УДК 681.325.67(075.8)

А. А. Добряков, В. И. Майорова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОГО ПОДХОДА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОБУЧАЮЩИХСЯ

Рассмотрены вопросы применения теории нечетких множеств для формирования критериев оценки специалистов при приеме на работу и абитуриентов при отборе в вуз, а также для предварительной оценки их профессионально-значимых личностных качеств. Способ формализованного описания параметров задачи, а именно нечеткой проблемы, позволяет при использовании специальных нечетких метрик получать формально обоснованные решения, учитывающие влияние и количественных, и качественных факторов, необходимых экспертам для принятия обоснованных решений.

Образование является важнейшей разновидностью социально-экономической системы, отвечающей за сохранение и воспроизводство интеллектуального потенциала нации. Реализуемая в настоящее время человекоцентристская концепция образования требует разработки новых подходов к управлению образовательными системами и нового инструментария для оценки качества содержания образования, личности обучаемых и специалистов как важнейших субьектов образовательной системы.

Современный рынок труда и изменившиеся условия производства предъявляют к выпускникам вузов ряд новых требований: способность самостоятельно решать не только технические, но и организационно-экономические проблемы; умение адекватно представить результаты своего труда; обладать навыками делового общения, управлять персоналом и другие. Стоимость неправильного решения, принятого техническим специалистом, менеджером или экспертом, сегодня высока как никогда.

В связи с этим высокую эффективность приобретает личностно-ориентированная модель подготовки специалистов, что в свою очередь приводит к необходимости совершенствования общей методологии отбора абитуриентов высшими техническими учебными заведениями, подбора кадров для предприятий, организаций, компаний, а также предварительной оценки их профессионально-значимых качеств на базе широкого использования современного математического аппарата. Применение математических концепций в данном виде деятельности требует большей формализации многих традиционно сложившихся представлений. Однако в процессе принятия решения приходится решать и нечетко определенные, и не схематизированные задачи, которые не могут быть формализованы полностью из-за наличия в их составе качественных факторов. Это вызвано тем, что не все требования, предъявляемые к абитуриенту, студенту, специалисту могут быть выражены в виде количественных соотношений. Кроме того, между рядом неформальных параметров, определяющих характеристики личности обучаемого, как правило, не удается установить точных взаимосвязей.

Для повышения объективности принимаемых решений целесообразно использовать автоматизированный комплекс средств поиска рациональных решений, которые в своем составе помимо традиционных (четких) способов описания характеристик, содержат и нечеткие формы представления значений неформальных параметров (качественных факторов). С помощью нечетких описаний информация, не выражаемая численно, может быть использована в расчетных алгоритмах именно в том виде, в котором она реально существует. Благодаря этому процессы интуитивной (неформальной) и численной (формальной) оптимизации удается объединить в единую процедуру и тем самым обеспечить возможность взаимной компенсации недостатков одного оптимизационного процесса преимуществами другого. При решении задачи лицо, принимающее решение (ЛПР), имеет дело с формально не определенными связями, неметрическими признаками, качественными критериями, а также с неформальным описанием требований отбора. Зачастую имеет место пограничная ситуация, требующая учета как формальных, так и неформальных факторов в их совокупности. В тех случаях, когда одна часть составляющих многокомпонентного задания имеет количественный, а другая качественный, но в то же время формальный характер, задача может быть отнесена к классу формально разрешимых в определенном смысле. Для решения нечетко определенных и не полностью схематизированных (нешаблонных) задач помимо выполнения чисто вычислительных процедур требуется еще и применение приемов неформального анализа. Эффективность поиска при решении задач такого класса связана с возможностью формального представления наиболее характерных особенностей, таких, как: неопределенность исходных данных, критериев отбора и самого процесса поиска решения, неформализуемость условий, ограничений, целей отбора, многокритериальность и многовариантность задачи.

Если поиск решения задачи ведется при условии сохранения имеющегося уровня неопределенности, то и окончательную цель не имеет смысла точно фиксировать. В соответствии с этим формальное описание цели разрешаемой проблемной ситуации, а также значения качественных факторов, выражаемые в терминах цели, можно представить в виде нечетко определенных предпочтений, например, "знаний", "умений", "навыков" и т.д. Такое представление гораздо проще, чем задание четкой целевой функции, так как в этом случае требуется не численная оценка конечного результата, а лишь качественное ранжирование. Способ формализованного описания параметров задачи, являясь более общим по своей природе, и в то же время более простым с логической точки зрения, позволяет при использовании специальных нечетких метрик получать формально обоснованные решения, учитывающие влияние и количественных, и качественных факторов.

В общем случае формализованное описание нечеткой проблемной ситуации может быть представлено в виде структуры $(\Pi, T, C|A_{\text{ТЗ}}, A, O, X, L, Y)$, где $\Pi = (\Pi_1, \ldots, \Pi_n)$ — множество условий (ситуаций), определяющих характер решаемой задачи; T — время, отводимое для решения задачи; $C = (C_1, \ldots, C_n)$ — средства (расчетные процедуры и методы), необходимые для решения задачи; $A_{\text{ТЗ}} = (A_{1\text{ТЗ}}, \ldots, A_{n\text{ТЗ}})$ — множество целей, предусматриваемых при решении задачи (задание, параметры функции полезности); $A = (A_1, \ldots, A_n)$ — совокупность характеристик, отражающих служебные свойства и потребительские качества альтернативных вариантов решения; $O = (O_1, \ldots, O_n)$ — множество ограничений на характеристики A; $X = (X_1, \ldots, X_n)$ — множество альтернативных вариантов решения; $L = f(\Omega, X)$ — обобщенный критерий эффективности (потери относительно требований задания); $\Omega = f(A_{\text{ТЗ}}, Y)$ — функция связи между характеристиками варианта решения и целями (оценка предпочтений, весовые коэффициенты); $Y = (Y_1, \ldots, Y_n)$ — множество факторов, определяющих назначение решения.

Итоговая формулировка постановки задачи зависит от вида критерия эффективности и функций, характеризующих ограничения. Если критерий эффективности и ограничения являются линейными функциями, то задача может быть сведена к прямой или обратной задаче линейного программирования. Существует несколько способов выражения обобщенного критерия эффективности. Если требуется найти решение, экстремизирующее все частные критерии (составляющие многокомпонентного задания), то необходимо рассматривать векторный критерий. В общем случае решение, будучи неоптимальным для ряда частных критериев, может быть оптимальным для векторного критерия в целом.

Одним из приемов нахождения такого компромиссного решения является свертывание (объединение) векторного критерия в некую скалярную функцию полезности. Вид этой функции определяется содержательной постановкой задачи, наличием дополнительной информации о важности частных критериев и знанием особенностей разрабатываемого решения. Если частные критерии соизмеримы по важности и являются однородными, т.е. допускают количественное сравнение в одной размерности, то в этом случае функцию полезности можно представить в виде взвешенной суммы разностей показателей, отражающих фактическое состояние варианта, и требований задания:

$$L = \sum_{i=1}^{n} \omega_i l_i(\overline{X}), \tag{1}$$

где n — число требований задания, ω_i — априорная предпочтительность требования в общем списке требований задания (i-й весовой коэффициент), $l_i(\overline{X})$ — метрика (частный параметр эффективности), характеризующая относительное отклонение потери от i-го требования задания при выборе варианта X_i в качестве эффективного, X — описание варианта на определенном языке (схемы, индексы, слова). Таким образом, требуется найти эффективные варианты X_i, которые принадлежат множеству возможных (приемлемых) вариантов и обращают некий функционал потерь L в нечеткий минимум. При этом используется нечеткая оптимизационная модель $Y = f(X)$, имеющая вид матрицы (табл. 1), где $f(X)$ представляет собой оператор, ставящий в соответствие каждому набору факторов, характеризующих вариант $Y = (Y_1, \ldots, Y_n)$, решение по нему $X(y_i \supseteq A_i)$.

Таблица 1

Матрица задания на отбор АТЗ и оценок параметров A_i

Варианты отбора	Характеристики					
	количественные			качественные		
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	$\ldots$	Y_n
X_1	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	$\ldots$	A_{1n}
X_2	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	$\ldots$	A_{2n}
X_3	A_{31}	A_{32}	A_{33}	A_{34}	$\ldots$	A_{3n}
$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$
X_m	A_{m1}	A_{m2}	A_{m3}	A_{m4}	$\ldots$	A_{mn}
$A_{j\text{ТЗ}}$	$A_{1\text{ТЗ}}$	$A_{2\text{ТЗ}}$	$A_{3\text{ТЗ}}$	$A_{4\text{ТЗ}}$	$\ldots$	$A_{n\text{ТЗ}}$

При описании значений характеристик A_i в модели $Y = f(X)$ могут использоваться как четкие, так и нечеткие (расплывчатые) определения A_{ij}. Аналогично в этой модели представляются и параметры задания АТЗ. Сравнивая параметры задания $\{АТЗ\}$ с соответствующими значениями характеристик $\{A_i\}$, можно вычислить потери l_i, которые будут иметь место при выборе i-го варианта в качестве эффективного. В общем случае метрику для определения потерь можно представить в виде

$$l_i = \sum_{k=1}^{n_{ki}} (\mu_{ki}^{\text{ТЗ}} - \mu_{kij}), \quad i = \overline{1,m}, \ \ j = \overline{1,n}, \tag{2}$$

где n_{kj} — число элементов y_k в сравниваемых множествах $A_{i\text{ТЗ}}$ и A_{ij}; $\mu_{ki}^{\text{ТЗ}}$ — степень принадлежности множеству $A_{i\text{ТЗ}}$, выражающего i-е требование задания; μ_{kij} — степень принадлежности множеству A_i.

На основе вычисленных по формуле (2) значений l_i и соответствующих значений ω_i составляется матрица потерь. Затем с помощью обобщенного показателя эффективности определяются суммарные потери (табл. 2).

Для того чтобы свести несхематизированную задачу отбора к формально разрешимым задачам, надо тем или иным образом "снять неопределенности", т.е. либо ввести гипотезы, либо назначить оценки. Но формирование гипотез и проведение оценок является прерогативой ЛПР. Следовательно, при решении задачи не обойтись без помощи эксперта, способного формально описать нечетко определенную проблемную ситуацию на языке, понятном ЭВМ. Для этого ЛПР нужно иметь в своем распоряжении соответствующий "инструмент", т.е. средства формализации, обеспечивающие возможность непосредственного измерения нечеткого содержания в том виде, в котором оно реально существует, т.е. допускающие "нечисловое" измерение качества с минимальной долей субъективизма.

При балльном шкалировании факторов, не содержащих в своей основе количественных характеристик, степень проявления измеряемого качества фиксируется в виде чисел. Однако реальными числовыми оценками они не являются, так как для них не определены арифметические операции. Кроме этого, при балльном шкалировании ряд отношений качественного характера не может быть отображен в число шкалы без потери существенной части содержательной информации из-за различной информационной емкости метрических и топологических пространств.

Следовательно, экспертные оценки, основанные на балльном (четком) шкалировании, по существу, не пригодны для использования их в качестве средства формализации нечетких величин, так как по своей структуре они не "сомасштабны" характеру нечисловых измерений качества.

В целях формализации процедуры отбора, связанной, как отмечено выше, с неколичественными измерениями, в дальнейшем используются специальные функции принадлежности и на их основе вводятся так называемые лингвистические переменные (ЛП), которые в наиболее

Таблица 2

Матрица весовых коэффициентов ω_i и потерь по характеристикам l_i

Варианты отбора	Характеристики						Потери		
	количественные			качественные					
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	$\ldots$	Y_n	L_i	$L_{i\omega}$	Δ_i
X_1	l_{11}	l_{12}	l_{13}	l_{14}	$\ldots$	l_{1n}	L_1	$L_{1\omega}$	Δ_1
X_2	l_{21}	l_{22}	l_{23}	l_{24}	$\ldots$	l_{2n}	L_2	$L_{2\omega}$	Δ_2
X_3	l_{31}	l_{32}	l_{33}	l_{34}	$\ldots$	l_{3n}	L_3	$L_{3\omega}$	Δ_3
$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$	$\ldots$
X_m	l_{m1}	l_{m2}	l_{m3}	l_{m4}	$\ldots$	l_{mn}	L_m	$L_{m\omega}$	Δ_m
ω_j	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	$\ldots$	ω_n			

естественной для человека форме отражают особенности его неформальных операций и в то же время являются точными операндами для ЭВМ. Применение лингвистических переменных для описания неформальных элементов, встречающихся в процессе решения задачи, обусловлено еще и тем, что размытость (расплывчатость) свойственна самой сущности процессов восприятия, воспроизведения и переработки информации человеком. Ему легче формулировать свое мнение расплывчато, и нечеткая оценка в большинстве случаев оказывается более адекватной реальной действительности, чем четкая.

Формально ЛП можно выразить набором $\langle X, T(X), U, G, M\rangle$, где X — название ЛП; $T(X)$ — терм или терм-множество значений ЛП; U — множество значений базовой переменной, G и M — синтаксическое и семантическое правила, ставящие в соответствие ЛП ее синтаксическую $M(X)$ и структурную организацию $G(X)$.

Терм-множество $T(X)$ обычно содержит два-три атомарных (первичных) терма, например “БОЛЬШОЙ”, “МАЛЫЙ”, на основе которых с помощью модификаторов типа “ОЧЕНЬ”, “ПОЧТИ” и т.д., а также квантификаторов “БОЛЬШЕ”, “МЕНЬШЕ” строят составную ЛП.

Значения параметров задания и оценки многокомпонентных характеристик, по которым ведется сопоставление вариантов при отборе, могут быть выражены в числовой, интервальной, вероятностной и лингвистической формах. Соответственно и вычисление многопараметрических потерь l_{ij} осуществляется по-разному в зависимости от того, какая сторона проблемы интересует ЛПР.

Применение способа графической интерпретации для создания системы поддержки принятия решений нецелесообразно ввиду низких возможностей алгоритмизации.

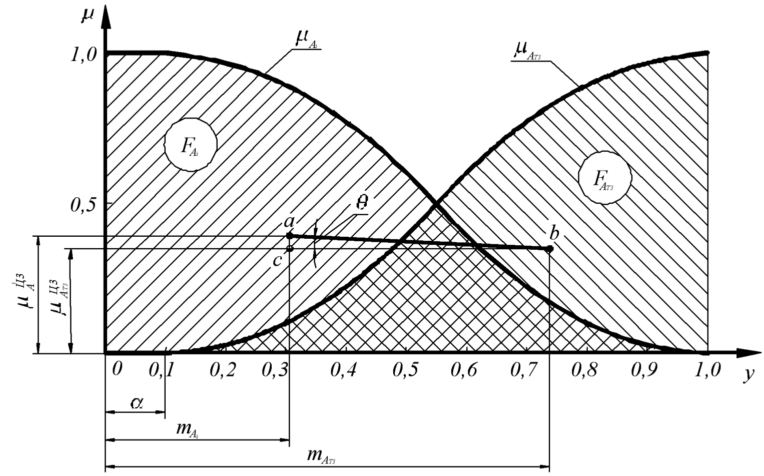


Рис. 1. Графическая иллюстрация определения метрики потерь

Возможен другой способ определения потерь l_{ij}, не требующий нормирования и допускающий раздельное нахождение детерминированной и неопределенной составляющих задачи. Он основан на определении расстояний между характерными точками, которые могут быть названы центрами значения (ЦЗ) (рис. 1). В качестве ЦЗ принимаются точки с координатами

$$\left.\begin{aligned} y' &= \int_0^l y\mu(y)dyF'; \\ \mu' &= \int_0^1 \mu(y)f^{\mu(y)}(\mu(y))d\mu(y)/F', \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

где l — максимальное значение лингвистической переменной, F' — площадь под кривой функции принадлежности.

В этом случае рассогласование (потери) между элементами составной ЛП определяется как расстояние между координатами ЦЗ $a(y'_a, \mu'_a)$ и $b(y'_b, \mu'_b)$, т.е.

$$l_i^D = \sqrt{(y'_a - y'_b)^2 + (\mu'_a - \mu'_b)^2}, \tag{4}$$

которое характеризует детерминированную часть нечетких потерь. Неопределенная часть нечетких потерь может быть вычислена по формуле

$$l_i^H = \sqrt{F_{\text{М}}^2 + F_{\text{ОБ}}^2 - F_{\text{М}}F_{\text{ОБ}}}, \tag{5}$$

где $F_{\text{М}}$ и $F_{\text{ОБ}}$ — площади фигур, ограничиваемые функциями принадлежности $\mu_{\text{М}}$, $\mu_{\text{ОБ}}$. Размеры этих площадей характеризуют уровни неопределенности каждого из сопоставляемых термов. В целом потери

l_i определяются как сумма детерминированной и половины неопределенной информационных составляющих:

$$l_i = l_i^D + \frac{1}{2} l_i^H. \tag{6}$$

Еще один обобщенный способ определения потерь, учитывающий все виды неопределенности в совокупности, рассмотрен ниже при описании типовой последовательности расчетных процедур.

Рассмотрим типовую последовательность расчетных процедур.

1. Устанавливается ранг модели $\overline{Y} = F(\overline{X})$, $\overline{Y}(j = 1, \ldots, n)$, $\overline{X}(i = 1, \ldots, m) \to (mn)$.

2. Определяются диапазоны изменения характеристик. Пределы изменения количественных и качественных параметров отображаются в интервале $[0, 1]$, текущие значения количественных характеристик определяются из соотношения $(y_T - y_{\min})/(y_{\max} - y_{\min})$.

3. Вводится лингвистическая переменная ВЕЛИЧИНА, состоящая из четырех атомарных термов: “МАЛЫЙ” — М, “БОЛЬШОЙ” — Б, “СРЕДНИЙ” — С, “РАЗНООБРАЗНЫЙ” — Р и 38 составных термов, полученных посредством модификации и квантификации первичных. С этой целью назначаются функции принадлежности атомарных термов $A = \int\limits_U \mu_a(y)/y$, где A — нечеткое подмножество области суждений (по тому или иному признаку).

Для всех значений ЛП устанавливаются значения параметра функции принадлежности атомарного терма Б. В ряде случаев целесообразно отдельное задание также остальных атомарных термов. Функция принадлежности имеет вид

$$\mu_{(\overline{\text{Б}})}(y) = \{(0 \leqslant y \leqslant \alpha) \to 0;$$

$$\left(\alpha < y \leqslant \frac{\alpha - 1}{2}\right) \to 2\left(\tfrac{y-\alpha}{1-\alpha}\right)^2;$$

$$\left(\frac{\alpha - 1}{2} < y \leqslant 1\right) \to \left(1 - 2\left(\frac{y-\alpha}{1-\alpha}\right)^2\right)\};$$

$$\mu_{(M)} = 1 - \mu_{(\overline{\text{Б}})}(y);$$

$$\mu_{(\overline{\text{С}})}(y) = \{(0 \leqslant y \leqslant 0{,}5) \to 2\mu_{(\overline{\text{Б}})}(y), \quad (0{,}5 < y \leqslant 1) \to 2\mu_{(\overline{\text{М}})}(y)\};$$

$$\mu_{(P)} = 1.$$

Модификаторы типа “ОЧЕНЬ” — О , “БОЛЕЕ” — Б, “МЕНЕЕ” — М для атомарного терма Б имеют вид $A = \int\limits_U \mu_A^N(y)/y$, где N — показатель уровня неопределенности ($0{,}1 \leqslant N \leqslant 5$). Значение N выбирается из условия деления области суждений на равные интервалы как по уровню неопределенности, так и по уровню нечеткости. Для атомарных термов М и С модификаторы этого типа назначаются аналогичным способом.

Модификаторы типа “ПОЧТИ” — П, “ВЕСЬМА” — В, “СЛАБО” — С, “НЕОПРЕДЕЛЕННО” — Н для атомарного терма Р имеют вид $A = \int\limits_U K\mu_a(y)/y$, где K —показатель уровня нечеткости ($0 \leqslant K \leqslant 1$).

Квантификаторы типа “БОЛЬШЕ” — Б, “МЕНЬШЕ” — М для атомарного терма С имеют вид $A = \int\limits_U \mu_a(y)(y+b)$, где b — показатель несимметричности моды Im терма С относительно базового множества области суждений $V(-0{,}5 < b < 0{,}5)$.

Квантификаторы типа Б и М для атомарного терма Б имеют вид $A = \int\limits_U \mu_a(\alpha^* y)/y$, где $\alpha *$ — параметр сдвига относительно номинала ($-0{,}5 < \alpha^* < 0{,}5$). Для атомарного терма М квантификаторы этого типа назначаются аналогично. Модификаторы типа “Не” для атомарных термов М, Б, С определяются из выражения $A = \int\limits_U (1 - \mu_a(y))/y$.

4. Устанавливаются параметры задания $\{A_{j\text{ТЗ}}\}$ $(j = 1, \ldots, n)$, назначаются качественные и количественные оценки альтернативных вариантов решения (X): $\{A_{ij}\}$ $(i = 1, \ldots, m)$ $(j = 1, \ldots, n)$.

5. Определяются нормированные потери относительно j-го требования задания для всех i-х вариантов решений: $l_{ij} = (A_j^{\text{ТЗ}} - A_{ij}) = |\mu_{A_{ij}^{\text{ТЗ}}}(y) - \mu_{A_{ij}}(y)|$.

6. Определяются суммарные значения невзвешенных потерь $L = \sum\limits_{j=1}^{n} l_{ij}$.

7. Назначаются весовые коэффициенты ω_j.

8. Для всех решений с учетом ω_j определяются суммарные взвешенные потери $L_\omega = \sum\limits_{j=1}^{n} \omega_j l_{ij}$.

9. Для всех решений определяется уровень относительной неопределенности

$$\Delta_i = \overline{H_i}\overline{L_i^D},$$

где $\overline{H_i} = \sum\limits_{j=1}^{n} \omega_j l_{ij}^H$, $\overline{L_i^D} = \sum\limits_{j=1}^{n} \omega_j l_{ij}^D$.

10. Выделяется множество недоминирующих решений.

Таким образом, в процессе решения несхематизированной задачи отбора наиболее предпочтительного варианта из множества приемлемых может быть выявлен не один, а несколько недоминирующих (нехудших) вариантов, среди которых нельзя найти ни одного, который по критерию Парето был бы безусловно лучшим. Окончательный выбор допустимых решений из множества недоминирующих вариантов может быть осуществлен на основе введения дополнительных критериев предпочтения.

Выбор рационального варианта отбора — это заключительный этап процесса и поиска решения нечетко обусловленной задачи отбора абитуриентов. Из-за наличия неопределенностей различной физической природы на этом этапе возникает ряд специфических особенностей.

В целом проблема принятия многоцелевых решений в условиях неопределенности характеризуется тремя факторами $\{U, L, \Omega\}$, где U — способ нормализации; L — многокритериальная свертка (оценочный функционал); Ω — отношение приоритета. Нормализация применяется для перехода к сравнимым шкалам в оценочном функционале:

$$l_{ij}^* = \frac{l_{ij} - \min\limits_i l_{ij}}{\max\limits_i l_{ij} - \min\limits_i l_{ij}}, \tag{7}$$

где l_{ij}^* — нормированные значения потерь.

Отношение приоритета устанавливается вектором весовых коэффициентов $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n\}$.

Оценочный функционал обусловливает правило принятия многоцелевых решений:

$$L_i^\omega = \sum_{j=1}^n \omega_j l_{ij}.$$

В оценочном функционале присутствует нечетко определенный вектор потерь $\bar{l}_{ij}$, в состав которого помимо четких и вероятностно-определенных величин входят и неопределенные компоненты, значения которых устанавливаются на основе прошлого опыта, знаний и интуиции эксперта. В соответствии с этим оценочный функционал L_i^ω не является целевой функцией в обычном смысле, как в детерминированных задачах. Он превращается в целевую функцию, если зафиксировать некоторое сочетание информации, содержащейся в векторе $\bar{l}_{ij}$. Однако и в этом случае оптимальный вариант решения будет лишь локально-оптимальным, т.е. наилучшим только для данных конкретных условий. Другим условиям будут соответствовать иные локально-оптимальные варианты, а их совокупность естественно не может считаться окончательным решением задачи. Эта ситуация закономерна, так как неопределенность исходной информации в сочетании с неопределенностью цели обусловливают и неопределенность окончательного выбора, который при решении нечетко обусловленной задачи всегда условен Таким образом, функционал L_i^ω используют лишь для количественного соизмерения эффекта (с точки зрения главной цели оптимизации), и поэтому функционал L_i^ω точнее называть оценочной, а не целевой функцией.

Следовательно, в процессе решения нечетко обусловленной задачи из множества приемлемых (допускаемых или исходных) вариантов решения, может быть выявлен не один, а несколько нехудших вариантов. Нехудшим называют такие варианты решений, среди которых нельзя найти ни одного, который был бы безусловно лучшим, т. е. превосходил другие решения по всем сравниваемым параметрам. Нехудшие варианты иногда называют эффективными, недоминирующими или конкурентоспособными. Окончательный выбор решения из множества эффективных, может быть осуществлен ЛПР лишь на основе введения дополнительных критериев предпочтения.

В результате относительного сопоставления эффективных вариантов решений с помощью таких критериев выделяется одно суперэффективное решение, или супероптимальное решение. Для таких решений используется также термин “рациональное решение”.

В связи с тем, что сразу осуществить порождение и выбор рационального решения в условиях неопределенности невозможно, целесообразно использовать поэтапную схему сужения исходного множества вариантов нечетко обусловленных решений.

Можно выделить следующие стадии сужения:

первая — сужение множества возможных решений до множества приемлемых (альтернативных) вариантов посредством ряда целенаправленных процедур неформального поиска;

вторая — сужение множества приемлемых вариантов до множества эффективных решений посредством использования многоцелевого показателя эффективности L_i^ω.

Схема процедуры выделения множества эффективных решений приведена на рис. 2. В качестве основного варианта решения на отбор, определяющего положение “грани”, выделяющей эффективные решения, принимается вариант, которому соответствует минимальное значение оценочного функционала, выраженное через суммарные потери L_i^ω:

$$(L_i^\omega)^{\min} = L_{\min} = \min_i L_i^\omega.$$

С помощью этого варианта (рис. 2, *в*) выделяют множество решений (область A), которые не хуже самого варианта, и поэтому наряду с ним эти решения могут рассматриваться как потенциальные претенденты на категорию “рациональные варианты отбора”. В показанном

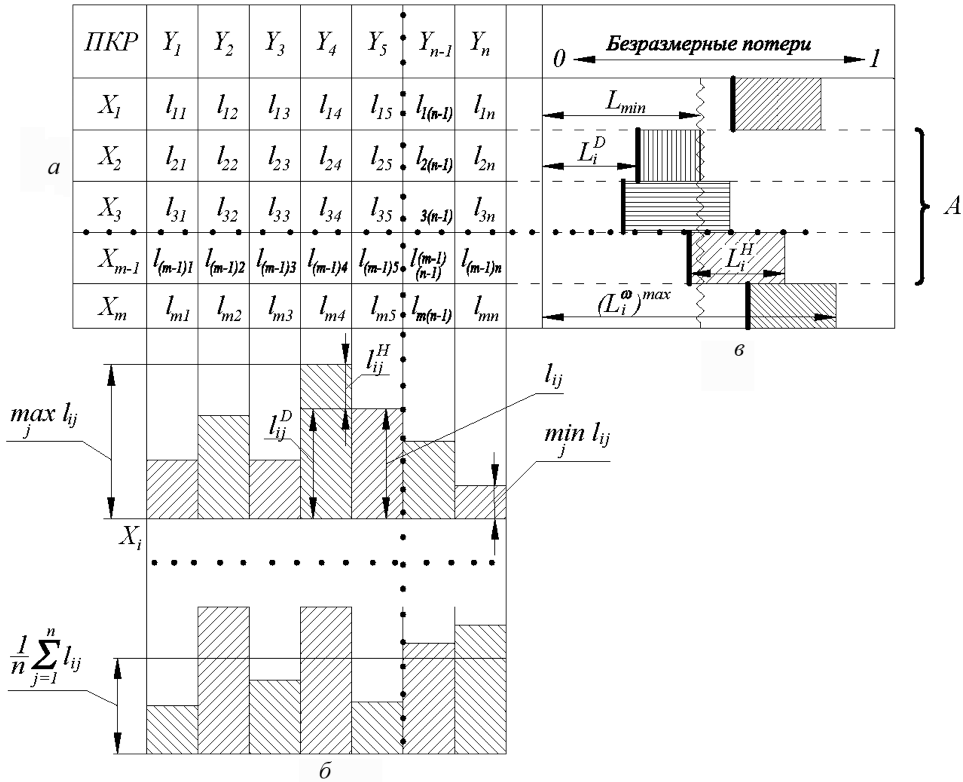


Рис. 2. Нечеткий выбор рационального варианта отбора абитуриентов:
а — матрица потерь; *б* — гистограмма рассогласований; *в* — выделение множества эффективных решений ($0 \leqslant i \leqslant m$, $0 \leqslant j \leqslant n$)

на рис. 2, *в* случае, таких решений три. Формально условие, выделяющее эффективные решения, записывается в виде

$$(L_i^{\omega})^{\min} \leqslant L_{\min} = \min_i \, (L_i^{\omega})^{\max}, \tag{8}$$

где $(L_i^{\omega})^{\min}$ — минимальное значение i-х суммарных потерь; $(L_i^{\omega})^{\min} = L_i^D$.

Значение $L_{\min}$ — определяет положение волнистой линии на рис. 2, *в*, которая в свою очередь определяет верхнюю границу суммарных потерь, т.е. если минимальное значение потерь $(L_i^{\omega})^{\min}$ будет больше $L_{\min}$, то такие варианты отбора исключаются из рассмотрения.

Детерминированная составляющая потерь L_i^D всегда остается постоянной, а неопределенная составляющая лежит в диапазоне $0 \leqslant L_i^H \leqslant \left(L_i^H\right)^{\max}$, поэтому так как $L_i^{\omega} = L_i^D + L_i^H$, то минимальное значение i-х суммарных потерь $(L_i^{\omega})^{\min} = L_i^D$, а максимальное значение

$$(L_i^{\omega})^{\max} = L_i^D + \left(L_i^H\right)^{\max}.$$

Пример 1. Ниже приведен абстрактный пример анализа различных вариантов отбора, который в равной мере может относиться как к отбору абитуриентов при приеме в вуз, так и при оценке уровня обученности студентов и мониторинге качества специалистов. Показана уже готовая матрица потерь, а также гистограммы рассогласований для каждого варианта отбора и графическая иллюстрация безразмерных потерь (рис. 3).

На рис. 3 в ячейках матрицы потерь расположено по два числа. Верхнее число — это детерминированная составляющая потерь, а нижнее — неопределенная составляющая потерь данного решения по данному показателю.

Под матрицей потерь расположены гистограммы рассогласований, т.е. профили потерь для каждого варианта отбора.

Гистограмму рассогласований необходимо использовать в случае, если после расчета потерь было найдено несколько приемлемых альтернатив. На рис. 3 видно, что приемлемыми являются первый, второй и четвертый варианты.

Четвертый вариант имеет минимальную детерминированную составляющую суммарных потерь и невысокое значение неопределенной составляющей потерь, поэтому можно было бы выбрать именно это решение. Но если посмотреть на профиль потерь по этому решению (см. рис. 3), то видно, что потери по второму требованию очень велики и если для ЛПР важно значение этого показателя, то ему придется отказаться от этого, на первый взгляд самого "выгодного" решения и производить дальнейший выбор между первым ($X1$) и вторым ($X2$) вариантами отбора

Пример 2. В данном примере приведен полный алгоритм анализа исходных данных и дальнейшего расчета.

В табл. 3. приведены оценки семерых абитуриентов по различным показателям: средний балл аттестата, оценка за работу, оценка за защиту работы, эрудиция, креативность (способность к творчеству), коммуникабельность (социализированность).

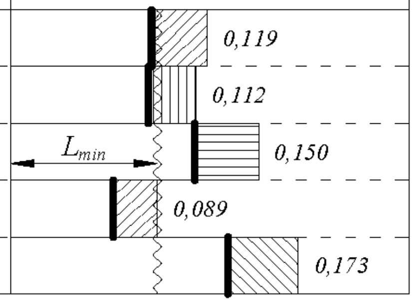
Внизу таблицы приведены требуемые значения (ТЗ) по перечисленным выше показателям. Можно для единообразия принимать ТЗ одинаковыми для всех показателей (все 5,0 или все 1,0), но в данном примере берутся естественные максимальные значения показателей.

Определение оценок абитуриентов по качественным показателям (эрудиция, креативность, коммуникабельность) производится экспертами. Такие оценки могут проводиться различными способами. Все эти три показателя можно представить в виде лингвистических переменных (см. рис. 3).

Характеристики

ПКР	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
X_1	0,06 0,02	0,10 0,04	0,05 0,03	0,15 0,06	0,11 0,04
X_2	0,04 0,01	0,16 0,04	0,08 0,02	0,12 0,08	0,05 0,02
X_3	0,11 0,04	0,14 0,03	0,10 0,03	0,10 0,04	0,09 0,06
X_4	0,03 0,02	0,22 0,08	0,01 0,01	0,01 0,00	0,03 0,01
X_5	0,12 0,03	0,16 0,04	0,20 0,05	0,10 0,07	0,06 0,04
ω_i	0,4	0,2	0,15	0,15	0,1

Безразмерные потери



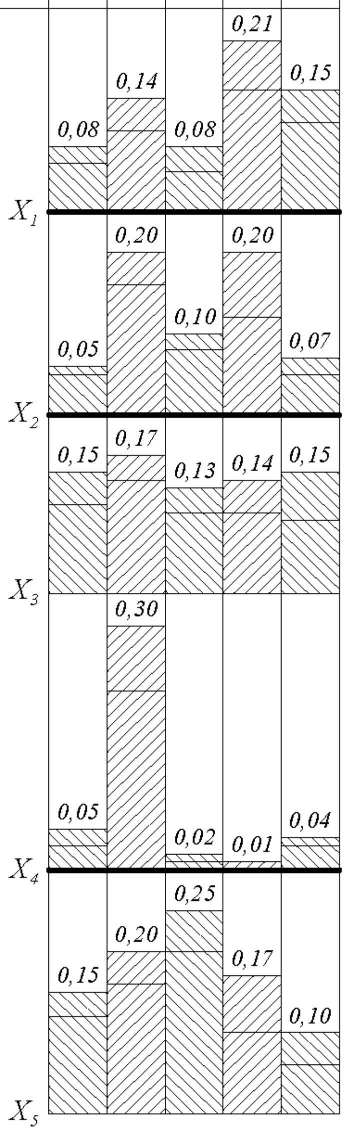


Рис. 3. Пример эффективных вариантов отбора

Таблица 3

№	ФИО	Средний балл аттестата	Оценка за работу	Оценка за защиту работы	Эрудиция	Креативность	Коммуникабельность
1	Селютин Дмитрий Александрович	5,0	5,0	5,0	0,9	0,8	0,8
2	Бирюкова Елена Игоревна	4,9	5,0	4,5	0,7	0,5	0,6
3	Арефьев Константин Михайлович	4,7	5,0	5,0	0,9	0,9	0,6
4	Бойко Елена Александровна	4,5	4,5	5,0	0,8	0,6	0,3
5	Шитиков Андрей Иванович	4,2	3,0	3,0	0,3	0,6	0,8
6	Комзолов Антон Олегович	4,4	4,0	4,0	0,5	0,6	0,4
7	Антонов Игорь Михайлович	4,5	4,0	3,0	0,6	0,3	0,2
	ТЗ	5,0	5,0	5,0	1,0	1,0	1,0

Здесь μ — любой из трех показателей (эрудиция, креативность, коммуникабельность), а y — характеристика, от которой зависят эти показатели. Например, по оси y может отсчитываться число вопросов, задаваемых абитуриенту (например 10 вопросов, тогда максимальное значение y равно 10).

В зависимости от способов выявления способностей обучающегося качественные показатели могут быть заданы по-разному. В данном примере они заданы в виде чисел, полученных с использованием графика на рис. 4. Но для более глубокого анализа качественные характеристики можно представлять в более сложном виде — в виде графиков, таблиц, используя неопределенности как в определении этих характеристик, так и в самом способе их задания для конкретных задач.

Соответственно потери будут определяться описанными выше методами, и в их состав теперь будут входить неопределенные составляющие.

Алгоритм расчета следующий.

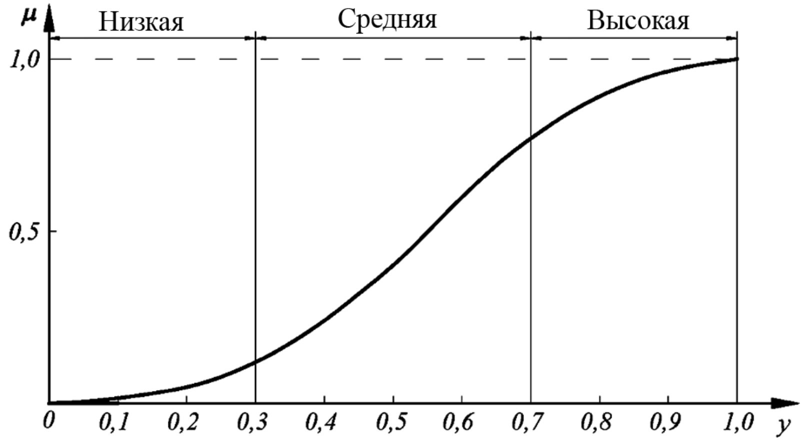


Рис. 4. Вид лингвистической переменной для качественных показателей (эрудиция, креативность, коммуникабельность)

1. Определяем потери по формуле

$$l_{ij} = A_j^{\text{ТЗ}} - A_{ij}, \quad i = 1, \dots 7, \;\; j = 1, \dots 6.$$

Результаты вычислений представлены в табл. 4 (таблице потерь).

2. Определяем нормированные потери по формуле

$$l^*_{ij} = \frac{l_{ij} - \min\limits_i l_{ij}}{\max\limits_i l_{ij} - \min\limits_i l_{ij}}; \;\; \min\limits_i l_{ij} = 0$$

для первых трех характеристик (средний балл аттестата, оценка за работу и оценка за защиту работы) $\max\limits_i l_{ij} = 5$, а для качественных оценок, выраженных лингвистическими переменными (эрудиция, креативность и коммуникабельность)

$$\max\limits_i l_{ij} = 1.$$

Результаты расчета приведены в табл. 4.

3. Приоритет обычно определяется экспертом. В данном примере он задан так: $I = (1, 2, \dots, 6)$, где 1 — средний балл аттестата; 2 — оценка за защиту работы; 3 — эрудиция; 4 — оценка за работу; 5 — креативность; 6 — коммуникабельность.

4. Введем вектор приоритета $\boldsymbol{N} = (\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_6)$. Значения ϑ_j показывают, насколько j-й критерий важнее, чем $(j+1)$-й. Чаще всего значения ϑ_j задаются экспертом. В нашем случае $\boldsymbol{N} = (1; 1{,}4; 1{,}1; 1{,}3; 1{,}2; 1)$, т.е. $\vartheta_1 = 1$; $\vartheta_2 = 1{,}4$; $\vartheta_3 = 1{,}1$; $\vartheta_4 = 1{,}3$; $\vartheta_5 = 1{,}2$; $\vartheta_6 = 1$.

Таблица 4

№	ФИО	Средний балл аттестата	Оценка за работу	Оценка за защиту работы	Эрудиция	Креативность	Коммуникабельность
1	Селютин Дмитрий Александрович	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
2	Бирюкова Елена Игоревна	0,1	0,0	0,5	0,3	0,5	0,4
3	Арефьев Константин Михайлович	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
4	Бойко Елена Александровна	0,5	0,5	0,0	0,2	0,4	0,7
5	Шитиков Андрей Иванович	0,8	2,0	2,0	0,7	0,4	0,2
6	Комзолов Антон Олегович	0,6	1,0	1,0	0,5	0,4	0,6
7	Антонов Игорь Михайлович	0,5	1,0	2,0	0,4	0,7	0,8

5. Проведем расчет вектора весовых коэффициентов $\boldsymbol{\Omega} = (\omega_1, \omega_2, \ldots$ $\ldots, \omega_n)$ по формуле

$$\omega_j = \frac{\prod\limits_{k=j}^{n} \vartheta_k}{\sum\limits_{j=1}^{n} \prod\limits_{k=j}^{n} \vartheta_k}.$$

В результате расчетов получим значения составляющих вектора весовых коэффициентов.

6. Взвешенный показатель эффективности определяется по формуле

$$L_i^{\omega} = \sum_{j=1}^{n} \omega_j l_{ij}.$$

Результаты расчета приведены в табл. 5.

Использование предлагаемого метода позволяет получить более достоверную оценку знаний, умений, навыков абитуриентов, студентов и специалистов с учетом их профессионально-значимых личност-

Таблица 5

№	ФИО	Средний балл аттестата	Оценка за работу	Оценка за защиту работы	Эрудиция	Креативность	Коммуникабельность
1	Селютин Дмитрий Александрович	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
2	Бирюкова Елена Игоревна	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,4
3	Арефьев Константин Михайлович	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
4	Бойко Елена Александровна	0,1	0,1	0,0	0,2	0,4	0,7
5	Шитиков Андрей Иванович	0,2	0,4	0,4	0,7	0,4	0,2
6	Комзолов Антон Олегович	0,1	0,2	0,2	0,5	0,4	0,6
7	Антонов Игорь Михайлович	0,1	0,2	0,4	0,4	0,7	0,8
	ω_j	0,23	0,15	0,23	0,17	0,12	0,10

ных качеств. Такая оценка необходима не только при поступлении в вуз и приеме специалиста на работу, но и при обучении студентов, наблюдении за работой сотрудников, во время проведения аттестаций, при формировании кадрового резерва, выполнении индивидуальных планов и т.д. Метод позволяет более точно выявлять для каждого индивидуума его сильные и слабые стороны с учетом влияния неопределенностей различного характера. Это дает возможность осуществлять обратную связь с обучающимися для объективного оценивания его качеств и принятия мер по их совершенствованию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е. С. Исследование операций. – М.: Наука, 1980. – 155 с.
2. Заде Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // В сб.: Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. – С. 57–84.
3. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2000. – 392 с.

4. Д о б р я к о в А.А. Психолого-педагогические основы подготовки элитных специалистов как творческих личностей. – М.: ЛОТОС, 2001. – 336 с.
5. Д о б р я к о в А. А. Обеспечение творческих форм проектно-конструкторской деятельности в САПР силовых конструкций. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1989. – 204 с.
6. А л и е в Р. А., А л и е в Р. Р. Теория интеллектуальных систем. – Баку: Чашигоглу, 2001. – 720 с.
7. Е м е л ь я н о в В. В., М а й о р о в а В. И., Р а з у м ц о в а Ю. В. Принятие оптимальных решений в интеллектуальных имитационных системах. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 60 с.
8. Д о б р я к о в А. А., М а й о р о в а В. И. Нечеткая формализация процедур многокритериального отбора абитуриентов при поступлении в вуз технического профиля // Вестник Тюменского государственного университета. – 2006. – № 5. – 270 с.

Статья поступила в редакцию 23.04.2007

Анатолий Александрович Добряков родился в 1927 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1957 г. Д-р психологических наук, канд. техн. наук. Заместитель начальника управления качеством образовательной и научной деятельности МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ, в том числе 10 монографий и учебных пособий. Специализируется в области качества образовательной и научной деятельности в области технических дисциплин.

A.A. Dobryakov (b. 1927) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1957. D. Sc. (Psychology), Ph. D. (Eng.), Deputy head of Administration for Quality of Educational and Scientific Activity of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 100 publications including 10 monographs and educational books. Specializes in the field of quality of educational and scientific activity in the sphere of technical disciplines.

Вера Ивановна Майорова родилась в 1956 г., окончила МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1979 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Космические аппараты и ракеты-носители” МГТУ им. Н.Э. Баумана, действительный член Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, автор более 50 научных работ в области наземной отработки космических летальных аппаратов, микроспутниковых технологий, моделирования дополнительного образовательного процесса в системе непрерывной подготовки инженеров.

V.I. Mayorova (b. 1956) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1979. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Spacecrafts and Rocket Launchers” department of the Bauman Moscow State Technical University. Full member of the Russian Academy of Cosmonautics n.a. K.E. Tsiolkovskii. Author of more than 50 publications in the field of ground-based trial of spacecrafts, micro-satellite technologies, simulation of educational processes in the system of continuous training of engineers.