

УДК 519.8

**Моргунов Евгений Павлович**  
доцент кафедры информатики  
и вычислительной техники,  
канд. техн. наук, доцент  
**Моргунова Ольга Николаевна**  
доцент кафедры информатики  
и вычислительной техники,  
канд. техн. наук, доцент

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНОЙ СФЕРЫ В ГРУППЕ СТРАН «БОЛЬШОЙ ДВАДЦАТКИ»

Россия, г. Красноярск  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки  
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

[emorgunov@mail.ru](mailto:emorgunov@mail.ru)  
[olgamorgunova@mail.ru](mailto:olgamorgunova@mail.ru)

**Аннотация:** Рассмотрена задача оценки эффективности функционирования научной сферы на примере группы стран «большой двадцатки» (G20). В качестве пробного инструмента для ее решения предложена методика, основанная на использовании метода оценки эффективности систем Анализ Среды Функционирования (Data Envelopment Analysis). Проведена апробация предложенной методики на реальных данных. Дана интерпретация полученных результатов.

**Ключевые слова:** эффективность систем; научная сфера; Data Envelopment Analysis; DEA; Анализ Среды Функционирования; АСФ.

**Morgunov Evgeny Pavlovich**  
associate professor at computer science department,  
candidate of technical sciences, associate professor  
**Morgunova Olga Nikolaevna**  
associate professor at computer science department,  
candidate of technical sciences, associate professor

## AN APPROACH TO ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF SCIENTIFIC SPHERE IN THE COUNTRIES OF THE GROUP OF TWENTY

Russia, Krasnoyarsk  
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

[emorgunov@mail.ru](mailto:emorgunov@mail.ru)

**Abstract:** The problem of efficiency assessment of scientific sphere in the countries of The Group of Twenty is considered. As a trial tool for its solving, a technique is proposed which is based on using the method of Data Envelopment Analysis. Testing of the proposed technique was carried out using real data. The interpretation of the results obtained is given.

**Key words:** efficiency of systems; scientific sphere; Data Envelopment Analysis; DEA.

## **Введение**

В настоящее время актуальной проблемой является повышение эффективности научной сферы России. Для ее решения необходимо, в частности, уметь точно определять достигнутый уровень эффективности системы научного производства, в том числе, в сравнении с другими странами. Очевидно, что простого решения этой задачи не существует. Формализованные методы не могут дать окончательной оценки, поскольку в такой сложной сфере, как наука, велика доля факторов, не поддающихся полной формализации. Следовательно, принимать решения только на основе формализованных методик нельзя. Тем не менее, такие методики все же могут дать информацию к размышлению. В статье предлагается подобная методика, которую следует рассматривать лишь в качестве пробного шага в подходе к решению поставленной задачи – оценки уровня эффективности научной сферы.

На наш взгляд, будет целесообразным сопоставить показатели России в данной сфере с аналогичными показателями группы стран «большой двадцатки» (G20).

## **Исходные данные**

В качестве источника исходных данных был использован Доклад ЮНЕСКО по науке [1]. Для проведения исследования были выбраны следующие показатели.

1. Население страны (млн чел.).
2. ВВП страны в текущих ценах по текущему паритету покупательной способности (ППС) (млрд дол. США).
3. Расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) по текущему ППС (в млрд дол. США).
4. Количество исследователей в эквиваленте полной занятости (тыс. чел.).

5. Количество научных публикаций, созданных учеными и исследователями данной страны (тыс.).

Показатель количества публикаций является спорным, он подвергается критике в научном сообществе. Тем не менее, мы решили его включить в рассмотрение с учетом оговорок о формализованных методиках, сделанных во введении.

Данные для показателя «Население страны» взяты за 2014 г. Данные для показателей «ВВП страны», «Расходы на НИОКР» и «Количество исследователей» взяты за 2013 г., поскольку в указанном издании [1] нет данных по этим показателям за 2014 г. Исходя из предположения о том, что численность населения развитых стран увеличивается медленно, считаем такое использование данных за разные годы допустимым. Данные по показателю «Количество научных публикаций» также взяты за 2014 г. Поскольку в процессе публикации научных статей возможны довольно длительные задержки, то результаты по этому показателю будут во многом обусловлены затратами и усилиями, которые были приложены годом ранее.

В состав «большой двадцатки» (G20) входят следующие страны: Австралия, Аргентина, Бразилия, Великобритания, Германия, Индия, Индонезия, Италия, Канада, Китай, Мексика, Россия, Саудовская Аравия, США, Турция, Франция, Южная Африка, Южная Корея, Япония, а также Европейский Союз. Мы исключили Европейский Союз из рассмотрения, потому что все-таки это не единая страна. Пришлось исключить и Саудовскую Аравию, поскольку для нее в указанном источнике [1] присутствуют не все исходные данные по выбранным показателям. Однако мы посчитали возможным включить в исследование Испанию, которая на всех встречах «большой двадцатки» присутствовала в качестве приглашенного гостя. Данные по показателю «Количество исследователей» для Австралии и Индонезии взяты за 2009 г., поскольку в источнике [1] нет этих данных за 2013 г. Значение показателя «ВВП страны» для Аргентины взято с сайта <https://knoema.ru> [3] из-за отсутствия этих сведений в источнике [1].

Таким образом, в исследуемую группу вошли 19 стран. Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Исходные данные**

№ п/п	Страна	Население, млн чел.	ВВП, млрд дол. США	Расходы на НИОКР, млрд дол. США	Колич. исследователей, тыс. чел.	Колич. публикаций, тыс.
-------	--------	---------------------	--------------------	---------------------------------	----------------------------------	-------------------------

1	Австралия	23,6	999,2	21,0	92,6	46,6
2	Аргентина	41,8	857,7	5,2	51,6	7,9
3	Бразилия	202,0	3012,9	35,8	138,7	37,2
4	Великобритания	63,5	2452,7	39,9	259,3	87,9
5	Германия	82,7	3539,3	101,0	360,3	91,6
6	Индия	1267,4	6783,8	48,1	192,8	53,7
7	Индонезия	252,8	2389,0	2,1	21,3	1,5
8	Испания	47,1	1542,8	19,1	123,2	49,2
9	Италия	61,1	2125,1	26,5	118,0	57,5
10	Канада	35,5	1502,9	24,6	156,6	54,6
11	Китай	1393,8	16161,7	336,6	1484,0	256,8
12	Мексика	123,8	2002,5	10,0	46,1	11,1
13	Россия	142,5	3623,1	40,7	440,6	29,1
14	США	322,6	16768,1	453,5	1265,1	321,8
15	Турция	75,8	1407,4	13,3	89,1	23,6
16	Франция	64,6	2474,9	55,2	265,2	65,1
17	Южная Африка	53,1	684,0	4,8	21,4	9,3
18	Южная Корея	49,5	1660,4	68,9	321,8	50,3
19	Япония	127,0	4612,6	160,2	660,5	73,1

### Метод исследования

В качестве инструмента для проведения исследования авторами предлагается использовать метод Data Envelopment Analysis (DEA).

Метод DEA был предложен в 1978 г. американскими учеными A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes [4]. В России используется такое наименование метода – Анализ Среды Функционирования (АСФ) [2]. Он основан на построении так называемой границы эффективности в многомерном пространстве входных и выходных переменных, описывающих объекты, эффективность которых требуется определить. Эта граница строится по реальным данным. Степень эффективности конкретного объекта зависит от расстояния между ним и границей эффективности: чем дальше объект находится от границы, тем его эффективность ниже. Объекты, находящиеся на границе, считаются эффективными.

Метод требует разделения показателей на так называемые входные (входы, inputs) и выходные (выходы, outputs). Входные показатели – это используемые ресурсы, а выходные – это полученные результаты. В нашем случае к ресурсам можно отнести, например, показатель «Расходы на НИОКР», а к результатам – «Количество публикаций».

На рис. 1 представлена гипотетическая граница эффективности для случая, когда используется одна входная переменная,  $x$ , и одна выходная,  $y$ . Объекты, которые соответствуют точкам  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $E$ , будут

эффективными, а объект, соответствующий точке  $A$ , будет неэффективным. Для определения степени его неэффективности точку  $A$  проецируют на границу эффективности. При этом возможны два направления проецирования, показанные стрелками. При проецировании в направлении, параллельном оси  $Ox$ , точка  $A$  перемещается в точку  $A'$ . В результате при неизменном значении выходной переменной  $y$  значение входной переменной  $x$ , т. е. ресурса, уменьшается. Математическая модель, описывающая эту ситуацию, называется ориентированной на вход. Гипотететический эффективный объект  $A'$  будет целевым объектом для объекта  $A$ , т. е. значения его показателей будут целями для неэффективного объекта  $A$ . Модель, ориентированная на выход, описывает ситуацию, когда точка  $A$  проецируется в точку  $A''$ . В этом случае при неизменном уровне затрат ресурса  $x$  неэффективный объект получает рекомендацию достичь более высокого уровня выпуска  $y$ .

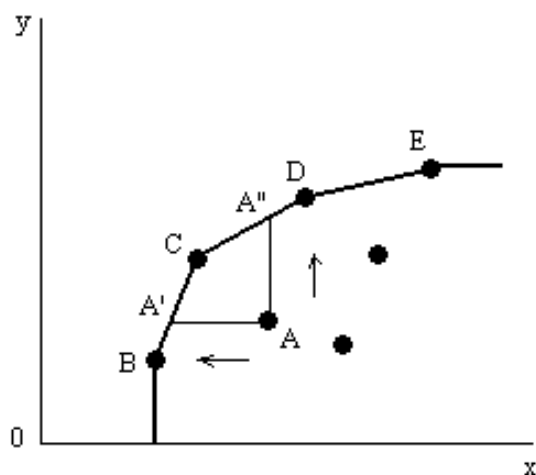


Рис. 1. Граница эффективности для двумерного случая

Метод АСФ (DEA) имеет ряд привлекательных свойств, а именно [5, с. 8]:

- позволяет вычислить один интегральный (агрегированный) скалярный показатель для каждого из объектов, таким показателем удобно пользоваться;
- не требует указывать весовые коэффициенты для показателей, что снижает уровень субъективности при получении результата;
- может обрабатывать много входных и выходных показателей, при этом они могут быть представлены в разных единицах измерения;
- выдает рекомендуемые значения показателей для неэффективных объектов, при достижении которых эти объекты были бы выведены на границу эффективности;

- формирует Парето-оптимальное множество точек, соответствующих эффективным объектам;
- концентрируется на выявлении примеров так называемой лучшей практики (best practice), а не на каких-либо усредненных тенденциях, как, например, регрессионный анализ;
- не налагает никаких ограничений на функциональную форму зависимости между входами и выходами.

Представим формализованное описание метода на примере модели ВСС, ориентированной на выход (ее название образовано из первых букв фамилий ее авторов: Banker, Charnes и Cooper) [6, с. 93]. Пусть требуется определить показатель эффективности каждого из  $n$  объектов. Такими объектами могут быть, например, предприятия, организации, университеты, банки и т. д. Для описания каждого объекта  $o_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ , служит пара векторов  $(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j)$ . При этом вектор  $\mathbf{x}_j = (x_{j1}, \dots, x_{ji}, \dots, x_{jm})^T$  содержит входные показатели (входы) для объекта  $o_j$ , а вектор  $\mathbf{y}_j = (y_{j1}, \dots, y_{jr}, \dots, y_{js})^T$  содержит выходные показатели (выходы) для объекта  $o_j$ . Тогда матрица  $\mathbf{X} = (\mathbf{x}_j)$ , имеющая размерность  $m \times n$ , содержит вектор-столбцы с входными данными для всех  $n$  объектов, а матрица  $\mathbf{Y} = (\mathbf{y}_j)$ , имеющая размерность  $s \times n$ , содержит вектор-столбцы с выходными данными для всех  $n$  объектов. В основе метода АСФ (DEA) лежит метод линейного программирования, поэтому модель формулируется в таком виде:

$$\begin{aligned}
 & \max_{\varphi, \lambda} (\varphi), \\
 & \mathbf{X}\lambda \leq \mathbf{x}_0, \\
 & \varphi \mathbf{y}_0 - \mathbf{Y}\lambda \leq \mathbf{0}, \\
 & \mathbf{e}\lambda = 1, \\
 & \lambda \geq \mathbf{0}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь  $\mathbf{e}$  – это единичный вектор-строка. В данном случае показатель эффективности – скаляр  $\varphi \in [1; \infty)$ . Для неэффективных объектов (имеющих  $\varphi > 1$ ) будут выданы рекомендации по пропорциональному увеличению значений выходных переменных в  $\varphi$  раз. При этом значения входных переменных увеличиваться не должны. На практике значение показателя эффективности зачастую переводится в диапазон  $(0; 1]$  с помощью преобразования  $1 / \varphi$ .

Проецирование неэффективных объектов на границу эффективности обеспечивается за счет присутствия в модели коэффициента  $\varphi$  при векторе  $\mathbf{y}$ . Вектор констант  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_n)^T$

позволяет сформировать неотрицательную линейную комбинацию объектов, которая и будет являться гипотетическим (и при этом – эффективным) целевым объектом для того реального объекта, который оказался неэффективным. В этой линейной комбинации веса эффективных объектов будут ненулевыми, а веса неэффективных объектов будут равны нулю (т. е.  $\lambda_j = 0$ ). Объекты, которые входят в эту линейную комбинацию с ненулевыми весами, называются эталонными. Значения коэффициентов  $\lambda_j$  отражают степень подобия неэффективного объекта эталонным объектам с точки зрения соотношения значений его показателей и соотношения значений показателей эффективных эталонных объектов.

## Исследование

Выполним наше исследование в два этапа. На первом этапе рассмотрим эффективность, с которой разные страны формируют свой научный потенциал. Другими словами, насколько им это удастся при имеющихся у них человеческих ресурсах («Население страны») и финансовых ресурсах («ВВП страны»). Будем считать, что составляющими научного потенциала являются два компонента: исследователи и финансирование их исследований. Поскольку метод АСФ (DEA) требует разделения показателей на входные (ресурсы) и выходные (результаты), то в качестве входных показателей возьмем «ВВП страны» и «Население страны», а в качестве результатов – «Расходы на НИОКР» и «Количество исследователей».

Воспользуемся моделью ВСС, *ориентированной на выход* (1), поскольку желательным изменением значений показателей в случае, когда необходимо повышение эффективности формирования научного потенциала какой-либо страны, было бы *увеличение* числа исследователей и расходов на НИОКР. Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Результаты исследования (этап 1)

Номер п/п	Страна	Эффективность
1	Австралия	1,000
2	Китай	1,000
3	США	1,000
4	Южная Африка	1,000
5	Южная Корея	1,000

6	Япония	1,000
7	Германия	0,873
8	Россия	0,806
9	Аргентина	0,792
10	Канада	0,791
11	Франция	0,684
12	Великобритания	0,677
13	Испания	0,435
14	Турция	0,365
15	Бразилия	0,323
16	Италия	0,320
17	Индия	0,241
18	Мексика	0,128
19	Индонезия	0,053

Россия занимает восьмое место с показателем эффективности 0,806. В качестве эталонных объектов для России «назначены» Южная Корея и Япония с весовыми коэффициентами соответственно 0,335 и 0,665.

Метод АСФ (DEA) может выдавать рекомендуемые значения показателей, при которых данный объект (в нашем случае – страна) выйдет на границу эффективности, т. е. станет «не хуже» стран-лидеров. В таблице 3 приведены исходные и рекомендуемые значения показателей для России.

Таблица 3

#### Результаты для России

Показатель	Исходное значение	Рекомендуемое значение
Расходы на НИОКР	40,7	129,6
Количество исследователей	440,6	547,0

На втором этапе оценим эффективность, с которой страны используют созданный ими научный потенциал. Воспользуемся той же моделью ВСС, ориентированной на выход (1). В качестве входных показателей, т. е. ресурсов, возьмем «Количество исследователей» и «Расходы на НИОКР», а в качестве выходного показателя – «Количество публикаций». Конечно, использование этого показателя в качестве меры продуктивности научного сообщества вызывает споры. Используем его с оговоркой насчет формализованных методов, сделанной во введении. Результаты вычислений приведены в таблице 4.



## Результаты исследования (этап 2)

Номер п/п	Страна	Эффективность
1	Австралия	1,000
2	Великобритания	1,000
3	Индонезия	1,000
4	Испания	1,000
5	Италия	1,000
6	Китай	1,000
7	США	1,000
8	Южная Африка	1,000
9	Канада	0,923
10	Германия	0,814
11	Аргентина	0,758
12	Франция	0,723
13	Индия	0,722
14	Турция	0,715
15	Бразилия	0,597
16	Мексика	0,514
17	Южная Корея	0,490
18	Япония	0,468
19	Россия	0,329

В данном случае Россия заняла последнее место. Конечно, этот результат требует анализа. Ведь нельзя считать, что наука России хуже, чем наука, скажем, Южной Африки или Индонезии, которые в этом случае получили высшие оценки эффективности. Это говорит лишь о том, что эти страны сумели лучше распорядиться своим научным (вообще говоря, небольшим) потенциалом с позиции публикации научных статей. Однако ни у Индонезии, ни у Южной Африки нет ни космической промышленности, ни атомной энергетики. Очень важна еще и структура публикаций по отраслям знаний. Например, в США примерно 50 процентов публикаций сделаны в сфере медицины и биологии [1], а у России другая структура публикаций по отраслям знаний. Поэтому такие результаты требуют внимательного изучения и выявления причин, которые к ним привели. Возможно, одной из причин низкого результата России может быть то, что исследователи, работающие в вузах, не имеют достаточно времени для занятий наукой, поэтому их вклад в число опубликованных научных статей не очень велик.

В таблице 5 приведены исходные и рекомендуемые значения показателей для России.

Таблица 5

### Результаты для России

Показатель	Исходное значение	Рекомендуемое значение
Количество публикаций	29,1	88,4

В качестве эталонных объектов для России «назначены» Китай и Великобритания с весовыми коэффициентами соответственно 0,003 и 0,997.

### Заключение

На наш взгляд, предложенная методика может использоваться в качестве составной части более детализированной, комплексной методики, сочетающей в себе как формализованные методы исследований, так и неформализованные.

### Список литературы

1. Доклад ЮНЕСКО по науке. На пути к 2030 году. – Париж : Изд-во ЮНЕСКО ; М. : Издательский Дом МАГИСТР-ПРЕСС, 2016. – xxiii, 794 с. – ISBN 978-92-3-100129-1 (UNESCO), 978-5-89317-236-2.
2. Кривоножко В.Е., Лычев А.В. Анализ деятельности сложных социально-экономических систем. – М.: Изд. отдел ф-та ВМиК МГУ; МАКС Пресс, 2010. – 208 с.
3. Мировой атлас данных [Электронный ресурс] : Мировая и региональная статистика, национальные данные, карты и рейтинги. URL: <https://knoema.ru/atlas> (дата обращения: 4.04.2018).
4. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units // European Journal of Operational Research. – 1978. – Vol. 2. – P. 429–444.
5. Charnes A., Cooper W.W., Lewin A.Y., Seiford L.M. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application. – Boston: Kluwer, 1994. – 513 p.
6. Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K. Data Envelopment Analysis : A comprehensive text with models, applications, references, and DEA-Solver software. – 2nd ed. – New York: Springer, 2007. – xxxviii, 490 p.