

**Моргунова Ольга Николаевна**  
**Моргунов Евгений Павлович**

Наименование организации: Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Рабочий адрес: 660014, г. Красноярск, просп. имени газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: olgamorgunova@mail.ru, emorgunov@mail.ru

УДК 519.876

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВУЗА**

*В статье предлагается комплексный подход к созданию системы управления эффективностью современного университета. Рассматриваются все уровни иерархии (компоненты) такой системы.*

Комплексной характеристикой любой целенаправленной деятельности является ее эффективность. Соответственно, и деятельность вуза также может быть описана в терминах теории эффективности. В настоящее время большое внимание в вузах уделяется построению систем менеджмента качества. На наш взгляд, качество и эффективность должны рассматриваться во взаимосвязи. Поэтому система менеджмента качества должна быть дополнена системой управления эффективностью. Комплексный характер проблемы управления эффективностью предполагает включение в эту систему и детальное рассмотрение следующих аспектов (компонентов):

- математического обеспечения;
- алгоритмического обеспечения;
- методического обеспечения;
- программного обеспечения;
- аппаратного обеспечения;
- информационного обеспечения;
- организационного обеспечения;
- кадрового обеспечения.

Основой всей системы является **математическое обеспечение**. К настоящему времени в рамках теории эффективности предложен целый ряд методов оценки эффективности систем. В России все шире внедряется в практику метод, известный под названием «анализ среды функционирования» (АСФ) [1]. Он был разработан в 1978 г. в США [9] и широко используется на Западе. Там он известен как Data Envelopment Analysis (DEA). Метод АСФ (DEA) применяется для оценки эффективности функционирования однородных объектов в различных сферах: в экономике, здравоохранении, административном управлении, образовании и т. д.

Метод АСФ (DEA) относится к классу *граничных* методов. Он основан на построении так называемой границы эффективности в многомерном пространстве входных и выходных переменных, описывающих объекты, эффективность которых требуется определить. Степень эффективности зависит от расстояния между объектом и границей эффективности. Эта граница строится по реальным данным и представляет собой, по сути, оценку производственной функции для случая, когда выход является векторным.

Представим формализованное описание метода на примере одной из его моделей. Пусть требуется определить показатель эффективности каждого из  $n$  объектов. Такими объектами могут быть 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, и модель формулируется в таком виде [10, с. 43]:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & (\theta), \\ & -\mathbf{y}_j + \mathbf{Y}\lambda \geq \mathbf{0}, \\ & \theta \mathbf{x}_j - \mathbf{X}\lambda \geq \mathbf{0}, \\ & \lambda \geq \mathbf{0}. \end{aligned} \tag{1}$$

Скаляр  $\theta$  и является мерой эффективности  $j$ -го объекта. Важно отметить, что  $\theta \in (0; 1]$ . Критерием эффективности объекта является условие  $\theta = 1$ . Объекты, имеющие такое значение показателя  $\theta$ , считаются эффективными и находятся, как принято говорить, на *границе эффективности*. Аналогичная задача решается для каждого объекта, т. е.  $n$  раз.

Для объектов, имеющих  $\theta < 1$ , предлагаются рекомендуемые (целевые) значения показателей, достигнув которых, эти объекты также окажутся на границе эффективности. Определение целевых значений переменных для неэффективного объекта производится путем *проецирования* данного объекта на границу эффективности. Проецирование обеспечивается за счет присутствия в модели (1) коэффициента  $\theta$  при векторе  $\mathbf{x}_j$  и наличия ограничения  $\lambda \geq \mathbf{0}$ . 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  $\lambda_j$  эффективных объектов будут ненулевыми, а веса  $\lambda_j$  неэффективных объектов будут равны нулю. 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.

Пример границы эффективности для простого двухмерного случая показан на рисунке 1 слева. Эффективным здесь будет только объект С. Граница будет иметь вид выпуклого конуса в пространстве входных и выходных переменных  $\mathbf{R}^{m+s}$ . Отметим, что эта граница – понятие условное: она определяется эффек-

тивными (крайними) точками. Поскольку граница эффективности имеет вид выпуклого конуса, то это соответствует предположению о постоянном эффекте масштаба, имеющем место в данной совокупности исследуемых объектов.

Модель (1) называется *ориентированной на вход*. Это объясняется тем, что коэффициент  $\theta$  оказывает влияние на вектор входных переменных. При проецировании неэффективного объекта, например,  $A$ , на границу эффективности значения входов уменьшаются. На рисунке 1 направление проецирования для модели (1) показано горизонтальной стрелкой. Гипотетический объект  $A'$  будет целевым объектом для объекта  $A$ . Таким образом, граница эффективности служит в качестве эталона для проведения оценки эффективности объектов в исследуемой совокупности.

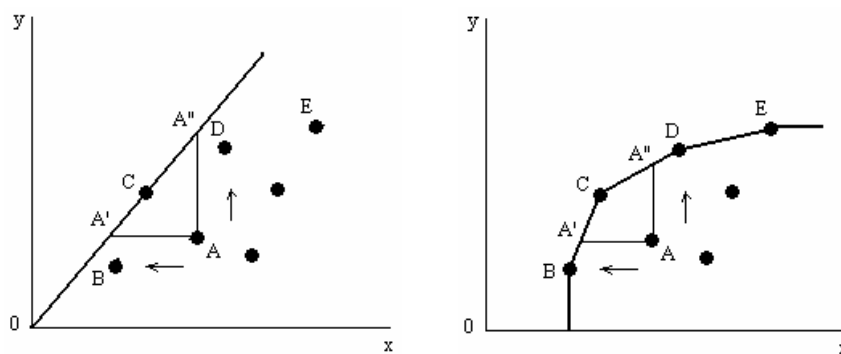
Модель, *ориентированная на выход*, может быть построена аналогично [10, с. 58] (при этом изменяется направление проецирования объектов, которое на рисунке 1 показано вертикальной стрелкой):

$$\begin{aligned} \max_{\varphi, \lambda}(\varphi), \\ -\varphi y_j + Y\lambda \geq 0, \\ x_j - X\lambda \geq 0, \\ \lambda \geq 0. \end{aligned} \tag{2}$$

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  $(0; 1]$  посредством использования обратной величины  $1/\varphi$ .

В модели (1) и (2) может быть введено дополнительное ограничение  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ , что приведет к изменению конфигурации границы эффективности – она приобретет форму выпуклой оболочки. Иллюстрация приведена на рисунке 1 справа. Соответственно, гипотетический целевой объект, который будет являться эталоном для неэффективного объекта, будет формироваться как выпуклая линейная комбинация эффективных объектов  $(X\lambda, Y\lambda)$ . Выпуклой оболочке соответствует допущение о переменном эффекте масштаба, имеющем место в данной совокупности исследуемых объектов.

На рисунке 1 показано, что, независимо от ориентации модели на вход или на выход, оценивается одна и та же граница эффективности, а изменяется лишь направление проецирования точки в многомерном пространстве  $\mathbf{R}^{m+s}$ .



Слева – граница эффективности для случая постоянного эффекта масштаба; справа – граница эффективности для случая переменного эффекта масштаба  
Рисунок 1 – Граница эффективности в методе АСФ (DEA)

В моделях (1) и (2) векторы  $x_j$  и  $y_j$  не обязательно должны принадлежать матрицам  $X$  и  $Y$ . Они могут быть взяты из другого массива данных (например, за другой временной период). Однако в этом случае их размерности должны быть согласованы с размерностью матриц. Объект  $(x_j; y_j)$  сопоставляется с выпуклым конусом (выпуклой оболочкой), натянутым на вектор-столбцы матриц  $X$  и  $Y$ .

Метод АСФ (DEA) имеет ряд привлекательных свойств, а именно [10]:

- позволяет вычислить один агрегированный показатель эффективности для каждого объекта на основе обработки нескольких входных и выходных переменных, каждая из которых при этом может быть представлена в различных единицах измерения;

- не требует априорного указания весовых коэффициентов для переменных, соответствующих входным и выходным параметрам при решении задачи оптимизации;

- производит конкретные оценки желательных изменений во входах/выходах, которые позволили бы вывести неэффективные объекты на границу эффективности;

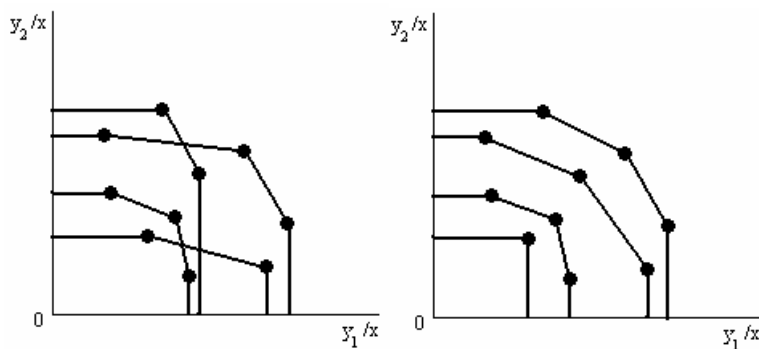
Однако при всех своих достоинствах метод имеет и недостаток: он позволяет получить показатель только *относительной* эффективности объектов путем сопоставления их друг с другом. Для преодоления этого недостатка необходимо использование знаний экспертов.

**Алгоритмическое обеспечение** занимает следующий уровень в конструкции нашей системы. Этот компонент включает в себя все специализированные алгоритмы, которые должны быть реализованы при разработке программного обеспечения. Такие алгоритмы могут создаваться, например, для дополнения базовых математических методов. В частности, метод АСФ (DEA) в своем базовом варианте предусматривает получение оценки только относительной эффективности оцениваемых объектов. Но зачастую объекты, которые признаны эффективными относительно данной совокупности объектов, также могут улучшить свои показатели. Поэтому ранее для преодоления указанного ограничения метода АСФ (DEA) уже было предложено использовать искусственную границу эффективности в качестве эталона для оценки реальных объектов [11, 12]. Для построения такой границы эффективности достаточно сформировать матрицы входов  $X$  и выходов  $Y$  для совокупности *эталонных* объектов (см., например, [3]). Такие эталонные искусственные объекты могут быть сформированы при помощи группы экспертов. Для того чтобы получить обобщенную оценку группы экспертов,

необходимы специальные алгоритмы. Комплекс таких алгоритмов был предложен в работах [4, 7, 8]. Важно отметить, что при использовании искусственных границ эффективности значение показателя эффективности может превышать единицу, поскольку оцениваемый объект может находиться в многомерном пространстве входов/выходов «снаружи» выпуклого конуса (выпуклой оболочки), натянутого на точки, соответствующие эталонным объектам.

Кратко изложим основные идеи алгоритмов, предназначенных для обобщения индивидуальных эталонных границ эффективности, построенных отдельными экспертами. Пусть сформирована группа из  $P$  экспертов  $p_k, k = \overline{1, P}$ . Каждый эксперт должен сформировать эталонную границу эффективности  $F_k$ , т. е. матрицы входных  $X_k$  (размерности  $m \times n_k$ ) и выходных  $Y_k$  (размерности  $s \times n_k$ ) показателей для эталонных объектов. Затем эти эталонные объекты объединяются в общую совокупность (это достигается путем объединения матриц  $X_k$  и  $Y_k$  в матрицы  $X$  и  $Y$  таким образом, что число столбцов у новых матриц будет равно  $n = \sum_{k=1}^P n_k$ ). Для формирования обобщенной границы эффективности на основе индивидуальных экспертных границ эффективности используется такой подход: сначала вся полученная совокупность эталонных объектов, сформированных экспертами, разделяется на так называемые «слои эффективности», а затем один из них выбирается в качестве обобщенной границы эффективности.

Иллюстрация процесса формирования обобщенной границы эффективности для модели, ориентированной на выход, приведена на рисунке 2. При этом по осям координат отложены удельные выпуски продуктов  $y_1$  и  $y_2$ , что допустимо при условии постоянного эффекта масштаба.



Слева изображены границы эффективности, сформированные отдельными экспертами. Справа изображены «слои эффективности»  
Рисунок 2 – Формирование «слоев эффективности»

Задача «расслоения» эталонных объектов решается путем многократного применения модели (1) или (2) к общей совокупности эталонных объектов, из которой после каждого применения указанных моделей исключаются те объекты, показатель эффективности которых равен 1. Каждая группа таких объектов и образует «слой эффективности». Затем из полученных «слоев эффективности» выбирается один в качестве обобщенной границы эффективности. Это выполняется путем вычисления среднего отклонения значений показателя эффективности всех эталонных объектов относительно границы-кандидата, в качестве которой поочередно выступают все «слои эффективности». Та граница, для которой абсолютная

величина этого показателя (т. е. взятая по модулю) окажется наименьшей, и выбирается в качестве результирующей, т. е. обобщенной границы эффективности группы экспертов. Говоря другими словами, в качестве обобщенной границы эффективности выбирается тот «слой эффективности», разброс точек относительно которого будет наименьшим. В дополнение к алгоритму «расслоения» объектов разработаны и алгоритмы для проверки степени согласованности работы экспертной группы.

**Методическое обеспечение** включает в себя высокоуровневые методики, предназначенные для работы с объектами, имеющими сложную иерархическую структуру. Вуз относится именно к таким объектам. Подобные методики позволяют сформировать целостную технологию применения существующего математического и алгоритмического инструментария, избавляя пользователя (системного аналитика, руководителя) от ручного выполнения рутинных операций. Подобная методика изложена, например, в работе [2]. Можно сказать, что если математическое обеспечение относится к микроуровню, то методическое обеспечение – это уже макроуровень. Методика может быть построена на основе целой группы математических методов, она может использовать сильные стороны каждого из них и при этом может учитывать специфику предметной области, в которой производится оценка эффективности объектов. По результатам применения методики могут быть получены обобщенные показатели эффективности сложной системы (вуза) с учетом эффективности ее подсистем (факультетов, кафедр). Обобщенные показатели позволяют сократить объем информации, предоставляемой лицу, принимающему решения.

**Программное обеспечение** строится на основе математического, алгоритмического и методического обеспечения. Основным техническим инструментом должна быть система поддержки принятия решений (СППР), разработанная с учетом достижений теории эффективности. Одним из авторов настоящей статьи разработан прототип такой СППР и в настоящее время ведется проектирование рабочей версии этого программного продукта [5]. Архитектура СППР представлена на рисунке 3.

В качестве системы управления базой данных планируется использовать PostgreSQL. Разработка проводится с использованием только свободно распространяемых инструментальных средств, что важно с точки зрения экономии затрат и соблюдения авторских прав. Кроме СУБД PostgreSQL будет использоваться многоплатформенная библиотека wxWidgets, которая позволяет создать современный интерфейс пользователя. Предполагается, что СППР сможет не только определять достигнутый уровень эффективности исследуемых объектов (вузов, факультетов, кафедр), но также и вырабатывать рекомендации по повышению их эффективности.

Какого-либо специального **аппаратного обеспечения**, по всей вероятности, не потребуется. Для работы проектируемой СППР будет достаточно ресурсов обычного современного персонального компьютера.

**Информационное обеспечение** включает в себя все исходные данные, которые используются для расчетов показателей и критериев эффективности. Важная роль отводится автоматизированной информационной системе (АИС), которую можно условно назвать «Университет». В этой АИС должны накапливаться детальные данные за целый ряд периодов, что позволит не только оценивать достигнутый уровень эффективности всех подсистем вуза, но также формировать прогнозы уровня эффективности на перспективу.

В том случае, если система поддержки принятия решений по оценке эффективности создается в качестве дополнительного модуля к уже существующей информационной системе масштаба всего вуза, возможно, имеет смысл спроектировать для СППР специальную базу данных. Заполняться эта база данных должна на основе информации, хранящейся в основной базе данных информационной системы вуза. Естественно, заполнение этой базы данных должно производиться с помощью программных средств, а не силами операторов. Правда, возникает определенное дублирование информации, но оно является необходимым и контролируемым.

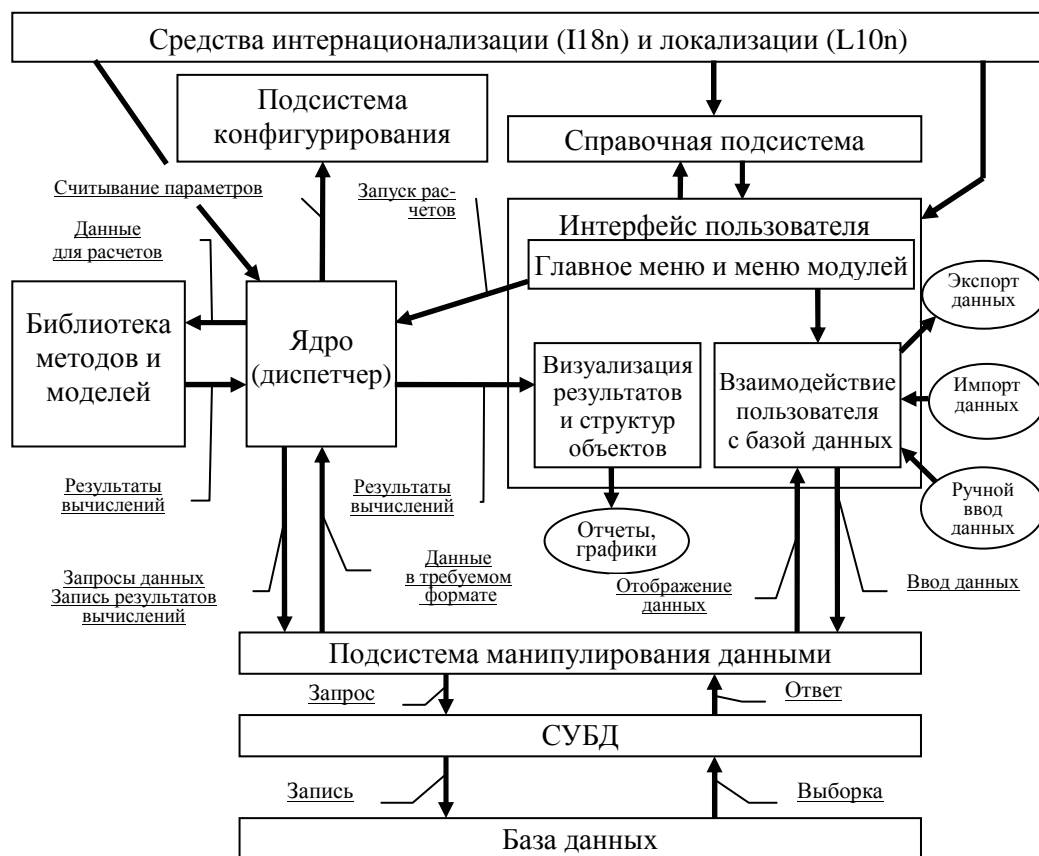


Рисунок 3 – Архитектура СППР

**Организационное обеспечение** заключается в выработке показателей и критериев эффективности, а также в принятии управленческих решений по организации выполнения мероприятий по оценке эффективности на всех иерархических уровнях вуза. Такие мероприятия должны выполняться не эпизодически, а на постоянной основе. Должна быть предусмотрена соответствующая система отчетности и принятия мер в случае отклонения показателей эффективности от требуемого уровня.

В рамках проведения работы по оценке эффективности вуза в целом и его подсистем могут решаться, в частности, следующие задачи [6]:

1. Оценка эффективности работы вуза в целом – как образовательного учреждения – по сравнению с другими российскими и зарубежными вузами.
2. Оценка эффективности и качества работы кафедр и факультетов вуза. Такая оценка может проводиться не только внутри вуза, но и путем сравнения с родственными кафедрами и факультетами других российских вузов.

3. Оценка качества подготовки студентов вуза на разных этапах обучения.
4. Оценка качества подготовки выпускаемых специалистов.
5. Выявление лучших студентов (это может быть полезно при выборе кандидатов для назначения именных стипендий).
6. Оценка эффективности работы профессорско-преподавательского состава.

Поскольку в основе предлагаемой системы лежат математические методы, то возрастает роль **кадрового обеспечения**. Конечно, потребуется организовать обучение персонала, задействованного в работе по управлению эффективностью вуза. Такое обучение должно включать соответствующую теоретическую и практическую подготовку. Специалисты, которые будут выступать в качестве экспертов, должны более основательно познакомиться с используемыми математическими методами, чтобы быть в состоянии, например, сформировать искусственные границы эффективности для конкретной предметной области.

**Вывод.** Предлагаемые организационно-технические решения будут, на наш взгляд, способствовать повышению эффективности управления не только отдельно взятым вузом, но и системой высшего образования в целом.

### Библиография

1. Анализ эффективности функционирования сложных систем [Текст] / В. Е. Кривоножко, А. И. Пропой, Р. В. Сеньков, И. В. Родченков, П. М. Анохин // Автоматизация проектирования. – 1999. – № 1. – С. 2–7.
2. Антамошкин, А. Н. Методика исследования эффективности сложных иерархических систем [Текст] / А. Н. Антамошкин, О. Н. Моргунова, Е. П. Моргунов // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. – 2006. – Вып. 2 (9). – С. 9–13.
3. Моргунов, Е. П. Многомерная классификация сложных объектов на основе оценки их эффективности [Текст] / Е. П. Моргунов, О. Н. Моргунова // Вестник НИИ СУВПТ : сб. науч. тр. / Под общ. ред. проф. Н. В. Василенко. – Красноярск, 2003. – Вып. 14. – С. 222–240.
4. Моргунов, Е. П. Модификация метода «Анализ среды функционирования» на основе использования эталонных границ эффективности [Текст] / Е. П. Моргунов, О. Н. Моргунова // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 1.2. – С. 262–268.
5. Моргунов, Е. П. Система поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем: принципы разработки, требования и архитектура [Текст] / Е. П. Моргунов // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. – 2007. – Вып. 3 (16). – С. 59–63.
6. Моргунова, О. Н. Информационная система как источник данных для оценки уровня эффективности объектов и процессов в сфере высшего образования [Текст] / О. Н. Моргунова // VI Всероссийская науч.-техн. конф. «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий», 25–31 июля 2005 г. (г. Улан-Удэ) : материалы : в 2 ч. / Вост.-Сиб. гос. технологич. ун-т. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2005. – Ч. 2. – С. 286–289.
7. Моргунова, О. Н. Компьютерная поддержка принятия решений по оценке эффективности сложных систем [Текст] / О. Н. Моргунова, Е. П. Моргунов // VII Всероссийская науч.-техн. конф. «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий», 24–30 июля 2006 г. (г. Улан-Удэ) : материалы : в 2 ч. / Вост.-Сиб. гос. технологич. ун-т. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2006. – Ч. 1. – С. 183–186.



8. Моргунова, О. Н. Экспертные методы формирования искусственных границ эффективности [Текст] / О. Н. Моргунова // Научное обозрение. – 2006. – № 5. – С. 61–65.

9. Charnes, A. Measuring the Efficiency of Decision Making Units [Text] / A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research. – 1978. – Vol. 2. – P. 429–444.

10. Cooper, W. W. Data Envelopment Analysis [Text] : A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone.– Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. – 318 p.

11. Sowlati, T. Establishing the «Practical Frontier» in Data Envelopment Analysis [Text] / T. Sowlati, J. C. Paradi // International DEA Symposium «Efficiency and Productivity Analysis in the 21<sup>st</sup> Century», 24–26 June 2002 (Moscow, Russia) : Abstracts / Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences; Global S. Consulting Company. – Moscow : International Research Institute of Management Sciences, 2002. – P. 32–33.

12. Sowlati, T. Establishing the «practical frontier» in data envelopment analysis [Text] / Taraneh Sowlati, Joseph C. Paradi // Omega. – 2004. – Vol. 32. – P. 261–272.