Автоматика и телемеханика, № 5, 1999

УДК 519.816

**© 1999 г. А. А. АСАНОВ,
О. И. ЛАРИЧЕВ, академик РАН
(Институт системного анализа, Москва)**

ВЛИЯНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ [1]

В статье рассматривается проблема согласованности результатов применения двух систем поддержки принятия решений, основанных на методах вербального анализа решений – ЗАПРОС и ОРКЛАСС. Предложен способ оценки степени согласованности информации о значимости критериев. Проведен эксперимент, показавший, что испытуемые при работе с названными системами поддержки принятия решений показывают высокую степень согласованности результатов.

1. Введение

Компьютерные системы поддержки принятия решений (СППР) в настоящее время широко применяются в задачах индивидуального выбора. Как правило, СППР основаны на обмене информацией между компьютером и лицом, принимающим решения (ЛПР). Несомненно, что информация ЛПР оказывает существенное влияние на окончательный выбор наилучшего варианта (вариантов) решения.

Во многих методах принятия решений от ЛПР требуется такая информация, как назначение количественных весов критериев, сравнение альтернатив, имеющих оценки по многим критериям, численные оценки полезностей и вероятностей и т.д., причем эта информация рассматривается как безошибочная [1].

Исследования психологов, проведенные за последние 30 лет, показали, что проблема получения информации от ЛПР является достаточно сложной. Существуют особенности системы переработки информации человеком, которые приводят к ошибкам и противоречиям. В частности, выяснилось, что человек делает существенные ошибки, демонстрирует противоречия при назначении субъективных вероятностей [2]. Оказалось, что количественные оценки важности критериев (“веса") существенно зависят от способа их получения [3]. В экспериментах было продемонстрировано, что сравнение комбинаций событий с вероятностями часто приводит к нетранзитивности, т.е. к нарушению рациональности [2]. Многие результаты свидетельствуют о том, что человек – это не измерительное устройство, выдающее точные количественные оценки.

Признавая важность этих результатов, авторы ряда нормативных методов молчаливо предполагали, что в практических задачах человеческие ошибки мало влияют на окончательный результат. Предполагается также [4], что анализ чувствительности результатов к ошибкам ЛПР позволяет решить все проблемы. Эти предположения заслуживают тщательной проверки. Зададимся вопросом: насколько важен учет человеческих возможностей и ограничений в практических задачах принятия решений?

В работе [5] предложен новый подход к поиску ответа на этот вопрос. Идея состоит в том, чтобы взять две СППР, имеющих одинаковое теоретическое обоснование и отличающихся только способами выявления предпочтений ЛПР. Далее группа ис-

[1] Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (гранты №№ 96-15-96155 и 98-01-00086).

пытуемых решает одну задачу, используя эти СППР, после чего анализируется совпадение результатов. Если предположить существование устойчивой системы предпочтений у испытуемых, то при отсутствии ошибок ЛПР либо при незначительных ошибках результаты должны быть близкими.

Этот подход использовался в [5] для двух СППР, основанных на многокритериальной теории полезности [1] (далее мы кратко представим выводы из такого сравнения).

В данной статье этот же подход применен для двух методов вербального анализа решений – ЗАПРОС и ОРКЛАСС [6]. Мы изложим основные идеи этих методов, описание эксперимента, математический анализ полученных результатов.

2. СППР ЗАПРОС и ОРКЛАСС

СППР ЗАПРОС и ОРКЛАСС [6] являются компьютерными воплощениями одноименных методов принятия решений при многих критериях. Методы ЗАПРОС (ЗАмкнутые ПРоцедуры у Опорных Ситуаций) [7] и ОРКЛАСС (ОРдинальная КЛАССификация) [8] основаны на подходе вербального анализа решений. Несмотря на то, что первый метод предназначен для упорядочения многокритериальных альтернатив, а второй – для их классификации, они имеют общие принципы построения, которые можно представить в следующем виде.

1) Проблема принятия решений описывается на языке вербальных (словесных) оценок на порядковых шкалах критериев. Иначе говоря, дается описание, максимально приближающееся к описанию проблемы в реальной жизни. ЛПР определяет перечень критериев, по которым следует оценивать качество альтернатив. Далее по каждому из критериев дается описание различных уровней качества на естественном языке, принятом ЛПР и его окружением.

2) Выявление предпочтений ЛПР осуществляется психологически корректным способом. Иначе говоря, выбираются такие способы получения информации от ЛПР, которые получили положительные оценки в психологических экспериментах, направленных на изучение способности людей давать достаточно надежную информацию. Таким образом, способы выявления предпочтений выбираются с учетом возможностей и ограничений человеческой системы переработки информации.

3) Информация, полученная от ЛПР, подвергается проверке на непротиворечивость. Это значит, что предусмотрены специальные способы анализа информации, проверяется соответствие ответов ЛПР описанию задачи.

4) Тем или иным способом проверяется независимость части критериев от остальных. В случае выявления зависимости изменяется вербальное описание проблемы с целью достижения независимости.

5) Предусмотрена возможность получения объяснений окончательных решений на основе выявленных предпочтений ЛПР.

Перечисленные принципы означают, что методы вербального анализа решений имеют как математическое, так и психологическое обоснование.

Методы ЗАПРОС и ОРКЛАСС направлены на решение следующей задачи.

Дано: N критериев оценки альтернатив; n_i – число вербальных оценок на шкале i-го критерия; $X_i = \{x_1^i, x_2^i, \ldots, x_{n_i}^i\}$ – множество вербальных оценок на шкале i-го критерия, упорядоченных от лучшей к худшей; $Y = X_1 \times X_2 \times \cdots \times X_N$ – декартово произведение шкал оценок по критериям, определяющее все возможные альтернативы (сочетания оценок); $\{C_1, C_2, \ldots, C_m\}$ – множество классов решений, упорядоченных по предпочтению ЛПР от лучшего к худшему (только для метода ОРКЛАСС).

Требуется: упорядочить векторы $y^j \in Y$ по их общему качеству (метод ЗАПРОС) либо отнести их к упорядоченным по качеству классам решений $C_1 \dots C_m$ (метод ОРКЛАСС).

Заметим, что в известных вариантах метода ЗАПРОС ранжируется только подмножество заданных альтернатив. Но ничто не мешает считать, что это множество совпадает с Y.

Последовательность решения задач в СППР ЗАПРОС и ОРКЛАСС можно представить в виде следующей совокупности этапов.

А) Описание проблемы в виде совокупности критериев с порядковыми вербальными шкалами вводится в компьютер. В СППР ОРКЛАСС вводятся также упорядоченные по качеству классы решений со словесным описанием.

Б) Выявление предпочтений ЛПР в СППР ЗАПРОС осуществляется путем сравнения понижений (или повышений) качества на шкалах двух критериев при предположении, что по всем прочим критериям имеются лучшие (или худшие) оценки. Такой способ получения информации был проверен в экспериментах и в работе с ЛПР [7]. В СППР ОРКЛАСС ЛПР предъявляются описания объекта (вектор y^j) и классов решений. Задача ЛПР – отнести это описание к одному из классов. Такой способ получения информации также получил оценку в психологических экспериментах [8].

В) Полученная информация проверяется на непротиворечивость. В СППР ОРКЛАСС проверяется согласованность порядковости оценок и классификации объектов. В СППР ЗАПРОС проверка осуществляется за счет значительного дублирования информации.

Г) В СППР ЗАПРОС выходом является единая порядковая шкала (ЕПШ) критериев, при помощи которой сравниваются векторы y^j. В СППР ОРКЛАСС выходом является совокупность векторов, представляющих границы между классами решений.

3. Сравнение СППР ЗАПРОС и ОРКЛАСС

Хотя две представленные выше СППР имеют различные выходы, имеется возможность их сравнения. Мы предполагаем, что ЛПР при решении предложенных задач сознательно или бессознательно использует свое представление о взаимной относительной важности критериев. Под важностью (значимостью) критерия мы понимаем его вклад в совокупную оценку качества альтернативы. Таким образом, мы хотим сначала извлечь информацию об относительной значимости критериев, используя методы ЗАПРОС и ОРКЛАСС, а затем сравнить полученные упорядочения критериев по важности.

3.1. Определение относительной значимости критериев на основе метода ЗАПРОС. Результатом работы метода ЗАПРОС является построение ЕПШ. На этой шкале по важности для ЛПР упорядочены оценки всех шкал всех критериев. При помощи ЕПШ можно сравнить альтернативы вида: $\widetilde{y}^j = \left(x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^{j-1}, x_{n_j}^j, x_1^{j+1}, \dots, x_1^N\right)$, т.е. по всем критериям, кроме j-го, – наилучшие оценки, а по j-му – наихудшая. При построении ЕПШ ЛПР попарно сравнивает между собой все такие альтернативы $\widetilde{y}^j$ $\left(j = \overline{1, N}\right)$. Действительно, в любой паре альтернативы отличаются оценками ровно по двум критериям.

Пусть с точки зрения ЛПР альтернатива $\widetilde{y}^j$ менее предпочтительна чем $\widetilde{y}^k$. Возьмем как точку отсчета вектор со всеми наилучшими оценками (альтернативу с наибольшим совокупным качеством). Тогда максимальное ухудшение оценки по j-му критерию сильнее сказывается на совокупном качестве альтернативы по сравнению с аналогичным ухудшением оценки по k-му критерию. Это, естественно, позволяет нам считать, что критерий j более значим нежели критерий k. Если же альтернативы $\widetilde{y}^j$ и $\widetilde{y}^k$ равно предпочтительны для ЛПР, то и соответствующие критерии j и k будем считать одинаково значимыми.

Полученные попарные сравнения значимости критериев удовлетворяют условию транзитивности, так как проверка транзитивности производится при построении ЕПШ. Условие, что критерий j более значим чем критерий k ($\widetilde{y}^k$ предпочтительней $\widetilde{y}^j$) равносильно тому, что на ЕПШ оценка $x^k_{n_k}$ более предпочтительна чем оценка $x^j_{n_j}$. Аналогично, равная значимость критериев j и k равносильна эквивалентности по предпочтению оценок $x^j_{n_j}$ и $x^k_{n_k}$ на ЕПШ. Сравнивая полные изменения качества вдоль шкал критериев (Swing Method [4]) можно упорядочить критерии по важности. При построении ЕПШ осуществляется достаточно полная проверка условия независимости по предпочтению. В случае зависимости критериев изменяется вербальное описание проблемы [6].

3.2. Определение относительной значимости критериев на основе метода ОРКЛАСС. Упорядочение критериев по важности при применении метода ОРКЛАСС основано на анализе смежных границ классов. Будем предполагать, что метод ОРКЛАСС применяется при независимости критериев по предпочтению, т.е. для любой пары критериев i и j предпочтение между альтернативами, различающимися оценками только по критериям i и j, не зависит от значений совпадающих оценок по оставшимся критериям. Дадим следующие определения.

Определение 1. *Будем говорить, что вектор $y^i \in Y$ доминирует по предпочтению вектор $y^j \in Y$ ($y^i \succ y^j$), если оценка вектора y^i по любому критерию не менее предпочтительна чем оценка вектора y^j по этому критерию, и по крайней мере, по одному критерию y^i имеет более предпочтительную оценку.*

Определение 2. *Множество недоминируемых в C_i векторов $C_i^U = \{v \in C_i \,|\, \forall w \in Y \ w \succ v \Rightarrow w \notin C_i\}$ назовем верхней границей класса C_i. Аналогично, множество недоминирующих в C_i векторов $C_i^L = \{v \in C_i \,|\, \forall w \in Y \ v \succ w \Rightarrow w \notin C_i\}$ назовем нижней границей класса C_i.*

Мы будем рассматривать всевозможные пары границ C_j^L и C_{j+1}^U, т.е. нижнюю границу класса C_j и верхнюю границу класса C_{j+1}. Найдем все пары векторов $y' \in C_j^L$ и $y'' \in C_{j+1}^U$, удовлетворяющие следующим условиям:

а) y' и y'' различаются оценками ровно по двум критериям – p и q;

б) y' и y'' не связаны отношением доминирования по предпочтению;

в) оценки векторов y' и y'' по критериям p и q являются лучшими или худшими на шкалах критериев p и q.

Иначе говоря, векторы должны иметь вид: $y' = (\dots, x_1^p, \dots, x_{n_q}^q, \dots)$, $y'' = (\dots, x_{n_p}^p, \dots, x_1^q, \dots)$ (здесь для определенности $p < q$).

Для каждой таким образом найденной пары можно сделать вывод о соотношении между значимостями критериев p и q. Действительно, возьмем вектор $y = (\dots, x_{n_p}^p, \dots, x_{n_q}^q, \dots)$. Теперь, улучшая его оценку по p-му критерию с $x_{n_p}^p$ до x_1^p, мы получаем вектор y', принадлежащий классу C_j. В то же время, улучшая оценку по q-му критерию с $x_{n_q}^q$ до x_1^q, мы получаем вектор y'', принадлежащий классу C_{j+1}. В первом случае изменение оценки привело к большему улучшению совокупного качества, чем во втором, так как класс C_j более предпочтителен для ЛПР чем класс C_{j+1}. На этом основании мы делаем вывод о том, что критерий p имеет большую значимость, чем критерий q.

Как отмечалось выше, результатом применения СППР ОРКЛАСС является классификация всех возможных альтернатив. Может оказаться, что на смежных границах классов не существует ни одной такой пары векторов y', y''. Кроме того, возможны случаи, когда существуют две пары векторов, одна из которых указывает на то, что критерий p важнее критерия q, а другая – свидетельствует об обратном соотношении. В методе ОРКЛАСС отсутствует возможность выявления таких противоречий. Предусматривается лишь проверка на противоречия более явного характера: противоречия между упорядоченностью оценок по критериям и упорядоченностью классов решений. Следовательно, при применении метода ОРКЛАСС возможны следующие случаи:

1. В упорядочении критериев по важности (на основе векторов y', y'') нет противоречий.

2. В упорядочении критериев встречается малое число противоречий (в нашем случае одно или два). Предполагая, что они свидетельствуют о близости критериев по важности, можно принять, что такие пары критериев имеют равную важность.

3. Имеется большое число противоречий. В этом случае мы считаем, что ЛПР не имел достаточно устойчивой политики при построении классификации и сравнение результатов работы методов ЗАПРОС и ОРКЛАСС невозможно.

4. Упорядочить критерии по важности невозможно ввиду отсутствия пар векторов y', y''.

3.3. Сравнение отношений значимости критериев. Предположим, что имеется возможность получить с помощью методов ОРКЛАСС и ЗАПРОС два упорядочения критериев по важности. Как уже отмечалось, только упорядочение, полученное из метода ЗАПРОС, является полным, т.е. любые два критерия сравнимы между собой. В случае упорядочения, построенного на основе метода ОРКЛАСС, могут быть неупорядоченные пары критериев. Необходимо теперь измерить степень соответствия между этими двумя упорядочениями или, другими словами, построить соответствующий коэффициент корреляции. В книге [9] излагается методика вычисления коэффициента ранговой корреляции τ, которая, однако, применима только для случая линейных упорядочений. В связи с этим, необходимо обобщить метод измерения корреляции на случай частичных упорядочений. Будем обозначать новый коэффициент корреляции также τ, так как он будет совпадать с коэффициентом корреляции Кендэла в случае линейных упорядочений.

Определение 1. *На множестве из N объектов $M = \{1, \dots, N\}$ заданы антирефлексивное асимметричное отношение превосходства P, рефлексивное симметричное отношение безразличия I так, что для любых i, $j \in M$ имеет место ровно одно из следующих отношений*: 1) iPj (*или* $jP^{-1}i$) *– i превосходит j*; 2) jPi (*или* $iP^{-1}j$) *– j превосходит i*; 3) iIj *– i и j равнозначны*; 4) *i и j несравнимы.*

Если, кроме того, имеют место свойства транзитивности, т.е. для любых i, j, $k \in M$: 1) iPj, $jPk \Rightarrow iPk$; 2) iIj, $jIk \Rightarrow iIk$; 3) iPj, $jIk \Rightarrow iPk$; 4) iIj, $jPk \Rightarrow iPk$, *то мы имеем частичное упорядочение на множестве M.*

Определение 2. *Частичное упорядочение называется рангом* (*линейным упорядочением*), *если любая пара объектов в нем сравнима.*

Дано: множество из N объектов (критериев) – $M = \{1, \dots, N\}$; два частичных упорядочения на множестве объектов M: $\Phi = \Phi\{M, P_\Phi, I_\Phi\}$ и $\Psi = \Psi\{M, P_\Psi, I_\Psi\}$, где P_Φ, I_Φ – соответственно отношения превосходства и безразличия в частичном упорядочении Φ, а P_Ψ, I_Ψ – отношения превосходства и безразличия в частичном упорядочении Ψ.

Требуется: построить меру соответствия (коэффициент корреляции) частичных упорядочений Φ и Ψ: $\tau(\Phi, \Psi)$ со следующими свойствами: 1) $\tau(\Phi, \Psi) = \tau(\Psi, \Phi)$; 2) в случае, когда Φ и Ψ – ранги, $\tau(\Phi, \Psi)$ совпадает с коэффициентом ранговой корреляции Кендэла [9]; 3) если в одном из частичных упорядочений существует пара объектов i, $j \in M$ такая, что iPj, и для любой пары k, $\ell \in M : kP_\Phi\ell \Leftrightarrow kP_\Psi\ell$, то $\tau(\Phi, \Psi) = 1$; 4) если в одном из частичных упорядочений существует пара объектов i, $j \in M$ такая, что iPj, и для любой пары k, $\ell \in M : kP_\Phi\ell \Leftrightarrow \ell P_\Psi k$, то $\tau(\Phi, \Psi) = -1$.

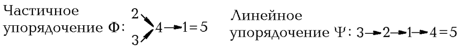
Построение. Обозначим: p – количество пар $i,\ j \in M$ таких, что $iP_\Phi j$ и $iP_\Psi j$; q – количество пар $i,\ j \in M$ таких, что $iP_\Phi j$ и $jP_\Psi i$; t_Φ – количество пар $i,\ j \in M$, $i \neq j$, сравнимых в Ψ и таких, что $iI_\Phi j$; t_Ψ – количество пар $i,\ j \in M$, $i \neq j$, сравнимых в Φ и таких, что $iI_\Psi j$; n – количество пар $i,\ j \in M$, $i \neq j$, одновременно сравнимых в Φ и Ψ.

Тогда:

$$\tau(\Phi,\Psi) = \begin{cases} \dfrac{p-q}{\sqrt{(n-t_\Phi)(n-t_\Psi)}}, & \text{если} \quad n \neq t_\Phi \quad \text{и} \quad n \neq t_\Psi; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Пример 1:

$M = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
($\mathbf{X} \to \mathbf{Y} : X$ предпочтительнее Y, $\mathbf{X} = \mathbf{Y} : X$ и Y равнозначны)



№ объекта

Φ	1	2	3	4	5
1					
2	P				
3	P				
4	P	P^{-1}	P^{-1}		
5	I	P^{-1}	P^{-1}	P^{-1}	

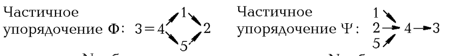
№ объекта

Ψ	1	2	3	4	5
1					
2	P				
3	P	P			
4	P^{-1}	P^{-1}	P^{-1}		
5	P^{-1}	P^{-1}	P^{-1}	I	

$p = 6, \quad q = 1, \quad t_\Phi = 1, \quad t_\Psi = 1, \quad n = 9;$
$\tau(\Phi,\Psi) = 0{,}625.$

Пример 2:

$M = \{1, 2, 3, 4, 5\}$



№ объекта

Φ	1	2	3	4	5
1					
2	P^{-1}				
3	P	P			
4	P	P	I		
5		P	P^{-1}	P^{-1}	

№ объекта

Ψ	1	2	3	4	5
1					
2					
3	P^{-1}	P^{-1}			
4	P^{-1}	P^{-1}	P		
5			P	P	

$p = 0, \quad q = 6, \quad t_\Phi = 1, \quad t_\Psi = 0, \quad n = 7;$
$\tau(\Phi,\Psi) = -0{,}926.$

Упорядочение критериев по важности на основе метода ЗАПРОС является рангом (линейным упорядочением), а на основе метода ОРКЛАСС – частичным упорядочением. Поэтому мы можем теперь сравнить между собой отношения значимости критериев, полученные исходя из методов ЗАПРОС и ОРКЛАСС, и вычислить количественную меру близости, следуя изложенной процедуре.

4. Эксперимент

Задача, которая была положена в основу эксперимента, состояла в оценке предполагаемого места дополнительной работы для студентов. Описание альтернатив, подлежащих оценке, состояло из 5 критериев. Использованные в методе ЗАПРОС критерии и оценки на их шкалах приведены в Приложении. В методе ОРКЛАСС критерии были теми же самыми, но число градаций по каждому критерию составляло 2, а именно это были первая и последняя оценки из соответствующих шкал, использованных в методе ЗАПРОС. Предлагаемые описания мест работы следовало отнести к одному из 3 классов: "хорошая работа", "приемлемая работа" и "плохая работа".

В качестве испытуемых мы взяли группу из 27 человек – студентов 4-го курса Московского физико-технического института. Эксперимент был проведен как лабораторная работа в рамках курса "Теория и методы принятия решений". Предложенные задачи решались испытуемыми на персональных компьютерах в среде программных систем, реализующих методы ЗАПРОС и ОРКЛАСС. Каждому из студентов предлагалось последовательно решить две задачи: построить ЕПШ методом ЗАПРОС и классифицировать предъявляемые альтернативы по трем категориям качества методом ОРКЛАСС. Перед началом эксперимента испытуемых инструктировали трактовать предлагаемые ситуации с точки зрения их собственных предпочтений и пожеланий в выборе места работы. Порядок, в котором решались задачи, был произвольным.

Студентам-старшекурсникам понятна и близка такая задача; есть основания полагать, что они неоднократно над ней задумывались до эксперимента. Поэтому можно было ожидать, что у испытуемых сформирована система предпочтений – образ "хорошего" места работы, т.е. такого, куда они реально хотели бы устроиться. Характеристикой этого образа является, в частности, упорядочение критериев, описывающих место работы, по важности. Суть эксперимента состояла в том, чтобы для каждого испытуемого подсчитать коэффициент корреляции двух упорядочений критериев, находимых методами ЗАПРОС и ОРКЛАСС. На основании этих данных вычислялся групповой коэффициент корреляции. Полученный результат проверялся на статистическую значимость.

Испытуемые работали с каждым из методов без перерывов, в среднем затраченное время составляло 10,2 мин на метод ЗАПРОС и 9,6 мин на метод ОРКЛАСС. Это цифры практически полностью состоят из времени, затраченного испытуемыми на размышление, так как ввод ответов в ЭВМ и работа алгоритмов занимают пренебрежимо малое время. Задача, предложенная в методе ОРКЛАСС, оказалась очень легкой для опрашиваемых (только один из них допустил противоречие в ее решении). Используя метод ЗАПРОС, испытуемые совершали в среднем по 1,7 ошибок, которые были устранены при помощи возможностей анализа, предоставляемых этим методом.

Проиллюстрируем полученные данные на примере одного из испытуемых. Результатом его работы с методом ЗАПРОС явилась приведенная ниже ЕПШ, построенная у опорной ситуации со всеми лучшими оценками [7]. Здесь перечислены оценки по критериям (см. Приложение); группа 1 означает наибольшую привлекательность для испытуемого, группа 7 – наименьшую, внутри каждой группы оценки одинаково привлекательны.

Группа	1	2	3	4	5	6	7
Оценки	1б, 4б, 5б	3б	1в, 4в, 5в	2б	1г	2в, 3в	3г

После классификации альтернатив методом ОРКЛАСС были построены такие границы между классами качества (элементы границ представлены в виде векторов, где 1 означает лучшую оценку по критерию, а 2 – худшую):

“Хорошая работа”		“Приемлемая работа”		“Плохая работа”	
верхняя	нижняя	верхняя	нижняя	верхняя	нижняя
11111	21112, 21121, 12111, 11211	12121, 11221, 12112, 11212, 11122, 12211, 21211, 22111	12122, 11222, 12212, 21212, 21122, 22112, 22121, 21221	22122, 12221, 21222, 22211	22222

Далее, следуя изложенной методике, по этим данным были построены упорядочения Φ (для метода ОРКЛАСС) и Ψ (для метода ЗАПРОС). Эти упорядочения, а также подсчитанный коэффициент корреляции между ними, приведены в примере 1 предыдущего раздела.

5. Обработка результатов

По результатам работы с методом ОРКЛАСС были отобраны 23 (85%) испытуемых, успешно справившихся с задачей. Остальные показали результаты, на основе которых оказалось невозможным построить упорядочение критериев по важности, следуя процедуре, описанной выше. В частности, для двух человек построенные границы не содержали пар элементов, указывающих на соотношения важности критериев. Еще для двух испытуемых построенные упорядочения оказались полностью противоречивыми.

Для каждого из оставшихся испытуемых, согласно приведенной выше методике, были сформированы 2 упорядочения критериев по важности – частичное (на основе метода ОРКЛАСС) и линейное (на основе метода ЗАПРОС). Затем были подсчитаны коэффициенты корреляции рангов по методу, описанному выше.

Обозначим полученные коэффициенты, как τ_i, где $i = \overline{1, n}$ и $n = 23$. Чем лучше соответствуют друг другу (в указанном смысле) выходы методов ЗАПРОС и ОРКЛАСС, тем ближе значения τ_i должны быть 1. В случае, когда τ_i приблизительно равно 0, корреляция отсутствует. Наконец, если τ_i близко к -1, выходы двух методов противоречат друг другу.

Используем модель

$$\tau_i = \Theta + e_i,$$

где Θ – систематическое смещение, e_i – ненаблюдаемая случайная величина, причем все $e_1 \ldots e_n$ независимы в совокупности и извлечены из совокупности, симметричной относительно нуля.

Будем проверять нулевую гипотезу

$$H_0 : \Theta = 0.$$

Построим статистику (групповой коэффициент корреляции):

$$T^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \tau_i.$$

Таким образом, односторонний критерий против альтернативы $\Theta > 0$ на уровне значимости α таков: отклонить H_0, если $T^* \geqslant T(\alpha, n)$, принять H_0, если $T^* < T(\alpha, n)$, где $T(\alpha, n)$ – постоянная, при справедливости гипотезы H_0 удовлетворяющая уравнению

$$P\{T^* > T(\alpha, n)\} = \alpha.$$

Рассмотрим теперь $\Omega^{(5)}$ – множество всевозможных частичных (в частности, и линейных) упорядочений множества из 5 объектов (в нашем случае критериев). Введем случайную величину $E^{(5)}$, равную коэффициенту корреляции произвольной пары упорядочений из множества $\Omega^{(5)}$. Нами было подсчитано точное распределение случайной величины $E^{(5)}$ при условии, что все пары упорядочений равновероятны. Так, оказалось, что математическое ожидание $M_E = 0$ и дисперсия $D_E = 0{,}456$.

Описанные выше e_i являются реализациями случайной величины $E^{(5)}$. Так как n в нашем случае достаточно велико, можно считать, что статистика

$$E^* = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i$$

распределена нормально с математическим ожиданием M_E и дисперсией D_E/n. Поэтому в качестве $T(\alpha, n)$ мы можем взять обратное накопленное нормальное распределение с параметрами $(M_E, D_E/n)$, т.е.

$$T(\alpha, n): \int\limits_{T(\alpha,n)}^{\infty} e^{-\frac{n(x-M_E)^2}{2D_E}}\,dx = \alpha.$$

В нашем случае $T^* = 0{,}618$ в то время, как при уровне значимости $\alpha = 0{,}01$ $T(\alpha, n) = 0{,}327$. Таким образом, мы имеем право отвергнуть нулевую гипотезу в пользу вывода о том, что корреляция между выходами методов ЗАПРОС и ОРКЛАСС является положительной и существенной, т.е. испытуемые при работе с разными методами показывают существенное сходство формируемых упорядочений критериев по значимости. Полученные данные представлены в приведенной ниже таблице (в первой строке указаны интервалы значений коэффициента корреляции τ, а во второй – количество испытуемых, показавших соответствующий результат).

Интервал значений τ	$[-1 \ldots -0{,}5)$	$[-0{,}5 \ldots -0{,}25)$	$[-0{,}25 \ldots 0)$	$[0 \ldots 0{,}25)$	$[0{,}25 \ldots 0{,}5)$	$[0{,}5 \ldots 0{,}75)$	$[0{,}75 \ldots 1]$
Количество испытуемых	0	1	1	3	2	3	13

Таким образом, для 13 испытуемых (57%) коэффициент корреляции построенных упорядочений превышает 0,75 (притом, что 1 означает полную положительную корреляцию).

6. Результаты сравнения СППР DECAID и LOGICAL DECISION

В работе [5] приведены результаты подобного эксперимента по сравнению двух СППР: DECAID [10] и LOGICAL DECISION [11], основанных на многокритериальной теории полезности – MAUT [1]. Прежде всего следует отметить, что эти две СППР существенно ближе друг к другу по выходу (чем СППР ЗАПРОС и ОРКЛАСС): обе они направлены на получение количественной оценки полезности для любой альтернативы (любого вектора y^j) и используют аддитивное представление полезности в виде взвешенной суммы оценок критериев

$$U(y^j) = \sum_{i=1}^{N} w_i u_i(y_i^j),$$

где $U(y^j)$ – полезность многокритериальной альтернативы; w_i – количественный вес i-го критерия; $u_i(y_i^j)$ – полезность оценки по i-му критерию.

Две СППР отличаются способом выявления весов и построения функций полезности по отдельным критериям. СППР Logical Decision (LD) следует полностью основной схеме MAUT, подробно представленной в [1]. Это значит, что веса определяются путем нахождения точек безразличия на плоскостях пар критериев, а однокритериальные функции полезности строятся путем сравнения лотерей (см. детали в [1]). В СППР DECAID (D) веса назначаются ЛПР графическим способом, путем указания на экране отрезков линии, соответствующих важности критериев. Также графическим путем устанавливаются полезности каждой альтернативы по отдельному критерию.

В экспериментах группа испытуемых (студентов американского университета Texas A&M University) оценивала пять альтернатив, представляющих собой описание различных мест работы. Альтернативы имели оценки по 4 критериям: зарплата, местоположение, предлагаемая должность, возможности роста. Первичные оценки были даны в виде словесных определений (кроме зарплаты).

В результате эксперимента оказалось возможным сравнить совпадение ответов испытуемых по упорядочению пяти альтернатив, по весам критериев и оценкам альтернатив, полученным с помощью LD и D. Статистическая обработка проводилась с помощью пакета ANOVA.

Анализ показал, что при использовании двух СППР группа испытуемых имела различные оценки полезности альтернатив. Были существенные отличия в количественных весах критериев и оценках альтернатив по критериям. Для группы в целом только по одному критерию (предлагаемая должность) оценки важности оказались достаточно близки. Только для одного критерия (местоположение) были достаточно близки оценки альтернатив. В целом корреляция выходов двух СППР не была статистически значимой.

Особый интерес представляло сравнение LD и D с СППР ЗАПРОС. Первичное словесное описание оценок альтернатив в виде трех упорядоченных оценок на шкалах по 3 критериям и 3 уровням оценки зарплаты использовались СППР ЗАПРОС для выявления предпочтений. Сравнение худших оценок по критериям с помощью ЕПШ позволило получить упорядочение критериев по важности. С помощью ЕПШ сравнивались пять заданных альтернатив.

Следует напомнить, что СППР ЗАПРОС в общем случае не позволяет строго ранжировать альтернативы; некоторые из них могут оказаться несравнимыми, так как информации ЛПР недостаточно для их сравнения. Поэтому сравнение LD и ЗАПРОС, D и ЗАПРОС было возможно лишь для тех альтернатив, отношения между которыми можно было выявить системой ЗАПРОС. Оказалось, что для этих альтернатив корреляция результатов для пар СППР LD-ЗАПРОС и D-ЗАПРОС статистически значима.

7. Обсуждение

Полученные результаты позволяют утверждать, что упорядочение критериев по важности, производимое в явной либо неявной форме в методах ЗАПРОС и ОРКЛАСС, хорошо согласовано. Заметим, что оба метода используют информацию качественного порядка: сравнение альтернатив, отнесение альтернатив к классам решений. “Мягкие”, качественные измерения, выполняемые ЛПР в рамках двух различных по выходу СППР, позволяют получить близкие результаты. Напротив, количественные измерения не позволяют получить согласованные результаты при применении двух СППР, имеющих одно методологическое обоснование.

Эти выводы заставляют задуматься о возможностях ЛПР выполнять те или иные операции по переработке информации.

Как известно, любой прибор имеет определенную точность измерения. По аналогии с этим можно утверждать, что возможности человека производить точные количественные измерения ограничены. Человек не представляет собой весы, стрелка которых указывает на количественное значение полезности (вес критерия, оценки альтернатив, вероятности). Нет, эти весы имеют существенные дефекты. Пусть мы “взвешиваем"несколько предметов и пытаемся найти самый легкий (тяжелый). При близких по весу предметах и ненадежных весах даже небольшие ошибки при повторных взвешиваниях приводят к различным результатам. Точно так же, методы, использующие количественные оценки ЛПР, дают различные результаты при сравнительно небольших изменениях в оценках альтернатив по критериям, в оценках вероятностей, коэффициентов важности критериев и так далее.

К сожалению, в этой ситуации не помогает анализ чувствительности [4]. Действительно, при предположении, что человек может ошибиться в любом измерении (и мы не знаем насколько), такой анализ приводит к выводу, что любой результат (для альтернатив, принадлежащих множеству Парето) возможен.

Где же выход из положения? Он состоит в переходе к психологически корректным способам выявления предпочтений ЛПР. Под психологически корректными мы понимаем [6] такие операции получения информации от ЛПР, использование которых приводит к согласованным, непротиворечивым результатам. Анализ многочисленных операций получения информации от ЛПР [6] показал, что такие способы существуют. Как правило, они сводятся к операциям не количественного, а качественного характера типа сравнения, отнесения к классу, упорядочения. Такие “мягкие” измерения гораздо более надежны, что показывают как результаты данной работы, так и статьи [5].

Вернемся к аналогии с весами. Если мы имеем весьма неточные весы, то лучше не пользоваться гирями, а положить на чаши весов два объекта и делать заключения о превосходстве одного над другим по весу, если это превосходство явное и подтверждается повторными измерениями.

Вербальный анализ решений [6] основан на психологически корректных способах измерений. Платой за это является существенно меньшая “разрешающая способность” методов и СППР вербального анализа решений. Например, не все альтернативы можно сравнить, нельзя в общем случае получить строгое ранжирование альтернатив при помощи СППР ЗАПРОС.

При этом возникает вопрос: что лучше? Лучше ли иметь точный выход СППР (количественные оценки, строгое ранжирование), но весьма ненадежный, или иметь приближенный выход (разбиение альтернатив на классы, частичное ранжирование), но надежный и проверенный?

На наш взгляд, второй вариант явно предпочтительнее. Его преимущество становится очевидным на практике, в ответственных реальных задачах, для решения которых и создаются СППР.

Авторы благодарят канд. физ.-мат. наук Д. С. Шмерлинга за ценные замечания и предложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Критерии и градации на шкалах критериев, которые применялись при работе испытуемых с методом ЗАПРОС в задаче оценивания предполагаемого места работы:
1. Характер работы:

а) работа имеет творческий элемент и по специальности;

б) работа, не по специальности, но интересная;

в) работа, в основном, чисто техническая;

г) рутинная, неинтересная и тяжелая работа.

2. Занятость на работе:
   а) собственный график занятости;
   б) работа допоздна, но субботы и воскресенья свободны;
   в) работа допоздна, часто заняты выходные.
3. Оплата труда:
   а) больше $300;
   б) от $200 до 300;
   в) от $100 до 150;
   г) меньше $100.
4. Время в пути до места работы:
   а) менее получаса;
   б) около часа;
   в) более полутора часов.
5. Перспективы роста:
   а) есть большие перспективы роста;
   б) перспективы роста удовлетворительные;
   в) возможность роста невелика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кини Р., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
2. Judgement under uncertainty: heuristics and biases / Eds Kahneman D., Slovic P., Tversky A. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
3. *Borcherding K., Schmeer S., Weber M.* Biases in multiattribute weight elicitation // Contributions to Decision Research / Eds J. P. Caverni, M. Bar-Hillel, F. N. Barron, H. Jungermann. North-Holland, 1993.
4. *von Winterfeldt D., Edwards W.* Decision analysis and behavioral research. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
5. *Larichev O. I., Olson D. L., Moshkovich H. M., Mechitov A. J.* Numerical vs cardinal measurements in multiattribute decision making: how exact is enough? // Organizational behavior and human decision processes. J. 1995. V. 64. No. 1. October. P. 9–21.
6. *Ларичев О. И., Мошкович Е. М.* Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. М.: Наука, 1996.
7. *Ларичев О. И., Зуев Ю. А., Гнеденко Л. С.* Метод ЗАПРОС (ЗАмкнутые ПРоцедуры у Опорных Ситуаций) для анализа вариантов сложных проблем // Многокритериальный выбор при решении слабо структурированных проблем / Под ред. С. В. Емельянова. М.: Труды ВНИИСИ № 5, 1978.
8. *Ларичев О. И., Мошкович Е. М.* Метод непосредственной классификации и проблемы получения надежной экспертной информации // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1987. № 1. С. 151–161.
9. *Кендэл М.* Ранговые корреляции. М.: Статистика, 1975.
10. *Pitz G. F.* DECAID computer program. Carbondale, IL: University of Southern Illinois, 1987.
11. *Smith G. R., Speiser F.* Logical Decision: multi-measure decision analysis software. Golden, CO: PDQ Printing, 1991.

Поступила в редакцию 21.09.98