

## ДВА ПОДХОДА К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ И РАНЖИРОВАНИЮ ВУЗОВ

### Введение

Качество образовательных услуг, предоставляемых вузом в конкретной стране (регионе), является комплексным показателем, отражающим достаточно большое количество параметров, характеризующих степень соответствия образовательных программ, материально-техническое обеспечение учебного процесса, научно-методическую базу, кадровый состав и др. Поэтому в процессе построения системы оценки качества вуза на передний план выступает задача формирования набора образовательных индикаторов и показателей качества. Более того, образовательный процесс, как сложная, открытая и динамически развивающаяся структура, является, несомненно, системой гуманистического типа, т.е. системой, в которой существенная роль принадлежит суждениям и эвристическим знаниям ответственного за принятие решений [1]. В отличие от механистических систем, допускающих численное описание поведения, гуманистические системы слабо структурируемы и более сложные. Принципиальной особенностью здесь является то, что наблюдения за образовательными индикаторами (как входных характеристик) и выходными показателями выполняются на уровне «мягких» измерений. Как правило, данные индикаторы группируются по ключевым показателям условий осуществления образовательного процесса (целевая стратегия и концепция вуза, кадры, образовательные ресурсы), показателям самого процесса (управление вузом, содержание образовательных программ, социальная инфраструктура), показателям результата (качество подготовки бакалавров, магистров, уровень трудоустройства, эффективность исследовательской деятельности) [2]. На практике большинство индикаторов — также слабо структурированные величины, для которых известна их принадлежность к определенному типу. Например, при проведении с одинаковой тщательностью и в одинаковых условиях наблюдений за слабо структурированной величиной измеряются различные друг от друга результаты, вызванные наличием случайных погрешностей, возникающих вследствие одновременного воздействия непредвиденных случайных возмущений. В этом случае определить результат наблюдения с учетом поправки невозможно. Можно лишь с определенной долей уверенности утверждать, что истинное значение измеряемой величины находится в интервале  $[x^{\min}, x^{\max}]$ , где  $x^{\min}$  и  $x^{\max}$  — нижняя и верхняя границы разброса соответственно. При этом неясно, какова вероятность появления того или иного значения погрешности, какое из множеств лежащих в этой области значений величины следует принять за результат измерения и какими показателями охарактеризовать случайную погрешность результата. Ответы на все эти вопросы дает подход, основанный на рассмотрении результатов наблюдений и измерений, а также случайных погрешностей в виде случайных величин. Существующие методы теории вероятностей и математической статистики по-

звolyают установить вероятностно-статистические закономерности появления случайных погрешностей и на их основе получить количественные оценки результата измерения и его случайной погрешности.

Для описания слабо структурированных индикаторов качества могут также использоваться утверждения типа «высокий», «предпочтительный» и другие, т.е. термины лингвистических переменных [3], формализацию которых успешно обеспечивают нечеткие множества. Собственно, именно последняя парадигма и стала основой для написания данной статьи, в рамках которой построение адекватной системы комплексной оценки образовательных услуг вуза представляется весьма сложной, слабо структурированной и, соответственно, трудно формализуемой процедурой.

### **1. Общая постановка задачи**

Исторически сформировались два подхода к оценке качества образовательных услуг: условно говоря, английский и французский. Если английская модель предусматривает внутреннюю самооценку, то французская — внешнюю. Вместе с тем существует также американская модель, которая предполагает симбиоз двух вышеназванных подходов. При этом все эти модели предусматривают три основных способа оценивания образовательных услуг вузов: репутационный — профессиональный уровень подготовки учебных программ; результативный — количественные показатели; и общий — основан на принципе всеобщего управления качеством. Поэтому, руководствуясь этим, необходимо выбрать достаточный набор показателей, характеризующих деятельность вуза в указанных трех проекциях, а именно: 1) потенциал; 2) активность и качество образования; 3) международное признание. Тогда с учетом ключевых показателей качества необходимо сформировать набор критериев оценки деятельности вуза и на его основе разработать базовые модели (традиционную и нечеткую) для комплексной оценки образовательных услуг пяти произвольно выбранных (гипотетических) вузов с последующим их ранжированием.

### **2. Критерии оценки качества образовательных услуг**

Согласно международному стандарту ISO (International Organization for Standardization) под качеством образовательного бизнес-процесса понимается соответствие основных его свойств требованиям всех участников процесса и других заинтересованных сторон [4]. При этом основными составляющими здесь являются цели образовательного бизнес-процесса; средства и условия достижения этих целей; конечный результат образовательного процесса. Насколько хороши цели образовательного бизнес-процесса, определяется ожиданиями и требованиями субъектов образования и других заинтересованных лиц [4]. Потребители образовательной услуги формулируют цели образования как мотивированный социальный заказ, выполненный в стандартах образования. Вуз формулирует стратегические цели своей деятельности, составляет программы развития по отдельным направлениям и т.д. Работодатели, родители, студенты определяют цели образования, предъявляя свои требования к знаниям и умениям выпускников. При этом, требования, выдвигаемые субъектами образовательного процесса, и критерии качества самого образовательного бизнес-процесса зачастую не совпадают. Поэтому именно совокупность последних лежит в основе данного исследования.

Руководствуясь этими соображениями, выберем достаточный набор показателей, характеризующих деятельность вуза по трем основным направлениям (табл. 1).

Таблица 1

1. Потенциал ( $E_1$ )		2. Активность и качество образования ( $E_2$ )		3. Международное признание ( $E_3$ )	
1.1.	Интеллектуальный потенциал	2.1.	Подготовка кадров	3.1.	Иностранные студенты и местные студенты, обучающиеся за рубежом
1.1.1.	Квалификация научно-педагогических кадров	2.1.1.	Подготовка бакалавров и магистров	3.2.	Членство в международных организациях
1.1.2.	Перспективность кадрового обеспечения	2.1.2.	Подготовка докторантов	3.3.	Уровень участия в международных программах (в т.ч. TAMPUS, TESIS и т.д.)
1.1.3.	Членство в структуре Академии наук (АН)	2.1.3.	Эффективность специализированных советов	3.4.	Выигранные гранты (за последние два года)
1.1.4.	Обладатели международных, государственных наград, почетных званий и т.п.	2.1.4.	Привлекательность	3.5.	Привлеченные зарубежные специалисты
1.2.	Материально-техническая база	2.1.5.	Репутация среди абитуриентов		
1.2.1.	Материально-техническое обеспечение	2.1.6.	Трудоустройство выпускников		
1.3.	Социально-культурная база	2.2.	Качество исследований		
1.3.1.	Наличие общежитий и спортивных площадок	2.2.1.	Апробация научных результатов в стране и за рубежом		

Ниже в табл. 2 приведены критерии оценки качества образовательных услуг, которые, как кажется, наиболее универсальны и всеобъемлющи на постсоветском пространстве.

Таблица 2

У/о	Критерии	У/о	Критерии
$C_{01}$	Число преподавателей	$C_{22}$	Число защитивших за последние пять лет диссертации на соискание степени доктора наук
$C_{02}$	Число докторов наук и профессоров <sup>1</sup>	$C_{23}$	Число защитивших за последние пять лет диссертации на соискание степени доктора философии по специальностям
$C_{03}$	Число докторов философии по специальностям и доцентов <sup>2</sup>	$C_{24}$	Денежные средства, вырученные за счет платного обучения студентов с местным гражданством
$C_{04}$	Число докторов наук и профессоров в возрасте до 50 лет	$C_{25}$	Денежные средства, вырученные за счет иностранных студентов, обучающихся на платной основе
$C_{05}$	Число докторов философии по специальностям и доцентов в возрасте до 30 лет	$C_{26}$	Престиж вуза среди абитуриентов (возможности вуза по приему студентов на места по государственному заказу и занимаемое им место в итоговом списке результатов приема)
$C_{06}$	Число действительных членов АН	$C_{27}$	Объем средств, вырученных от предоставления образовательных услуг (включая $C_{24}$ и $C_{25}$ )
$C_{07}$	Число членов-корреспондентов АН	$C_{28}$	Число выпускников, обеспеченных работой за последние три года

<sup>1</sup> В т.ч. доктора наук, не имеющие ученого звания профессора, и профессора, не имеющие ученой степени доктора наук.

<sup>2</sup> В т.ч. доктора философии по специальностям, не имеющие ученого звания доцента, и доценты, не имеющие ученой степени доктора философии по специальности.

$C_{08}$	Число сотрудников, являющихся Лауреатами Государственной премии	$C_{29}$	Число выпускников за последние три года
$C_{09}$	Число сотрудников, имеющих Почетные звания, в т.ч. «Заслуженный преподаватель», «Заслуженный деятель искусства», «Заслуженный врач» и пр.	$C_{30}$	Объем средств, вырученных от проведения научно-исследовательской деятельности за последние два года
$C_{10}$	Площадь учебной и лабораторной базы	$C_{31}$	Число научных трудов и научных статей, опубликованных в республике штатными сотрудниками вуза за последние два года
$C_{11}$	Число используемых компьютеров	$C_{32}$	Число научных трудов и научных статей, опубликованных за рубежом штатными сотрудниками вуза за последние два года (за исключением периодических изданий с <i>inpract</i> -фактором)
$C_{12}$	Библиотечный фонд, в т.ч. число учебных пособий в электронной библиотеке	$C_{33}$	Число учебников, выпущенных штатными сотрудниками вуза за последние два года
$C_{13}$	Число проживающих в общежитиях студентов с местным гражданством	$C_{34}$	Число учебных пособий, выпущенных штатными сотрудниками вуза за последние два года
$C_{14}$	Число студентов с местным гражданством из других регионов страны	$C_{35}$	Число монографий, опубликованных штатными сотрудниками вуза за последние два года
$C_{15}$	Число проживающих в общежитиях иностранных студентов	$C_{36}$	Число научных статей, опубликованных штатными сотрудниками вуза за последние два года в зарубежных научных периодических изданиях с <i>inpract</i> -фактором
$C_{16}$	Число обучающихся иностранных студентов	$C_{37}$	Число бакалавров, магистров и докторантов вуза, обучающихся за рубежом
$C_{17}$	Число спортивных площадок, в т.ч. закрытых спортивных залов	$C_{38}$	Число международных организаций (с указанием наименований), членом которых является вуз
$C_{18}$	Число студентов бакалаврата, обучающихся по всем формам обучения <sup>3</sup>	$C_{39}$	Число международных программ, в которых вуз принимает участие
$C_{19}$	Число студентов магистратуры, обучающихся по всем формам обучения <sup>4</sup>	$C_{40}$	Объем грантов (в денежном эквиваленте), выигранных вузом за последние два года
$C_{20}$	Число докторантов очного обучения	$C_{41}$	Число иностранных специалистов, работающих в вузе
$C_{21}$	Число докторантов заочного обучения		

### 3. Комплексная оценка вуза по балльной системе

Оценка на балльной или какой-либо иной основе предусматривает на начальном этапе сбор исходных данных об изучаемом вопросе. Оценка вуза по балльной системе — это числовая интерпретация первичного обобщения статистических данных, предусматривающего формирование и первичные расчеты сложных контекстных показателей (относительных, сводных многоуровневых) и формирование и первичные расчеты образовательных индексов.

Ниже предлагается методика (статичная модель) для комплексного расчета рейтинга вуза по приведенным выше взвешенным критериям оценки  $C_k$  ( $k = 1 \div 41$ ) с применением простых операций. Данная методика включает ряд алгебраических

<sup>3</sup> Здесь предполагается, что три студента бакалаврата заочного или дистанционного обучения приравниваются к одному студенту очного обучения.

<sup>4</sup> Здесь предполагается, что три студента магистратуры заочного или дистанционного обучения приравниваются к одному студенту очного обучения.

уравнений, которые были составлены с привлечением эвристических знаний экспертов из предметной области. Так, для вычисления рейтинга вуза за основу выбрано тривиальное равенство:  $E = E_1 + E_2 + E_3$ . В табл. 3 представлены расчетные формулы для вычисления агрегированных показателей с учетом присвоения каждому составному индексу индивидуального весового коэффициента. В приведенных формулах применяется универсальная функция  $F[x_j] = x_j / \max_i(x_i)$  ( $i, j = 1 \div n$ ), где  $n$  — число рассматриваемых вузов.

Таблица 3

№	Агрегированный показатель / индекс / расчетная формула	Вес
1.	Потенциал: $E_1 = E_{11} + E_{12} + E_{13}$	50
1.1.	Интеллектуальный потенциал: $E_{11} = 8E_{111} + 8E_{112} + 8E_{113} + 6E_{114}$	30
1.1.1.	Квалификация научно-педагогических кадров: $E_{111} = F[(C_{02} + 0,2C_{03}) / C_{01}]$	8
1.1.2.	Перспективность кадрового обеспечения: $E_{112} = F[(C_{04} + C_{05}) / C_{01}]$	8
1.1.3.	Членство в структуре АН: $E_{113} = F[(C_{06} + 0,5C_{07}) / C_{01}]$	8
1.1.4.	Число обладателей международных, государственных наград, почетных званий и т.п. от общего числа преподавателей: $E_{114} = F[(C_{08} + 0,2C_{09}) / C_{01}]$	6
1.2.	Материально-техническая база: $E_{12} = E_{121}$	10
1.2.1.	Материально-техническое обеспечение: $E_{121} = 3F[C_{10} / C_{18} + C_{19}] + 3F[100 C_{11} / (C_{18} + C_{19})] + 4F[C_{12} / (C_{18} + C_{19})]$	10=3+3+4
1.3.	Социально-культурная база: $E_{13} = E_{131}$	10
1.3.1.	Наличие общежитий и спортивных площадок: $E_{131} = 2F[C_{13} / C_{14}] + 2F[C_{15} / C_{16}] + 6F[C_{17} / (C_{18} + C_{19})]$	10=2+2+6
2.	Активность и качество образования: $E_2 = E_{21} + E_{22}$	30
2.1	Подготовка специалистов $E_{21} = 4E_{211} + 3E_{212} + 3E_{213} + 3E_{214} + 4E_{215} + 3E_{216}$	20
2.1.1.	Подготовка бакалавров и магистров: $E_{211} = F[C_{13} / (C_{18} + C_{19})]$	4
2.1.2.	Подготовка докторантов: $E_{212} = F[(C_{20} + 0,5C_{21}) / (C_{18} + C_{19})]$	3
2.1.3.	Эффективность специализированных советов: $E_{213} = F[(C_{22} + 0,2C_{23}) / C_{01}]$	3
2.1.4.	Привлекательность: $E_{214} = F[(C_{24} + C_{25} + C_{27} + C_{30}) / (C_{18} + C_{19})]$	3
2.1.5.	Репутация среди абитуриентов $E_{215} = 1 / C_{26}$	4
2.1.6.	Трудоустройство выпускников: $E_{216} = F[C_{28} / C_{29}]$	3
2.2	Качество научных исследований: $E_{22} = 10 E_{221}$	10
2.2.1	Апробация научных результатов в стране и за рубежом: $E_{221} = F[(0,3C_{31} + 0,7C_{32} + C_{33} + 0,2C_{34} + C_{35} + 0,9C_{36}) / C_1]$	10
3.	Международное признание: $E_3 = 4E_{31} + 4E_{32} + 4E_{33} + 4E_{34} + 4E_{35}$	20
3.1.	Иностранные студенты и местные студенты, обучающиеся за рубежом: $E_{31} = F[100(C_{16} + C_{37}) / (C_{18} + C_{19})]$	4
3.2.	Членство в международных организациях: $E_{32} = F[C_{38}]$	4
3.3.	Уровень участия в международных программах: $E_{33} = F[C_{39}]$	4
3.4.	Выигранные гранты (за последние два года): $E_{34} = F[C_{40} / (C_{18} + C_{19})]$	4
3.5.	Привлеченные зарубежные специалисты: $E_{35} = F[C_{41} / C_{01}]$	4

В качестве примера выберем пять альтернативных вузов, характеризующихся согласно критериям  $C_k$  ( $k = 1 \div 41$ ) данными отчетности за истекший учебный год (табл. 4). С помощью формул из табл. 3 получены соответствующие значения ключевых показателей качества образовательных услуг в альтернативных вузах и на их основе комплексные оценки рейтингов данных вузов. Упорядоченные согласно перечню из табл. 1 расчеты представлены в табл. 5.

Таблица 4

Условное обозначение критерия оценки	Альтернативные вузы				
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$C_{01}$ (чел.)	1863	1399	842	405	812
$C_{02}$ (чел.)	1036	112	866	289	416
$C_{03}$ (чел.)	194	110	169	40	163
$C_{04}$ (чел.)	578	22	50	223	318
$C_{05}$ (чел.)	125	703	59	51	94
$C_{06}$ (чел.)	15	11	1	6	6
$C_{07}$ (чел.)	20	11	3	15	7
$C_{08}$ (чел.)	16	1	14	14	13
$C_{09}$ (чел.)	45	26	32	23	44
$C_{10}$ (м <sup>2</sup> )	110000	61977	45408	30513	44496
$C_{11}$ (шт.)	5500	4629	2875	3565	2826
$C_{12}$ (шт.)	250000	173937	26821	195933	163822
$C_{13}$ (чел.)	1250	801	584	356	568
$C_{14}$ (чел.)	4500	2893	4189	2677	2135
$C_{15}$ (чел.)	1456	234	1126	758	1204
$C_{16}$ (чел.)	2135	2006	79	104	1207
$C_{17}$ (ед.)	33	9	15	6	7
$C_{18}$ (чел.)	4527	3264	1574	3302	680
$C_{19}$ (чел.)	6804	5836	5526	6518	3343
$C_{20}$ (чел.)	54	11	50	39	9
$C_{21}$ (чел.)	125	55	2	117	34
$C_{22}$ (чел.)	12	10	1	7	7
$C_{23}$ (чел.)	43	19	26	5	14
$C_{24}$ (усл. ед.)	120580000	46344945	7286662	54685742	60591850
$C_{25}$ (усл. ед.)	155670000	64331343	10046291	132654530	57103150
$C_{26}$ (заявления/место)	14	5	9	8	8
$C_{27}$ (усл. ед.)	12257000	3564	1144508	4005958	11019517
$C_{28}$ (чел.)	8278	5355	2742	81	3739
$C_{29}$ (чел.)	12256	11848	9227	10367	1292
$C_{30}$ (усл. ед.)	13789000	2311111	7969979	13175273	13341444
$C_{31}$ (ед.)	5560	3776	4948	5366	1012
$C_{32}$ (ед.)	1680	1149	502	309	997
$C_{33}$ (ед.)	350	125	90	153	116
$C_{34}$ (ед.)	645	503	219	186	60

Продолжение таблицы 4

$C_{35}$ (ед.)	240	234	111	205	217
$C_{36}$ (ед.)	240	181	163	36	215
$C_{37}$ (чел.)	249	28	55	56	3
$C_{38}$ (ед.)	25	4	2	11	13
$C_{39}$ (ед.)	15	4	0	13	10
$C_{40}$ (усл. ед.)	25145570	24352196	20099500	12639408	21885355
$C_{41}$ (чел.)	176	167	141	16	131

Таблица 5

№	Показатели качества	Альтернативные вузы				
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
1.	Потенциал вуза ( $E_1$ )	28,8688	20,2850	24,7423	35,0559	32,5731
1.1.	Интеллектуальный потенциал	13,9007	10,4509	13,5205	27,5018	16,7294
1.1.1.	Квалификация научно-педагогических кадров	0,5400	0,0896	1,0000	0,6877	0,5169
1.1.2.	Перспективность кадрового обеспечения	0,5566	0,7643	0,1899	1,0000	0,7486
1.1.3.	Членство в структуре АН	0,4198	0,3827	0,1001	1,0000	0,3876
1.1.4.	Обладатели международных, государственных наград, почетных званий и т.п.	0,2949	0,0930	0,5335	1,0000	0,5841
1.2.	Материально-техническая база	6,8730	5,8962	3,8347	4,3530	10,0000
1.2.1.	Материально-техническое обеспечение	6,8730	5,8962	3,8347	4,3530	10,0000
1.3.	Социально-культурная база	8,0952	3,9379	7,3870	3,2011	5,8437
1.3.1.	Наличие общежитий и спортивных площадок	8,0952	3,9379	7,3870	3,2011	5,8437
2.	Активность и качество образования ( $E_2$ )	11,0730	8,3052	8,4904	12,3946	14,3742
2.1.	Подготовка кадров	10,7088	7,9768	8,0158	11,3946	14,0336
2.1.1.	Подготовка бакалавров и магистров	0,7227	0,7718	0,9367	0,7988	1,0000
2.1.2.	Подготовка докторантов	1,0000	0,4060	0,7001	0,9655	0,6374
2.1.3.	Эффективность специализированных советов	0,5212	0,4493	0,3587	1,0000	0,5499
2.1.4.	Привлекательность	0,7555	0,3516	0,1055	0,5898	1,0000
2.1.5.	Репутация среди абитуриентов	0,0719	0,2001	0,1170	0,1313	0,1179
2.1.6.	Трудоустройство выпускников	0,2334	0,1562	0,1027	0,0027	1,0000
2.2.	Качество научных исследований	0,3642	0,3285	0,4746	1,0000	0,3406
2.2.1.	Апробация научных результатов	0,3642	0,3285	0,4746	1,0000	0,3406
3.	Международное признание вуза ( $E_3$ )	14,6835	9,5935	6,6910	7,5000	16,5777
3.1.	Иностранные студенты и местные студенты, обучающиеся за рубежом	0,6996	0,7430	0,0625	0,0541	1,0000
3.2.	Членство в международных организациях	1,0000	0,1718	0,0800	0,4576	0,5101
3.3.	Уровень участия в международных программах (в т.ч. TAMPUS, TESIS и т.д.)	1,0000	0,2816	0,0098	0,8878	0,6722
3.4.	Выигранные гранты (за последние два года)	0,4079	0,4919	0,5204	0,2366	1,0000
3.5.	Привлеченные зарубежные специалисты	0,5634	0,7100	1,0000	0,2388	0,9621
	Комплексная оценка (рейтинг) ( $E$ )	54,6254	38,1837	39,9237	54,9505	63,5250

Как видно из проведенных расчетов, вуз  $a_5$  с наибольшим значением комплексной оценки (63,5250) имеет наивысший рейтинг среди рассматриваемых альтернатив. Далее по убыванию:  $a_4$  (54,9505),  $a_1$  (54,6254),  $a_3$  (39,9237) и  $a_2$  (38,1837).

#### 4. Комплексная оценка вуза на основе нечеткого логического вывода

Как отмечено выше, комплексная оценка вуза в конкретный момент времени может быть получена путем аддитивного сложения агрегированных показателей трех ключевых сторон его деятельности. В нашем случае такими ключевыми показателями являются потенциал, активность и качество образования, международное признание. При этом агрегация по каждому из них осуществляется на основе эвристических формул, представленных в табл. 3. Тем не менее ясно, что любая из рассматриваемых оценок многокритериальна, каждый из применяемых критериев имеет свою степень важности (вес). Поэтому для комплексных оценок ключевых показателей применим метод многокритериальной оценки альтернатив на основе композиционного правила агрегирования описаний альтернатив с информацией о степенях предпочтительности критериев оценок, заданных в виде нечетких суждений.

**4.1. Оценка вузов по ключевому показателю «Потенциал».** Для формирования нечеткой модели по ключевому показателю «Потенциал» за основу возьмем следующие рассуждения:

$d_{11}$  : «Если квалификация научно-педагогических кадров вуза высокая, материально-техническое оснащение и обеспечение общежитиями и спортивными площадками достаточные, то потенциал вуза удовлетворительный»;

$d_{12}$  : «Если вдобавок число действительных членов и членов-корреспондентов АН среди штатных сотрудников вуза, равно как и обладателей международных и государственных наград, почетных званий и т.п., существенное, то потенциал вуза более чем удовлетворительный»;

$d_{13}$  : «Если же дополнительно к характеристикам, оговоренным в  $d_{12}$ , кадровое обеспечение вуза перспективное, то потенциал безупречный»;

$d_{14}$  : «Если вуз характеризуется всеми показателями, оговоренными в  $d_{13}$ , кроме информации о наличии среди штатных сотрудников вуза действительных членов и членов-корреспондентов АН, равно как и обладателей международных и государственных наград, почетных званий и т.п., то потенциал вуза очень удовлетворительный»;

$d_{15}$  : «Если квалификация научно-педагогических кадров вуза высокая, среди его штатных сотрудников число действительных членов и членов-корреспондентов АН, равно как и число обладателей международных и государственных наград, почетных званий и т.п., существенное, материально-техническое оснащение и обеспечение общежитиями и спортивными площадками достаточные, но при этом кадровое обеспечение вуза неперспективное, то потенциал вуза будет все же удовлетворительным»;

$d_{16}$  : «Если квалификация научно-педагогических кадров вуза невысокая, его кадровое обеспечение неперспективное, а материально-техническое оснащение недостаточное, то потенциал вуза неудовлетворительный».

Анализ этих высказываний в виде причинно-следственных связей позволяет выявить шесть входных ( $x_k$  — индикаторы потенциала) и одну выходную ( $y$  — удовлетворительность потенциала) характеристики. Тогда, полагая их лингвистическими переменными, модель для оценки потенциала вуза построим в виде следующих нечетких логических правил:

$d_{11}$ : «Если  $x_1$  = высокая,  $x_5$  = достаточное,  $x_6$  = достаточное, то  $y$  = удовлетворительный»;

$d_{12}$ : «Если  $x_1$  = высокая,  $x_3$  = существенное,  $x_4$  = существенное,  $x_5$  = достаточное,  $x_6$  = достаточное, то  $y$  = более чем удовлетворительный»;

$d_{13}$ : «Если  $x_1$  = высокая,  $x_2$  = перспективное,  $x_3$  = существенное,  $x_4$  = существенное,  $x_5$  = достаточное,  $x_6$  = достаточное, то  $y$  = безупречный»;

$d_{14}$ : «Если  $x_1$  = высокая,  $x_2$  = перспективное,  $x_5$  = достаточное,  $x_6$  = достаточное, то  $y$  = очень удовлетворительный»;

$d_{15}$ : «Если  $x_1$  = высокая,  $x_2$  = неперспективное,  $x_3$  = существенное,  $x_4$  = существенное,  $x_5$  = достаточное,  $x_6$  = достаточное, то  $y$  = удовлетворительный»;

$d_{16}$ : «Если  $x_1$  = невысокая,  $x_2$  = неперспективное,  $x_5$  = недостаточное, то  $y$  = неудовлетворительный».

В данном случае множество решений характеризуется набором критериев, являющихся термами лингвистических переменных  $x_k$  ( $k = 1 \div 6$ ), заданных на универсумах  $U_{1k}$  соответственно. В качестве таких универсумов выберем интервалы  $[0; x_k^{\max}]$ , где  $x_k^{\max}$  — максимальная величина среди значений индикаторов рассматриваемых альтернатив (вузов). Поэтому, прежде чем реализовать правила  $d_{11} - d_{16}$ , формирующие причинно-следственные связи между критериями оценки (индикаторами), с одной стороны, и ключевым показателем «Потенциал», с другой, упорядочим входные и выходные переменные (табл. 6.)

Таблица 6

Входные лингвистические переменные	$x_1$	Имя переменной	Квалификация научно-педагогических кадров
		Терм-множество	{ $X_1$ = высокая, $\neg X_{11}$ = невысокая }
		Универсум	[0; 1]
	$x_2$	Имя переменной	Кадровое обеспечение
		Терм-множество	{ $X_{12}$ = перспективное, $\neg X_{12}$ = неперспективное }
		Универсум	[0; 1]
	$x_3$	Имя переменной	Число действительных членов и членов-корреспондентов АН
		Терм-множество	{ $X_{13}$ = существенное }
		Универсум	[0; 1]
	$x_4$	Имя переменной	Число обладателей международных и государственных наград, почетных званий и т.п.
		Терм-множество	{ $X_{14}$ = существенное }
		Универсум	[0; 1]
	$x_5$	Имя переменной	Материально-техническое обеспечение
		Терм-множество	{ $X_{15}$ = достаточное, $\neg X_{15}$ = недостаточное }
		Универсум	[0; 10]
	$x_6$	Имя переменной	Обеспечение общежитиями и спортивными площадками
		Терм	{ $X_{16}$ = достаточное }
		Универсум	[0; 8,0952]

Выходная переменная	у	Имя переменной	Потенциал
		Терм-множество	{US = неудовлетворительный, S = удовлетворительный, MS = более чем удовлетворительный, VS = очень удовлетворительный, P = безупречный}
		Универсум	[0; 1]

Опишем термы в правых частях  $d_{11}-d_{16}$  с помощью нечетких множеств по опорному вектору  $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$  в виде:  $X = \frac{\mu_X(a_1)}{a_1} + \frac{\mu_X(a_2)}{a_2} + \frac{\mu_X(a_3)}{a_3} + \frac{\mu_X(a_4)}{a_4} + \frac{\mu_X(a_5)}{a_5}$ , где  $\mu_X(a_i)$  ( $i=1 \div 5$ ) — функция принадлежности, устанавливающая степень принадлежности индикатора  $i$ -го вуза соответствующему критерию оценки. В качестве такой функции выберем гауссову функцию вида:  $\mu_X(u) = \exp\{- (u - u_0)^2 / \sigma^2\}$ , где  $u_0$  — абсцисса вершины кривой, а  $\sigma^2$  — плотность (или дисперсия) распределения соседних элементов.

Таким образом, для термов из левых частей правил  $d_{11}-d_{16}$  имеем

$$X_{11} = \frac{0,429}{a_1} + \frac{0,036}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \frac{0,677}{a_4} + \frac{0,393}{a_5}; \quad X_{12} = \frac{0,455}{a_1} + \frac{0,801}{a_2} + \frac{0,072}{a_3} + \frac{1}{a_4} + \frac{0,777}{a_5};$$

$$X_{13} = \frac{0,260}{a_1} + \frac{0,218}{a_2} + \frac{0,039}{a_3} + \frac{1}{a_4} + \frac{0,223}{a_5}; \quad X_{14} = \frac{0,137}{a_1} + \frac{0,037}{a_2} + \frac{0,419}{a_3} + \frac{1}{a_4} + \frac{0,501}{a_5};$$

$$X_{15} = \frac{0,676}{a_1} + \frac{0,510}{a_2} + \frac{0,219}{a_3} + \frac{0,279}{a_4} + \frac{1}{a_5}; \quad X_{16} = \frac{0,865}{a_1} + \frac{0,230}{a_2} + \frac{0,761}{a_3} + \frac{0,157}{a_4} + \frac{0,501}{a_5}.$$

Что касается термов выходной лингвистической переменной  $y$ , в качестве универсума выберем дискретное множество  $J = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$ . Тогда используемые в правых частях импликативных правил термы  $\forall j \in J$  можно описать нечеткими множествами с соответствующими функциями принадлежности [5]:  $S = \text{удовлетворительный}$  —  $\mu_S(j) = j$ ;  $MS = \text{более чем удовлетворительный}$  —  $\mu_{MS}(j) = \sqrt{j}$ ;  $P = \text{безупречный}$  —  $\mu_P(j) = \begin{cases} 1, & j = 1, \\ 0, & j < 1; \end{cases}$   $VS = \text{очень удовлетворительный}$  —  $\mu_{VS}(j) = j^2$ ;  $US = \text{неудовлетворительный}$  —  $\mu_{US}(j) = 1 - j$ . В этом случае правила  $d_{11}-d_{16}$  будут выглядеть так:

$d_{11}$ : «Если  $x_1 = A_{11}$ ,  $x_5 = A_{15}$ ,  $x_6 = A_{16}$ , то  $y = S$ »;

$d_{12}$ : «Если  $x_1 = A_{11}$ ,  $x_3 = A_{13}$ ,  $x_4 = A_{14}$ ,  $x_5 = A_{15}$ ,  $x_6 = A_{16}$ , то  $y = MS$ »;

$d_{13}$ : «Если  $x_1 = A_{11}$ ,  $x_2 = A_{12}$ ,  $x_3 = A_{13}$ ,  $x_4 = A_{14}$ ,  $x_5 = A_{15}$ ,  $x_6 = A_{16}$ , то  $y = P$ »;

$d_{14}$ : «Если  $x_1 = A_{11}$ ,  $x_2 = A_{12}$ ,  $x_5 = A_{15}$ ,  $x_6 = A_{16}$ , то  $y = VS$ »;

$d_{15}$ : «Если  $x_1 = A_{11}$ ,  $x_2 = \neg A_{12}$ ,  $x_3 = A_{13}$ ,  $x_4 = A_{14}$ ,  $x_5 = A_{15}$ ,  $x_6 = A_{16}$ , то  $y = S$ »;

$d_{16}$ : «Если  $x_1 = \neg A_{11}$ ,  $x_2 = \neg A_{12}$ ,  $x_5 = \neg A_{15}$ , то  $y = US$ ».

Пересечением нечетких множеств, определяя для левых частей этих правил функции принадлежности  $\mu_{M_i}(u)$  ( $i = 1 \div 6$ ), запишем правила в более компактной форме:

$d_{11}$ : «Если  $x = M_1$ , то  $y = S$ »;  $d_{12}$ : «Если  $x = M_2$ , то  $y = MS$ »;  $d_{13}$ : «Если  $x = M_3$ , то  $y = P$ »;

$d_{14}$ : «Если  $x = M_4$ , то  $y = VS$ »;  $d_{15}$ : «Если  $x = M_5$ , то  $y = S$ »;  $d_{16}$ : «Если  $x = M_6$ , то  $y = US$ »,

где

$$\mu_{M_1}(a) = \min\{\mu_{X_{11}}(a), \mu_{X_{15}}(a), \mu_{X_{16}}(a)\}, \quad M_1 = \frac{0,429}{a_1} + \frac{0,036}{a_2} + \frac{0,219}{a_3} + \frac{0,157}{a_4} + \frac{0,393}{a_5};$$

$$\mu_{M_2}(a) = \min\{\mu_{X_{11}}(a), \mu_{X_{13}}(a), \dots, \mu_{X_{16}}(a)\},$$

$$M_2 = \frac{0,137}{a_1} + \frac{0,036}{a_2} + \frac{0,039}{a_3} + \frac{0,157}{a_4} + \frac{0,223}{a_5};$$

$$\mu_{M_3}(a) = \min\{\mu_{X_{11}}(a), \mu_{X_{12}}(a), \dots, \mu_{X_{16}}(a)\},$$

$$M_3 = \frac{0,137}{a_1} + \frac{0,036}{a_2} + \frac{0,039}{a_3} + \frac{0,157}{a_4} + \frac{0,223}{a_5};$$

$$\mu_{M_4}(a) = \min\{\mu_{X_{11}}(a), \mu_{X_{12}}(a), \mu_{X_{15}}(a), \mu_{X_{16}}(a)\},$$

$$M_4 = \frac{0,429}{a_1} + \frac{0,036}{a_2} + \frac{0,072}{a_3} + \frac{0,157}{a_4} + \frac{0,393}{a_5};$$

$$\mu_{M_5}(a) = \min\{\mu_{X_{11}}(a), 1 - \mu_{X_{12}}(a), \mu_{X_{13}}(a), \dots, \mu_{X_{16}}(a)\},$$

$$M_5 = \frac{0,137}{a_1} + \frac{0,036}{a_2} + \frac{0,039}{a_3} + \frac{0}{a_4} + \frac{0,223}{a_5};$$

$$\mu_{M_6}(a) = \min\{1 - \mu_{X_{11}}(a), 1 - \mu_{X_{12}}(a), 1 - \mu_{X_{15}}(a)\},$$

$$M_6 = \frac{0,324}{a_1} + \frac{0,199}{a_2} + \frac{0}{a_3} + \frac{0}{a_4} + \frac{0}{a_5}.$$

В результате правила будут записаны в еще более компактной форме:

$d_{11}$ : «Если  $x = M_1$ , то  $y = S$ »;  $d_{12}$ : «Если  $x = M_2$ , то  $y = MS$ »;  $d_{13}$ : «Если  $x = M_3$ , то  $y = P$ »;

$d_{14}$ : «Если  $x = M_4$ , то  $y = VS$ »;  $d_{15}$ : «Если  $x = M_5$ , то  $y = S$ »;  $d_{16}$ : «Если  $x = M_6$ , то  $y = US$ ».

Для преобразования этих правил воспользуемся импликацией Лукасевича:  $\mu_H(a, j) = \min\{1, 1 - \mu_X(a) + \mu_Y(j)\}$ . Тогда для каждой пары  $(a, j) \in X \times Y$  на  $X \times Y$  имеем

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0,5711 & 0,6711 & 0,7711 & 0,8711 & 0,9711 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,9637 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,7814 & 0,8814 & 0,9814 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,8426 & 0,9426 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,6068 & 0,7068 & 0,8068 & 0,9068 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0,8631 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,9637 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,9608 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,8426 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,7769 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 1,0000 \\ 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 1,0000 \\ 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 1,0000 \\ 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 1,0000 \\ 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0,5711 & 0,5811 & 0,6111 & 0,6611 & 0,7311 & 0,8211 & 0,9311 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,9637 & 0,9737 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,9276 & 0,9376 & 0,9676 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,8426 & 0,8526 & 0,8826 & 0,9326 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,6068 & 0,6168 & 0,6468 & 0,6968 & 0,7668 & 0,8568 & 0,9668 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0,8631 & 0,9631 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,9637 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,9608 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,7769 & 0,8769 & 0,9769 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,6763 \\ 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,8007 \\ 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix}.$$

В результате пересечения этих отношений получаем общее функциональное решение в виде следующей матрицы:

$$R = \begin{bmatrix} 0,5711 & 0,5811 & 0,6111 & 0,6611 & 0,7311 & 0,8211 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,8631 & 0,6763 \\ 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,9637 & 0,8007 \\ 0,7814 & 0,8814 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 0,9608 & 1,0000 \\ 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 0,8426 & 1,0000 \\ 0,6068 & 0,6168 & 0,6468 & 0,6968 & 0,7668 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 0,7769 & 1,0000 \end{bmatrix}.$$

Для нахождения численных оценок потенциалов вузов  $a_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) применим правило композиционного вывода в нечеткой среде:  $E_i = G_i \circ R$ , где  $E_i$  — нечеткая интерпретация, собственно, самого потенциала  $i$ -го вуза,  $G_i$  — отображение  $i$ -го вуза в виде нечеткого подмножества на  $X$ . Тогда согласно композиционному правилу [5]  $\mu_{E_i}(k) = \max_{u \in X} \{\min(\mu_{G_i}(u), \mu_R(u))\}$ , где  $\mu_{G_i}(u) = \begin{cases} 0, & u \neq u_i; \\ 1, & u = u_i, \end{cases}$  следует, что  $\mu_{E_i}(k) = \mu_R(u_i, k)$ , т.е.  $E_i$  —  $i$ -я строка матрицы  $R$ . Далее применим процедуру дефаззификации для получения точечных (численных) оценок потенциалов вузов. Так для первого вуза  $a_1$  искомой оценкой потенциала является нечеткое множество (1-я строка матрицы  $R$ ):

$$E_1 = \frac{0,5711}{0} + \frac{0,5811}{0,1} + \frac{0,6111}{0,2} + \frac{0,6611}{0,3} + \frac{0,7311}{0,4} + \frac{0,8211}{0,5} + \frac{0,8631}{0,6} + \frac{0,8631}{0,7} + \frac{0,8631}{0,8} + \frac{0,8631}{0,9} + \frac{0,6763}{1,0}.$$

Вычисляя уровневые множества  $E_{1\alpha}$  и соответствующие им мощности

$M(E_{j\alpha})$  по формуле  $M(C_\alpha) = \sum_{p=1}^n \frac{k_p}{n}$ ,  $k \in C_\alpha$  [5], имеем

- для  $0 < \alpha < 0,5711$ :  $\Delta\alpha = 0,5711$ ;  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,5$ ;

- для  $0,5711 < \alpha < 0,5811$ :  $\Delta\alpha = 0,01$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,55$ ;

- для  $0,5811 < \alpha < 0,6111$ :  $\Delta\alpha = 0,03$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,6$ ;

- для  $0,6111 < \alpha < 0,6611$ :  $\Delta\alpha = 0,05$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,65$ ;

- для  $0,6611 < \alpha < 0,6763$ :  $\Delta\alpha = 0,0152$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,7$ ;

- для  $0,6763 < \alpha < 0,7311$ :  $\Delta\alpha = 0,0548$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,65$ ;

- для  $0,7311 < \alpha < 0,8211$ :  $\Delta\alpha = 0,09$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,7$ ;

- для  $0,8211 < \alpha < 0,8631$ :  $\Delta\alpha = 0,0420$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,75$ .

Далее по формуле  $F(E) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_\alpha) d\alpha$ , где  $\alpha_{\max}$  — максимальное

значение на  $E$  [5], находим численную оценку удовлетворительности потенциала первого вуза:

$$F(E_1) = \frac{1}{0,8631} \int_0^{0,8631} M(E_{1\alpha}) d\alpha = (0,5 \cdot 0,2856 + 0,55 \cdot 0,01 + 0,60 \cdot 0,03 + 0,65 \cdot 0,05 + 0,70 \cdot 0,0152 + 0,65 \cdot 0,0548 + 0,70 \cdot 0,09 + 0,75 \cdot 0,0420) = 0,5588.$$

Аналогично устанавливаем численные оценки потенциалов остальных вузов:  $a_2 - F(E_2) = 0,4915$ ;  $a_3 - F(E_3) = 0,5325$ ;  $a_4 - F(E_4) = 0,5787$ ;  $a_5 - F(E_5) = 0,6371$ .

**4.2. Оценка вузов по ключевому показателю «Активность и качество образования».** Как и в предыдущем случае, для оценки активности и качества образования в вузе за основу возьмем информационные фрагменты, отражающие непротиворечивые причинно-следственные связи.

$d_{21}$ : «Если число обучающихся в вузе студентов и магистрантов большое, а число обучающихся на специализированных кафедрах докторантов существенное, репутация вуза среди абитуриентов высокая и количество выпускников, трудоустроенных по профильной специальности, большое, то активность и качество образования удовлетворительные»;

$d_{22}$ : «Если вдобавок к  $d_{21}$  работа специализированных советов эффективная, а сам вуз обладает привлекательным имиджем, то активность и качество образования в вузе более чем удовлетворительные»;

$d_{23}$ : «Если же дополнительно к характеристикам, оговоренным в  $d_{21}$  и  $d_{22}$ , число опубликованных сотрудниками вуза научных результатов в стране и за рубежом значительное, то активность и качество образования в вузе безупречные»;

$d_{24}$ : «Если вуз характеризуется всем оговоренным в  $d_{23}$ , кроме его репутации среди абитуриентов, то активность и качество образования в вузе очень удовлетворительные»;

$d_{25}$ : «Если число обучающихся в вузе студентов и магистрантов большое, вуз обладает привлекательным имиджем, репутация вуза высокая и количество выпускников, трудоустроенных по профильной специальности, большое, число опубликованных сотрудниками вуза научных результатов в стране и за рубежом значительное, но при этом число обучающихся на специализированных кафедрах докторантов несущественное, а работа специализированных советов неэффективна, то активность и качество образования в вузе все же удовлетворительные»;

$d_{26}$ : «Если число обучающихся в вузе студентов и магистрантов небольшое, его репутация среди абитуриентов невысокая, количество выпускников, трудоустроенных по профильной специальности, небольшое, а число опубликованных штатными сотрудниками вуза научных результатов в стране и за рубежом незначительное, то активность и качество образования в вузе неудовлетворительные».

Анализ этих фрагментов выявил семь входных ( $x$  — индикаторы активности и качества обучения) и одну выходную ( $y$  — удовлетворительность активности и качества обучения) характеристики в причинно-следственных связях. Полагая их также лингвистическими переменными, соответствующую модель для оценки активности и качества обучения вуза построим в виде следующих нечетких логических правил:

$d_{21}$ : «Если  $x_1$  = большое,  $x_2$  = существенное,  $x_5$  = высокая,  $x_6$  = большое, то  $y$  = удовлетворительные»;

$d_{22}$ : «Если  $x_1$  = большое,  $x_2$  = существенное,  $x_5$  = эффективная,  $x_4$  = привлекательный,  $x_5$  = высокая,  $x_6$  = большое, то  $y$  = более чем удовлетворительные»;

$d_{23}$ : «Если  $x_1$  = большое,  $x_2$  = существенное,  $x_3$  = эффективная,  $x_4$  = привлекательный,  $x_5$  = высокая,  $x_6$  = большое,  $x_7$  = значительное, то  $y$  = безупречные»;

$d_{24}$ : «Если  $x_1$  = большое,  $x_2$  = существенное,  $x_3$  = эффективная,  $x_4$  = привлекательный,  $x_6$  = большое,  $x_7$  = значительное, то  $y$  = очень удовлетворительные»;

$d_{25}$ : «Если  $x_1$  = большое,  $x_2$  = несущественное,  $x_3$  = неэффективная,  $x_4$  = привлекательный,  $x_5$  = высокая,  $x_6$  = большое,  $x_7$  = значительное, то  $y$  = удовлетворительные»;

$d_{26}$ : «Если  $x_1$  = небольшое,  $x_5$  = невысокая,  $x_6$  = небольшое,  $x_7$  = незначительное, то  $y$  = неудовлетворительные».

Как и в предыдущем случае множество решений характеризуется набором нечетких критериев оценки:  $X_{21}$  = большое (число обучающихся в вузе студентов и магистрантов);  $X_{22}$  = существенное (число обучающихся на специализированных кафедрах докторантов);  $X_{23}$  = эффективная (работа специализированных советов);  $X_{24}$  = привлекательный (имидж вуза);  $X_{25}$  = высокая (репутация среди студентов);  $X_{26}$  = большое (количество выпускников, трудоустроенных по профильной специальности);  $X_{27}$  = значительное (число опубликованных штатными сотрудниками вуза научных статей в стране и за рубежом), заданных на универсумах  $U_{2k}$  ( $k = 1 \div 7$ ) соответственно. Перечисленные термы описаны нечеткими множествами  $A_{2k}$  ( $k = 1 \div 7$ ) с соответствующими гауссовыми функциями принадлежности  $\mu_{X_{2k}}(u_k)$  ( $u_k \in U_{2k}$ ), конфигурация и параметры которых идентифицируются, как и в предыдущем случае, на основе статистической обработки релевантных данных из предметной области (см. табл. 5). Выходные термы описаны нечеткими множествами с соответствующими функциями принадлежности так, как это было описано в разд. 4.1. Для оформления правил  $d_{21} - d_{26}$  в виде причинно-следственных связей, упорядочим входные и выходные переменные (табл. 7).

Таблица 7

Входные лингвистические переменные	$x_1$	Имя переменной	Число обучающихся студентов и магистрантов
		Терм-множество	{ $X_{21}$ = большое, $\neg X_{21}$ = небольшое }
		Континуум	[0; 1]
	$x_2$	Имя переменной	Число обучающихся докторантов
		Терм-множество	{ $X_{22}$ = существенное, $\neg X_{22}$ = несущественное }
		Континуум	[0; 1]
	$x_3$	Имя переменной	Работа специализированных советов
		Терм-множество	{ $X_{23}$ = эффективная }
		Континуум	[0; 1]
	$x_4$	Имя переменной	Имидж вуза
		Терм-множество	{ $X_{24}$ = привлекательный }
		Континуум	[0; 1]
	$x_5$	Имя переменной	Репутация среди абитуриентов
		Терм-множество	{ $X_{25}$ = высокая, $\neg X_{25}$ = невысокая }
		Континуум	[0; 1]
	$x_6$	Имя переменной	Количество трудоустроенных выпускников
		Терм	{ $X_{26}$ = большое, $\neg X_{26}$ = небольшое }
		Континуум	[0; 1]
	$x_7$	Имя переменной	Число опубликованных научных трудов
		Терм	{ $X_{27}$ = значительное, $\neg X_{27}$ = незначительное }
		Континуум	[0; 1]
Выходная переменная	Имя переменной	Уровень активности и качества образования	
	Терм-множество	{ $US$ = неудовлетворительный, $S$ = удовлетворительный, $MS$ = более чем удовлетворительный, $VS$ = очень удовлетворительный, $P$ = безупречный }	
	Континуум	[0; 1]	

Реализация правил  $d_{21} - d_{26}$  дала функциональное решение в виде матрицы

$$R = \begin{bmatrix} 0,9047 & 0,9147 & 0,9447 & 0,9681 & 0,9681 & 0,9681 & 0,9681 & 0,9681 & 0,9681 & 0,9681 & 0,1985 \\ 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,9421 & 0,1647 \\ 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,9601 & 0,3315 \\ 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 0,9813 & 1,0000 \\ 0,8243 & 0,8343 & 0,8643 & 0,9143 & 0,9555 & 0,9555 & 0,9555 & 0,9555 & 0,9555 & 0,9555 & 1,0000 \end{bmatrix},$$

каждая строка которой интерпретирует уровень активности и качества образования вуза  $a_k$  ( $k = 1 \div 5$ ) в виде нечеткого множества. Дефаззификация нечетких выводов относительно активности и качества образования вузов, проведенная изложенным выше методом точечной оценки нечетких множеств, привела к следующим результатам: для  $a_1$  —  $F(E_1) = 0,4675$ ; для  $a_2$  —  $F(E_2) = 0,4587$ ;  $a_3$  —  $F(E_3) = 0,4673$ ;  $a_4$  —  $F(E_4) = 0,5094$ ;  $a_5$  —  $F(E_5) = 0,5415$ .

**4.3. Оценка вузов по ключевому показателю «Международное признание».** Для оценки уровня международного признания вуза за основу возьмем следующие высказывания.

$d_{31}$ : «Если число обучающихся в вузе иностранных студентов и, соответственно, местных студентов, обучающихся за рубежом, большое, членство вуза в международных организациях существенное и количество привлеченных зарубежных специалистов большое, то международное признание вуза удовлетворительное»;

$d_{32}$ : «Если к тому же объем выигранных штатными сотрудниками вуза грантов существенный, то международное признание вуза более чем удовлетворительное»;

$d_{33}$ : «Если же дополнительно к условиям  $d_{31}$  и  $d_{32}$  уровень участия вуза в международных программах высокий, то его международное признание безупречное»;

$d_{34}$ : «Если имеет место все то, что оговорено в  $d_{33}$ , за исключением числа привлеченных для преподавания в вузе зарубежных специалистов, то его международное признание очень удовлетворительное»;

$d_{35}$ : «Если членство вуза в международных организациях существенное, уровень участия вуза в международных программах высокий, объем выигранных штатными сотрудниками вуза грантов существенный и число привлеченных зарубежных специалистов большое, но при этом число обучающихся в вузе иностранных студентов и, соответственно, местных студентов, обучающихся за рубежом, небольшое, то международное признание вуза будет все же удовлетворительным»;

$d_{36}$ : «Если членство вуза в международных организациях несущественное, уровень участия вуза в международных программах невысокий, то международное признание вуза неудовлетворительное».

Интерпретируя данные высказывания в виде причинно-следственных связей, выявим пять входных ( $x_k$  — индикаторы уровня международного признания) и одну выходную ( $y$  — удовлетворительность международного признания) характеристики. Полагая их также лингвистическими переменными, соответствующую модель для оценки потенциала вуза построим в виде следующих нечетких логических правил:

$d_{31}$ : «Если  $x_1$  = большое,  $x_2$  = существенное,  $x_5$  = высокое, то  $y$  = удовлетворительное»;

$d_{32}$ : «Если  $x_1$  = высокое,  $x_2$  = существенное,  $x_4$  = высокий,  $x_5$  = высокое, то  $y$  = более чем удовлетворительное»;

$d_{33}$ : «Если  $x_1$  = высокое,  $x_2$  = существенное,  $x_3$  = высокий,  $x_4$  = высокий,  $x_5$  = высокое, то  $y$  = безупречное»;

$d_{34}$ : «Если  $x_1$  = высокое,  $x_2$  = существенное,  $x_3$  = высокий,  $x_4$  = высокий, то  $y$  = очень удовлетворительное»;

$d_{35}$ : «Если  $x_1$  = невысокое,  $x_2$  = существенное,  $x_3$  = высокий,  $x_4$  = высокий,  $x_5$  = высокое, то  $y$  = удовлетворительное»;

$d_{36}$ : «Если  $x_2$  = несущественное,  $x_3$  = невысокий, то  $y$  = неудовлетворительное».

Для оформления этих правил упорядочим все переменные (табл. 8).

Таблица 8

Входные лингвистические переменные	$x_1$	Имя переменной	Число обучающихся иностранных студентов и студентов вуза, обучающихся за рубежом
		Терм-множество	$\{X_{31} = \text{большое}, \neg X_{31} = \text{небольшое}\}$
		Универсум	$[0; 1]$
	$x_2$	Имя переменной	Участие в международных организациях
		Терм-множество	$\{X_{32} = \text{существенное}, \neg X_{32} = \text{несущественное}\}$
		Универсум	$[0; 1]$
	$x_3$	Имя переменной	Уровень участия в международных программах
		Терм-множество	$\{A_{33} = \text{высокий}, \neg A_{33} = \text{невысокий}\}$
		Универсум	$[0; 1]$
	$x_4$	Имя переменной	Объем выигранных грантов
		Терм-множество	$\{A_{34} = \text{существенный}\}$
		Универсум	$[0; 1]$
	$x_5$	Имя переменной	Количество привлеченных зарубежных специалистов
		Терм-множество	$\{A_{35} = \text{большое}\}$
		Универсум	$[0; 1]$
Выходная переменная	$y$	Имя переменной	Уровень международного признания
		Терм-множество	$\{US = \text{неудовлетворительный}, S = \text{удовлетворительный}, MS = \text{более чем удовлетворительный}, VS = \text{очень удовлетворительный}, P = \text{безупречный}\}$
		Универсум	$[0; 1]$

Аналогично предыдущим случаям множество решений характеризуется следующим набором нечетких критериев оценки:  $A_{31}$  = большое (число обучающихся в вузе иностранных студентов и местных студентов, обучающихся за рубежом);  $A_{32}$  = существенное (участие вуза в международных организациях);  $A_{33}$  = высокий (уровень участия вуза в международных программах);  $A_{34}$  = существенный (объем выигранных штатными сотрудниками вуза грантов);  $A_{35}$  = большое (количество привлеченных зарубежных специалистов), заданных на универсумах  $U_{3k}$  ( $k = 1 \div 5$ ) соответственно. Перечисленные критерии описываются нечеткими множествами  $A_{3k}$  ( $k = 1 \div 5$ ) с соответствующими функциями

ми принадлежности:  $\mu_{X_{3k}}(u_k)$  ( $u_k \in U_{3k}$ ), конфигурация и параметры которых идентифицируются отдельно — на основе статистической обработки релевантных данных из предметной области (см. табл. 5). Выходные термы описаны нечеткими множествами с соответствующими функциями принадлежности так, как это было описано в разд. 4.1. В результате реализация правил  $d_{21} - d_{26}$  дала функциональное решение в виде матрицы

$$R = \begin{bmatrix} 0,5335 & 0,6335 & 0,7335 & 0,7539 & 0,7539 & 0,7539 & 0,7539 & 0,7539 & 0,7539 & 0,7539 & 1,0000 \\ 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,9357 & 0,1269 \\ 0,9703 & 0,9802 & 0,9802 & 0,9802 & 0,9802 & 0,9802 & 0,9802 & 0,9802 & 0,9802 & 0,9802 & 0,0339 \\ 0,9028 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9721 & 0,9509 \\ 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6172 & 0,6506 \end{bmatrix},$$

каждая строка которой интерпретирует уровень активности и качества образования вуза  $a_k$  ( $k = 1 \div 5$ ) в виде нечеткого множества.

Дефазификация нечетких выводов относительно ключевого показателя «Уровень международного признания» вузов, проведенная изложенным выше методом точечной оценки нечетких множеств, дала следующие результаты: для  $a_1$  —  $F(E_1) = 0,6411$ ; для  $a_2$  —  $F(E_2) = 0,4568$ ;  $a_3$  —  $F(E_3) = 0,4522$ ;  $a_4$  —  $F(E_4) = 0,5025$ ;  $a_5$  —  $F(E_5) = 0,4974$ .

Таким образом, на основе механизма нечеткого вывода получены численные значения рассматриваемых альтернативных вузов относительно трех ключевых показателей качества образовательных услуг, которые сгруппированы в табл. 9. Там же указаны итоговые рейтинги вузов, полученные на основе простого сложения значений ключевых показателей.

Таблица 9

Показатели	Альтернативные вузы				
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
Потенциал вуза ( $E_1$ )	0,5588	0,4915	0,5325	0,5787	0,6391
Активность и качество образования в вузе ( $E_2$ )	0,4675	0,4587	0,4673	0,5094	0,5415
Международное признание вуза ( $E_3$ )	0,6411	0,4568	0,4522	0,5025	0,4974
Комплексная оценка (рейтинг) ( $E$ )	1,6674	1,4071	1,4520	1,5905	1,6780

## 5. Обсуждение полученных результатов

По результатам применения данных методов к оцениванию пяти произвольно выбранных вузов (гипотетических альтернатив) получены их рейтинги и соответствующие им ранжирования:

- статистическим методом: 1)  $a_5$  — 63,5250; 2)  $a_4$  — 54,9505; 3)  $a_1$  — 54,6254; 4)  $a_3$  — 39,9237; 5)  $a_2$  — 38,1837;

- вербальным методом: 1)  $a_5$  — 1,6780; 2)  $a_1$  — 1,6674; 3)  $a_4$  — 1,5905; 4)  $a_3$  — 1,4520; 5)  $a_2$  — 1,4071.

Как видно, порядок следования вузов отличается только на второй и третьей позициях, т.е. отличаются ранги первого и четвертого вузов. Это можно объяснить тем, что данные вузы несущественно отличаются своими исходными статисти-

стическими показателями. Тем не менее ранжирование на основе вербального подхода более достоверно, так как применяемый здесь метод нечеткого логического вывода более чувствителен к незначительным расхождениям в исходных статистических данных.

В обоих случаях итоговый рейтинг вуза рассчитывался на основе достаточно тривиального сложения ключевых показателей  $E_i$  ( $i = 1 \div 3$ ). Конечно, в подобных случаях суммирование значений ключевых показателей следует проводить взвешенно, например, так, как это осуществляется рейтинговым агентством Quacquarelli Symonds World University Rankings (QS WUR) [6]. В частности, технология агентства QS WUR предусматривает агрегирование оценок ключевых показателей по формуле:  $r_j = \sum_{k=1}^n \frac{w_k \cdot x_{kj}}{w_k}$ , где  $r_j$  — показатель рейтинга  $j$ -го вуза;  $n$  — число факторов воздействия (ключевых показателей);  $w_k$  — вес  $k$ -го показателя;  $x_{kj}$  — значение  $k$ -го показателя  $j$ -го вуза. Адаптируя данную формулу к нашей задаче, где рассматривается три ключевых показателя  $E_i$  ( $i = 1 \div 3$ ) с соответствующими весами:  $w_1 = 50$ ,  $w_2 = 30$  и  $w_{32} = 20$  (см. табл. 2), дополнительно получим еще по одному списку ранжирования (табл. 10). Как видно, и в этом случае порядок следования вузов не изменился.

Таблица 10

Вуз	Ранжирование на основе статистического подхода		Ранжирование на основе вербального подхода	
	Обобщенная оценка	Порядковый номер	Обобщенная оценка	Порядковый номер
$a_1$	20,6930	3	0,5479	2
$a_2$	14,5528	5	0,4748	5
$a_3$	16,2565	4	0,4969	4
$a_4$	22,7463	2	0,5427	3
$a_5$	23,9144	1	0,5815	1

### Заключение

Рассмотрено два подхода к оценке качества образовательных услуг вузов: 1) статистический, основанный на взвешенных оценках ключевых показателей вузов, и 2) вербальный, базирующийся на применении механизма нечеткого вывода. Предлагаемый нечеткий метод ранжирования вузов на предмет качества предоставляемых ими образовательных услуг охватывает только пять вузов, что, в свою очередь, обусловило применение опорного вектора из пяти компонентов ( $a_1, a_2, \dots, a_5$ ) для нечеткого описания критериев оценки. Очевидно, что при большем количестве учебных заведений, например, как в случае QSWUR, 500 университетов, качество описания критериев оценки показателей  $x_k$  ( $k = 1 \div 6$ ) по средствам нечетких множеств заметно улучшится, что положительно скажется на адекватности последующего ранжирования.

Авторы выражают искреннюю благодарность доктору физ.-мат. наук, профессору, и.о. ректора Ленкоранского государственного университета (Азербайджан) Н. Ибрагимову за содействие, оказанное им при формировании статистического подхода к оцениванию качества предоставляемых вузами образовательных услуг.

*М.Дж. Марданов, Р.Р. Рзаєв*

## ДВА ПІДХОДИ ДО КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ І РАНЖУВАННЯ ВУЗІВ

Для оцінки і подальшого ранжування вузів на предмет якості надаваних ними освітніх послуг пропонується два підходи: статистичний, заснований на зважених оцінках ключових показників вузів, і вербальний, заснований на застосуванні механізму нечіткого логічного висновку. За результатами застосування даних методів до оцінки п'яти довільно вибраних вузів (гіпотетичних альтернатив) отримано їх агреговані оцінки (рейтинги) і відповідні їм два способи ранжування.

*M.J. Mardanov, R.R. Rzayev*

## TWO APPROACHES TO INTEGRATED ASSESSMENT AND RANKING OF UNIVERSITIES

For the evaluation and the subsequent ranking of universities as to the quality of educational services provided by them it is proposed two approaches: statistical based on weighted estimates of key indicators of universities, and verbal based on the application of fuzzy inference engine. By applying these methods to the evaluation of five randomly selected universities (hypothetical alternatives), it is obtained their aggregate estimations (ratings) and corresponding two ways of ranking.

1. *Zadeh L.A.* Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes // IEEE Trans., Syst., Man, Cybern. — 1973. — **SMC-3**. — P. 28–44.
2. *Акматов А.А.* Оценка качества образования: обзор международного опыта. — <http://www.edc.in.kg/conference1/13.doc>
3. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Математика. Новое в зарубежной науке: Пер. с англ. / Под ред. Н.Н. Моисеева и С.А. Орловского. — М.: Мир, 1976. — 166 с.
4. *Соболев В.С., Степанов С.А.* Концепция, модель и критерии эффективности внутри вузовской системы управления качеством высшего профессионального образования // Университетское управление. — 2004. — № 2(31). — С. 102–110.
5. *Рзаев Р.Р.* Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений. — М.: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG. — 2013. — 130 с.
6. *QS World University Rankings 2015/16.* — <http://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2015#sorting=rank+region=+country=+faculty=+stars=false+search>

*Получено 12.09.2016*

*После доработки 05.01.2017*