

УДК 332.1:004.9

ГИБРИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ ЮГА РОССИИ)

Селютин В.В., Заруцкий С.А., Месропян К.Э.

**Институт социально-экономических и гуманитарных исследований
Южного научного центра РАН, Южный федеральный университет**

В статье предлагается гибридная технология многомерного ранжирования сложных социально-экономических систем со многими входами и выходами. Сопоставляются два подхода, с помощью которых производится объективное разделение объектов на эффективные и неэффективные на основе модели DEA и субъективное ранжирование с помощью методов MCDM. Сочетание двух подходов позволяет повысить качество интегрального оценивания сложных систем. Приведен пример ранжирования по степени эффективности городов Юга России

Ключевые слова: MCDM, DEA, TOPSIS, AHP, региональные системы, интегральное оценивание, ранжирование, эффективность

Введение

Социально-экономические системы описываются большим количеством разнообразных показателей, характеризующих их текущее состояние и динамику. С точки зрения менеджмента вполне естественным является желание снизить размерность пространства принятия решений путём агрегирования этих показателей. Таким образом, интегральное оценивание является важным элементом анализа и планирования, а построение интегральных индикаторов – одним из основных инструментов принятия решений как на уровне корпораций, так и на региональном и национальном уровнях.

Способы получения интегральных оценок зависят от целей анализа и управления, что выражается в множественности подходов к оцениванию региональных систем. Так, если в качестве целевого показателя выбрана эффективность, то наиболее широко используемым в научных и прикладных исследованиях подходом к её интегральному оцениванию является Data Envelopment Analysis (далее DEA), включающий несколько десятков различных модификаций [1].

Данный подход использует понятие эффективности по Парето-Купмансу, согласно которому технология системы является эффективной тогда и только тогда, когда система не имеет возможности уменьшить потребление некоторого ресурса (входа) или улучшить свой результат (выход), не ухудшая при этом другого результата и не потребляя большее количество других ресурсов [2]. DEA является непараметрическим подходом к измерению сравнительной эффективности однотипных объектов, каждый из которых описывается одинаковым набором входов и выходов.

С другой стороны, интенсивно развивается и другой инструментарий, ориентированный на исследование систем со многими входами и выходами, которые можно рассматривать как критерии в пространстве принятия решений – методы многокритериального принятия решений (Multi Criteria Decision Making, далее – MCDM). Подход MCDM является классическим средством для сравнения альтернатив в многокритериальной среде.

Целью данной работы является сопоставление и попытка соединения двух указанных подходов в целях использования их преимуществ и нейтрализации недостатков, а следовательно – повышения качества многокритериального оценивания. В качестве объекта многокритериального оценивания будут рассматриваться города Юга России.

Статья организована следующим образом. В первой части представлен обзор применения MCDM и DEA в региональных исследованиях, а также приводится сравнение этих подходов, описываются их плюсы и минусы и возможности одновременного использования. Во второй части дается описание используемых для построения оценок данных, методов и последовательности применения последних. Описываются процедуры классического и аддитивного DEA, а также метод TOPSIS, входящий в линейку MCDM. В третьем разделе представлены полученные оценки по каждому из методов и результат их объединения. В заключение приводится обсуждение результатов.

1. Применение DEA и MCDM в региональных исследованиях

Сравнение региональных систем проводится, как правило, на основе интегральных социально-экономических индикаторов, получаемых с помощью многокритериальных методов системного анализа. Сопоставление экономики регионов производится по величине валового регионального продукта на душу населения, добавленной стоимости по наиболее значимым видам экономической деятельности, среднедушевых доходов, а также по отклонениям их значений по каждому региону от средних по стране уровней.

Весьма распространено агрегирование показателей с помощью средней арифметической (или геометрической) взвешенной. В сравнительном региональном анализе наиболее популярны такие способы нормирования показателей как: оценка относительного расстояния между фактическим и максимальным значением, метод экспертных оценок, среднеквадратическое отклонение, соотношение значения показателя с минимальным (или максимальным) значением, метод наименьших квадратов.

Эконометрическое направление инструментария представлено производственными функциями и другими регрессионными моделями, в частности моделями граничной регрессионной функции в рамках подхода Stochastic Frontier Analysis (SFA).

Hauner [3] объясняет существенные различия между российскими регионами в уровне эффективности общественного сектора, включающего здравоохранение, образование и социальную защиту населения. Проведенная автором эконометрическая проверка дает возможность полагать, что такие различия объясняются доходами на душу населения, долей федеральных трансфертов в доходах региональных бюджетов и качественными характеристиками региональной власти (“governance and democratic control”), а также уровнем расходов. В качестве интегральных индикаторов используются оценки эффективности, получаемые методом Data Envelopment Analysis, а также две другие комплексные оценки: производительность публичного сектора (public sector performance, PSP) и его эффективность (public sector efficiency, PSE). Последний показатель определяется отношением расходов социального сектора в валовом региональном продукте. Аналогичная методология лежит в основе сравнительного анализа 114 стран за период 1980–2004 гг. в работе Hauner and Kuobe [4]. Авторами на основе статистики здравоохранения и образования связь индикаторов положения социального сектора и его эффективности с потенциальными экономическими, институциональными, демографическими и географическими детерминантами. Показано, что высокая доля государственных расходов в объеме валового внутреннего продукта тесно связана с низкой эффективностью функционирования некоммерческого сектора.

Peng и Zhanxin [9] используют технологию DEA для оценки конкурентоспособности городов. Wang и Lan [10] измеряют динамику эффективности городов с помощью индекса Мальмквиста (Malmquist productivity index), рассчитываемого на основе подхода DEA, Tsuneyoshi и др. [6] применяют индекс Мальмквиста для анализа и оценки стабильности 97 государств в период 1981–2004 гг. Авторами сдвиги стабильности рассматриваются в взаимосвязи с изменениями относительно процессов слияния или разъединения стран.

В данной работе мы ограничимся двумя методами интегрального оценивания социально-экономических систем на базе DEA и одним из методов MCDM. Несмотря на очевидные различия, DEA и MCDM имеют и определенное сходство.

DEA позиционируется, в первую очередь, как метод оценки эффективности в многоцелевой среде, а также как средство эмпирической оценки кривой производственных возможностей для исследуемого множества экономических единиц. Понятие эффективности всегда несет в себе скрытое указание на прошлое. Действительно, обычно мы оцениваем эффективность уже проведенного управления или уже действующего механизма. В наиболее распространенной версии метода эффективность рассчитывается в виде отношения выходов (результатов управления) к входам (затраченным ресурсам), хотя при этом различные ресурсы и различные результаты агрегируются линейно (в виде взвешенной суммы).

С другой стороны, методы MCDM чаще всего используются для оценки (а также для ранжирования) альтернатив в процессе принятия решений. Таким образом, данный подход скорее ориентирован на будущее, оценивает то, что еще не произошло, не было создано. При этом интегральные оценки альтернатив получаются путём агрегирования оценок по частным критериям. Наиболее распространённой является линейная свёртка, однако довольно часто используются и нелинейные функционалы (например, L_p -нормы, то есть расстояния между точками многомерного пространства или мультипликативные свёртки).

Однако указанные различия – лишь кажущиеся и указывают скорее на разницу в сферах применения методов, нежели на их сущностные отличия. Действительно, оба подхода могут использоваться как для оценки эффективности, так и для других целей управления, оба могут применяться как к будущим решениям, так и для анализа существующих объектов и процессов [5]. Далее, во многих модификациях метода MCDM мы также можем использовать отношения в качестве интегрального показателя (например, *relative-flow* в SIR, взвешенные расстояния в TOPSIS). С другой стороны, существует вариант DEA с линейной сверткой (Additive DEA). Кроме того, если мы считаем, что замещение ресурсов или результатов нелинейно (как это чаще всего бывает на практике), мы можем использовать наши представления о характере этой нелинейности в технологии DEA (в частности, здесь также можно использовать L_p -норму). Таким образом, можно заключить, что ни сфера применимости, ни функциональный вид свёрток не отражают существо различий между DEA и MCDM.

Реальным отличием в методологии двух сравниваемых подходов является способ построения множества оптимальных альтернатив, т.е. множества Парето, который в случае совпадения видов свёрток сводится к выбору различных весовых коэффициентов. DEA предполагает фактически полный перебор в некоторой ограниченной области весовых коэффициентов критериев для каждой из альтернатив, на основе которого определяются эффективные (оптимальные) объекты. Тогда как в MCDM веса чаще всего задаются явно (экспертом или группой экспертов), либо с помощью некоторых формализованных процедур (например, методом парных сравнений). Таким образом, DEA является «идеалистичным» подходом, т.к. для каждой альтернативы подбираются веса, наиболее подходящие для нее. MCDM же можно назвать «реалистичным» в том смысле, что, во-первых, веса выставляются одинаковыми для всех альтернатив и, во-вторых, эксперты обеспечивают задание весовых коэффициентов в соответствии с целевыми установками в рамках решаемых задач.

Из обрисованных выше общих черт и различий рассматриваемых подходов сразу же вытекают их особенности, достоинства и недостатки. Во-первых, для обоих методов чрезвычайно важны такие этапы как выбор критериев из некоторого множества, разбиение их на входы и выходы, подбор альтернатив, а также спецификация функции свёртки. Эти этапы не имеют четкой формализации, и их реализация во многом упирается в уровень знаний исследователя как в области собственно методологии, так и в области предмета анализа. Во-вторых, DEA предъявляет более скромные требования к предметному знанию, а также позволяет отказаться от трудоёмких процедур выбора экспертов и проведения экспертных опросов, т.к. процедура расчёта предельно формализована. Однако это потенциально означает, что полученные неявно веса, при которых объекты оказываются эффективными, могут весьма сильно отличаться от реальных предпочтений ЛПР. В силу «идеалистичности» DEA снижение числа критериев никогда не сделает оптимальными

новые объекты, и наоборот – увеличение числа критериев никогда не приведет к снижению числа оптимальных объектов. В-третьих, при небольшом числе объектов DEA теряет свой смысл: нам либо придётся отказаться от некоторых существенных критериев, либо придется признать все объекты оптимальными. С другой стороны, при наличии большого объёма данных DEA потенциально может дать устойчивые и более адекватные результаты. Это объясняется тем, что даже группа экспертов при отсутствии консенсуса может прийти к неадекватным оценкам, не учитывающим определённые связи входов и выходов, которые, тем не менее, проявят себя в реальных данных.

Однако в целом, можно сказать, что рассматриваемые подходы являются не противоположными средствами, из которых к конкретной проблеме следует применять лишь одно. Скорее, они дополняют друг друга, и их следует применять совместно: MCDM может дать «реалистичную» среднюю оценку, а DEA – «идеалистичную», указав на неучтенные факторы.⁵

2. Методология и данные

Проведем оценку эффективности функционирования городов Юга России, используя подходы DEA и MCDM. Сначала мы произведем идеалистичную оценку, построив множество Парето-Купманса с помощью DEA и определив на нем эффективные и неэффективные города. Таким образом, нам не придется изначально ограничивать вид этого множества конкретными весами. В итоге, мы получим разделение городов на эффективные и неэффективные и ранжирование по эффективности на множестве неэффективных городов. Далее, мы зададим конкретные веса и проведем сравнение городов с помощью TOPSIS для того, чтобы сравнить между собой также и города, оказавшиеся эффективными.

Данные для построения оценок представлены в виде $s+m$ показателей для j систем (городов) в форме матрицы входов $X^t = \{x_{ij}^t\}$ и матрицы выходов $Y^t = \{y_{rj}^t\}$.

Данные для моделей [8]:

- Y_1 – обрабатывающие производства, млн руб.;
- Y_2 – производство и распределение электроэнергии, газа и воды, млн руб.;
- Y_3 – строительство, млн руб.;
- Y_4 – оборот розничной торговли, млн руб.;
- X_1 – инвестиции в основной капитал, млн руб.;
- X_2 – среднегодовая численность работников организаций, тыс. чел. (см. табл.1)

Таблица № 1.

Описательные статистики для исходных данных

	Минимум	Максимум	Среднее	Медиана	Ст. Отклонение	Коэффициент вариации
Y_1	102	1 049	303	209	257	0,85
Y_2	11	185 847	21 434	6 682	39 154	1,83
Y_3	90	47 073	6 901	3 095	9 873	1,43
Y_4	120	35 473	5 333	1 463	9 294	1,74
X_1	0	66 169	10 735	3 391	18 104	1,69
X_2	143	112 108	13 970	3 206	24 456	1,75

⁵Помимо «реалистичного» и «идеалистичного» подходов логично предположить и существование «пессимистичного» подхода, т.е. такого, в котором мы перебираем веса, стараясь доказать неоптимальность альтернатив. Такой подход действительно существует (например, Stochastic multiobjective acceptability analysis – SMAA [11]) и рекомендуется к применению наряду с рассмотренными двумя, но не описывается в данной работе.

Подход и модели DEA

Базовая дробно-линейная модель DEA предполагает поочередную для всех рассматриваемых объектов максимизацию эффективности, то есть отношения θ средневзвешенных выходов (y) к средневзвешенным входам (x) на множестве произвольных неотрицательных весов u, w при условии, что для остальных объектов это отношение не превышает единицы. Очевидно, что при такой постановке для эффективных объектов $\max \theta = 1$. А именно,

$$\max_{u,v} \theta^j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^j y_{r0}}{\sum_{i=1}^m w_i^j x_{i0}}, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}^k}{\sum_{i=1}^m w_i x_{i0}^k} \leq 1,$$

при условии

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

$$w_1, w_2, \dots, w_m \geq 0$$

При переходе от дробно-линейной записи модели к линейной записи оптимизационная задача для аддитивной модели DEA записывается в виде (с заменой коэффициентов w на коэффициенты v):

$$\min_{u,v} \omega = v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo} - u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so}$$

при ограничениях:

$$v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} - u_1 y_{1j} + \dots + u_m y_{mj} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

Очевидно, что неэффективный объект может стать эффективным либо путём уменьшения входов (расходов, используемых ресурсов), либо путём увеличения выходов (доходов, объёмов выпуска), либо за счёт одновременного изменения в указанных направлениях.

Важно, что анализ эффективности с помощью DEA погружен в более глубокий исследовательский контекст, и выделяется, по крайней мере, три актуальных аспекта: систематизация многочисленных определений понятия «эффективности», определение общих условий возможности применения конкретных моделей и повышение качества дискриминации в моделях [7].

Подход и модели MCDM

Базовый алгоритм DEA разделяет объекты на эффективные и неэффективные, но не позволяет осуществить ранжирование эффективных объектов. Поэтому для ранжирования эффективных городов предлагается использовать методы MCDM. Так как в MCDM не разделяются входы и выходы подобно тому, как это делается в DEA, будем агрегировать только выходы. Таким образом, в нашем распоряжении остаётся меньшее число объектов и меньшее число индикаторов.

В силу убывающей предельной производительности факторов производства множество Парето для макроэкономических выходов обычно имеет нелинейную форму. Множество такой формы нельзя оценить с помощью линейных свертков показателей. Поэтому мы будем использовать квадратичную свертку, а именно метод TOPSIS.

Использование TOPSIS предполагает следующую последовательность действий [12]. Сначала, значения по критериям нормируются и взвешиваются. На основе взвешенных значений определяются идеальные позитивные и негативные альтернативы (A^+ и A^-). Далее вычисляются евклидовы расстояния объектов в многомерном пространстве критериев от идеальных альтернатив:

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 (v_{ij} - v_i^+)^2}$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 (v_{ij} - v_i^-)^2},$$

$j = 1, 2, \dots, J$, где w_i – вес i -го критерия.

Далее для каждого объекта j рассчитывается интегральная оценка в виде отношения найденных расстояний:

$$C_j = \frac{D_j^-}{D_j^- + D_j^+}, \quad j = 1, 2, \dots, J.$$

Вектор относительных расстояний C позволяет ранжировать объекты и сравнить их между собой количественно.

3. Результаты применения MCDM и DEA

В первом варианте расчетов два показателя – «инвестиции в основной капитал» и «среднегодовая численность работников организаций» рассматриваются как имеющие отрицательную направленность (то есть с ростом их объемов эффективность при прочих равных условиях снижается), остальные показатели характеризуются положительной направленностью. Таким образом, в ориентированной на вход (input oriented) модели DEA IO в качестве входов взяты два показателя, в качестве выходов – четыре.

Полученные оценки показали, что 17 из 28 городов относительно неэффективны. Расчеты проведены с использованием программы EMS.

Оставшиеся 11 городов мы сможем сравнить с помощью TOPSIS. В первую очередь, для проведения сравнения необходимо определить относительные веса критериев. В нашем случае веса были определены экспертным образом на основе парных сравнений критериев. Сначала была построена матрица парных сравнений, на основе которой оценены веса по методике, аналогичной методу анализа иерархий (АНП [13]) (см. Табл. 2).

Таблица № 2.

Матрица парных сравнений критериев для оценки весов

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	W
Y_1	1	3	2	4	0,66
Y_2	1/3	1	1/2	2	0,08
Y_3	1/2	2	1	3	0,23
Y_4	1/4	1/2	1/3	1	0,03

Используя полученные веса в процедуре TOPSIS, проведено ранжирование эффективных городов (см. Табл. 3).

Результаты расчетов

<i>Город</i>	<i>DEA additive non-oriented оценка</i>	<i>DEA radial non-oriented оценка</i>	<i>MCDM TOPSIS*100 оценка</i>	<i>Рейтинг города (на основе оценок из столбцов 3 и 4)</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Ростов-на-Дону	0	1,0000	0,44	6
Батайск	0	1,0000	0,22	11
Волгодонск	0	1,0000	0,54	2
Новочеркасск	0	1,0000	0,40	8
Новошахтинск	58,35	0,2904	-	27
Таганрог	176,78	0,5428	-	23
Шахты	5,46	0,9761	-	12
Краснодар	0	1,0000	0,55	1
Армавир	89,49	0,6699	-	16
Новороссийск	103,89	0,7137	-	13
Сочи	0	1,0000	0,41	7
Волгоград	0	1,0000	0,48	4
Волжский	0	1,0000	0,46	5
Камышин	83,32	0,6132	-	19
Ставрополь	0	1,0000	0,34	9
Кисловодск	106,49	0,4438	-	25
Невинномысск	0	1,0000	0,51	3
Пятигорск	0	1,0000	0,29	10
Астрахань	255	0,5343	-	22
Майкоп	145,01	0,5483	-	20
Махачкала	133,91	0,2685	-	28
Дербент	35,49	0,6952	-	14
Хасавюрт	10,9	0,6730	-	15
Назрань	117,5	0,6294	-	18
Нальчик	49,41	0,6491	-	17
Элиста	246,35	0,3618	-	26
Черкесск	214,17	0,5464	-	21
Владикавказ	115,79	0,4686	-	24

Заключение

Предложен и апробирован гибридный подход к оцениванию региональных социально-экономических систем с помощью построения интегральных показателей. Такого рода конструкции могут не только служить инструментом анализа эффективности работы управляющих структур, но и использоваться в практических целях для совершенствования региональной политики, а также в стратегическом планировании.

Был представлен краткий обзор практик оценивания сложных социально-экономических систем и сделано сопоставление двух наиболее распространенных подходов: DEA и MCDM. Далее был предложен гибридный подход, сочетающий использование инструментария DEA и MCDM для оценки региональных систем.

Предложенная процедура была апробирована в целях сравнительного анализа эффективности экономик городов Юга России. На первом шаге на основе DEA города были отнесены к эффективному и неэффективному подмножествам. На втором шаге эффективные города были ранжированы с помощью нелинейного метода TOPSIS. Гибридный подход позволил объединить разные взгляды на проблему интегрального оценивания и повысить обоснованность и объективность ранжирования городов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cook W.D., Seiford L.M. Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on // *European Journal of Operational Research*. 2009. № 192. P.1–17.
2. Dyson R.G., Allen R., Camanho A.S., Podinovski V.V., Sarrico C.S., Shale E.A. Pitfalls and protocols in DEA // *European Journal of Operational Research*. 2001. № 132. P. 245–259.
3. Hauner D. Explaining Differences in Public Sector Efficiency: Evidence from Russia's Regions // *World Development*. 2008. Vol. 36. № 10. P. 1745–1765.
4. Hauner D., Kyobe A. Determinants of Government Efficiency // *IMF Working Papers*. 08/228, International Monetary Fund. 2008. 27 p.
5. Stewart T.J. Relationships between Data Envelopment Analysis and Multicriteria Decision Analysis // *The Journal of the Operational Research Society*. 1996. Vol. 47, No. 5. P. 654–665.
6. Tsuneyoshi T., Hashimoto A., Haneda S. Quantitative evaluation of nation stability // *Journal of Policy Modeling*. 2012. № 34. P.132–154.
7. Месропян К.Э. Алгоритмизация процедуры измерения эффективности региональных систем на основе метода анализа огибающих (на примере сельского хозяйства Юга России) // *Вестник Южного научного центра РАН*. 2011. Т. 7. № 4. С. 83–88.
8. Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. 2009: Стат. сб. / Росстат. М., 2009. 378 с.
9. Peng L., Zhanxin M. The Evaluation of City Competitiveness in Shandong Province // *Energy Procedia*. 2011. №5. P. 472–476.
10. Wang Y., Lan Y. Measuring Malmquist productivity index: A new approach based on double frontiers Data envelopment analysis // *Mathematical and Computer Modelling*. 2011. № 54. P. 2760–2771.
11. Tervonen T., Lahdelma R. Implementing stochastic multicriteria acceptability analysis // *European Journal of Operational Research*. № 178. 2007. P. 500–513.
12. Chen S.J., Hwang C.L. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin. 1992.
13. Saaty T.L. *Principia Mathematica Decernendi: Mathematical Principles of Decision Making*. RWS Publications. Pittsburgh, Pennsylvania. 2010.