-1	1	С – ВС	0,575	0,528
11	1	-1	1	-1	1	С	0,5	0,547
12	1	1	1	-1	1	ВС	0,65	0,641
13	1	-1	-1	1	1	НС – С	0,425	0,463
14	1	1	-1	1	1	ВС	0,65	0,688
15	1	-1	1	1	1	ВС – В	0,725	0,706
16	1	1	1	1	1	В	0,8	0,800
центр	0	0	0	0	0	С	0,5	

В качестве выходной переменной выбрана степень соответствия кандидата предъявляемым требованиям, лингвистическое представление которой показано на рис.4.

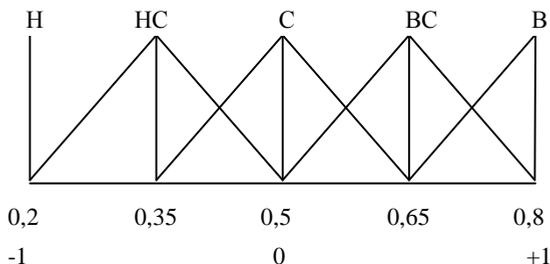


Рис.4. Степень соответствия кандидата предъявляемым требованиям: *H* – низкая; *HC* – ниже средней; *C* – средняя; *BC* – выше средней; *B* – высокая

Математической обработкой по методике [6] получено уравнение, адекватно описывающее мнение экспертов:

$$(3) Y_{расч} = 0,5516 + 0,0797 x_1 + 0,089 x_2 + 0,0797 x_3 + 0,0328 x_4 - 0,0328 x_1 x_2.$$

По кандидатам на должность бухгалтера (табл.1) в заданном факторном пространстве определены исходные кодированные (перевод в интервал [-1,+1]) значения лингвистических переменных и по ним с использованием модели (3) рассчитаны оценки потенциалов кандидатов (табл.3).

Таблица 3. Оценки потенциалов кандидатов на должность

Лингвистическая переменная	Альтернатива				
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
Образование, $x_1$	-1	+0,5	+0,25	-1	+0,5
Опыт, $x_2$	-0,5	+1	+1	+0,5	+1
Умение работать с ПО, $x_3$	+1	-1	+1	-1	-1
Юридическая грамотность, $x_4$	-1	+0,5	+1	+1	+1
$Y_{расч}$	0,477	0,583	0,841	0,530	0,673

Как следует из расчетов, наибольшим потенциалом (0,841) обладает третий кандидат, так что выводы по обоим методам совпали.

### **3. Обсуждение полученных результатов**

Факт совпадения рассчитанных оценок по кандидатам на должность бухгалтера служит обоснованной рекомендацией для ЛПР в производственном плане. Для нас же важными являются методологические аспекты проведенного исследования.

Во-первых, следует подчеркнуть, что концептуальные различия методов обуславливают их независимость, а значит объективность получаемых с их помощью рекомендаций. Сам факт совпадения выводов по двум независимым методам свидетельствует об их «правильности» и в метрологическом смысле.

Во-вторых, поскольку основной проблемой многокритериального выбора в пространстве нечетких переменных являются способы свертки информации и вычисления интегральных оценок, то оба метода в рассматриваемом ситуационном аспекте, несмотря на свои особенности, равнозначны и естественным образом дополняют друг друга. Так, БИТ-технология (рис.1, 2), позволяет ЛПР осуществить свой выбор на основе представленных пессимистической, оптимистической или наиболее вероятной оценок в зависимости от цели решения. В свою очередь, если ЛПР интересуют причины, по которым эксперты отбирают кандидатуры и насколько они весомы по приоритетам, то обобщенный показатель в виде математической модели (4) даст возможность аргументировано проанализировать их в количественном виде.

В-третьих, руководитель каждого уровня управления использует, как правило, лишь ту информацию, которая ему представляется наиболее целесообразной. При этом тонкости особенностей применяемых методов получения оценок ему малоинтересны и не всегда понятны. Но совпадение оценок по двум независимым методам обычно производят однозначно положительный эффект. Поэтому, многомодельный подход к

принятию решений выгодно, и не только на наш взгляд [4], отличается от одномодельного.

В-четвертых, применение «тандема» из предлагаемых методов имеет много преимуществ, важнейшими из которых являются: возможность интеграции разнотипной, разноточной, нечеткой и неполной информации; перевод выбора наилучшего решения из условий неопределенности в условия риска посредством обеспечения входной и выходной информации вероятностными характеристиками; представление информации в удобном для пользователя виде – карты рисков или аналитического выражения.

### **Литература**

1. АНДРЕЙЧИКОВ А.В., АНДРЕЙЧИКОВА О.Н. *Анализ, синтез, планирование решений в экономике*. М.: Финансы и статистика, 2001. – 368 с.
2. КОТЕЛЬНИКОВ В. Г, НОВОЖИЛОВ А.С. *Сравнительный анализ двух моделей принятия решений // Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям «SCM-2007», т.1. СПб.: Издво СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 25-27 июня 2007. С. 137-139.*
3. ЛУКЪЯНЕЦ А.А., ПРОКОПЧИНА С.В. *Методология поддержки решений в управлении энергоснабжающими организациями на основе регуляризирующего байесовского подхода: научно-практическое пособие*. Томск: Некоммерческий фонд развития региональной энергетики, 2006.– 196 с.
4. МИРОНОВ А.Н. *Теоретические основы и методы многомодельного прогнозирования долговечности сложных военнотехнических систем космического назначения*. Министерство обороны, 2000. – 429 с.
5. ПРОКОПЧИНА С.В., ФЕДИЧКИН А.И. *Применение байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) для оценки интегральных показателей. // Сб. докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям "SCM-2006", т.2. Санкт-Петербург, 27-29 июня 2006. С.20-22.*

6. СПЕСИВЦЕВ А.В. *Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации*. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 238 с.

## DECISION MAKING: MANY-MODEL APPROACH

**Aleksandr Spesivcev**, ZAO "TEHNOLINK", Saint-Petersburg, candidate of science (Spesivtsev@technolink.spb.ru).

**Valeriy Kotelnikov**, Saint-Petersburg State Railway Communication University, Saint-Petersburg, Doctor of Science, professor (For\_kotvaler@mail.ru).

**Aleksey Novozhilov**, Saint-Petersburg State Railway Communication University, Saint-Petersburg, post-graduate (Alexnov83@mail.ru).

*Abstract: Comparison of two conceptual differing models of taken a decision has been done on a base of Bayesian integrating technology and formalization expert information as polynomial fuzzy-model. It is shown that using of the different models of the estimation lead to confidence in rationality of taken decisions.*

Keywords: fuzzy-model, Bayesian integrating technologies, many-model approach.