

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы состоит в повышении качества управления сложными иерархическими системами.

Задачи исследования

1. Проанализировать подходы к исследованию эффективности сложных иерархических систем, а также конкретные методы, применяемые для проведения таких исследований.

2. Модифицировать метод DEA–АСФ: разработать комплекс алгоритмов и формализованную методику формирования искусственных эталонных границ эффективности на основе обобщения индивидуальных экспертных оценок.

3. Разработать формализованную методику исследования эффективности сложных иерархических систем на основе модифицированного метода DEA–АСФ.

4. Разработать автоматизированную систему поддержки принятия решений (СППР), реализующую предложенную методику.

5. Провести апробацию разработанной методики на примере объектов системы высшего профессионального образования.

1. Впервые предложен комплекс алгоритмов формирования искусственных эталонных границ эффективности в методе DEA–АСФ на основе обобщения индивидуальных экспертных оценок. Алгоритмы построены с учетом специфики обобщаемых объектов, т. е. границ эффективности, имеющих форму выпуклой оболочки (выпуклого конуса) в многомерном пространстве входных и выходных переменных.

2. Разработана формализованная методика формирования искусственных эталонных границ эффективности для решения задач методом DEA–АСФ. Методика включает в себя комплекс предложенных алгоритмов обобщения индивидуальных экспертных оценок, а также ряд вспомогательных алгоритмов, упрощающих работу экспертов. Предложенная методика повышает качество работы экспертов и обоснованность результирующих искусственных эталонных границ эффективности за счет регламентирования и формализации всех этапов получения групповых экспертных оценок.

3. Предложен новый алгоритм перераспределения ресурсов в подсистеме иерархической системы, построенный на основе метода DEA–АСФ. Алгоритм позволяет выработать рекомендации по повышению интегральной эффективности подсистемы за счет минимизации суммарных (по всем объектам в подсистеме) дефицитов выпусков при различных вариантах распределения ресурсов.

4. Разработана формализованная методика исследования эффективности сложных иерархических систем. В основу методики положен метод DEA–АСФ, модифицированный посредством использования искусственных эталонных границ эффективности, построенных путем обобщения индивидуальных экспертных оценок. Результаты оценки и прогноза эффективности системы, а также рекомендации по ее повышению представляются в наглядной форме благодаря использованию специально разработанных алгоритмов, позволяющих уменьшить объем информации, предоставляемой ЛПР.

Основные положения, выносимые на защиту

3

1. Модифицированный метод DEA–АСФ может успешно применяться для разработки методики исследования эффективности сложных иерархических систем.

2. Комплекс алгоритмов формирования искусственных эталонных границ эффективности в методе DEA–АСФ позволяет на основе обобщения индивидуальных экспертных оценок сформировать результирующую границу эффективности, удовлетворяющую требованиям метода DEA–АСФ.

3. Формализованная методика формирования искусственных эталонных границ эффективности для решения задач методом DEA–АСФ повышает качество работы экспертов и обоснованность результирующих искусственных эталонных границ эффективности за счет регламентирования и формализации всех этапов получения групповых экспертных оценок.

4. Алгоритм перераспределения ресурсов, построенный на основе метода DEA–АСФ, облегчает решение задачи управления ресурсами в сложной иерархической системе.

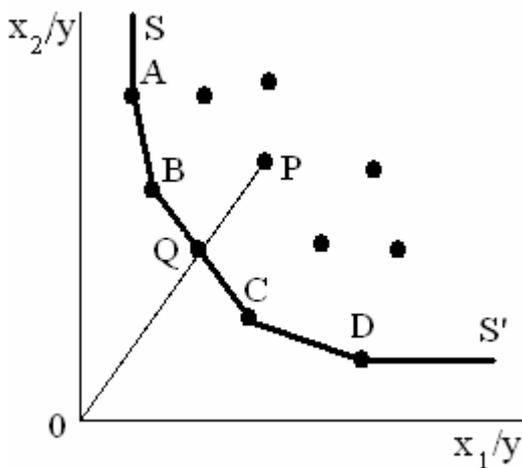
5. Формализованная методика исследования эффективности сложных иерархических систем, основанная на модифицированном методе DEA–АСФ, является действенным средством повышения качества управления системами данного класса.

Метод Data Envelopment Analysis (DEA)

(Анализ среды функционирования – АСФ)

ориентация модели на вход

4



Две входных переменных
и одна выходная переменная

Эффективность объекта P :

$$Eff_P = \frac{OQ}{OP}.$$

A, B, C и D – эффективные объекты;

SS' – граница эффективности.

$\min_{\theta, \lambda}(\theta),$

$$-y_i + Y\lambda \geq 0,$$

$$\theta x_i - X\lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0.$$

N – число объектов;

K – число входных параметров;

M – число выходных параметров;

X – матрица входных параметров для всех N объектов (размерность $K \times N$);

Y – матрица выходных параметров для всех N объектов (размерность $M \times N$);

x_i и y_i – вектор-столбцы входных и выходных параметров для i -го – оцениваемого – объекта;

скаляр $\theta \leq 1$ – мера (показатель)

эффективности i -го объекта;

λ – вектор констант (размерность $N \times 1$).

Задача решается N раз (т. е. для каждого объекта):

если $\theta = 1$, то объект эффективен;

если $\theta < 1$, то объект неэффективен.

Неэффективные объекты можно спроецировать на границу эффективности, получив линейную комбинацию $(X\lambda, Y\lambda)$ – гипотетический эталонный объект.

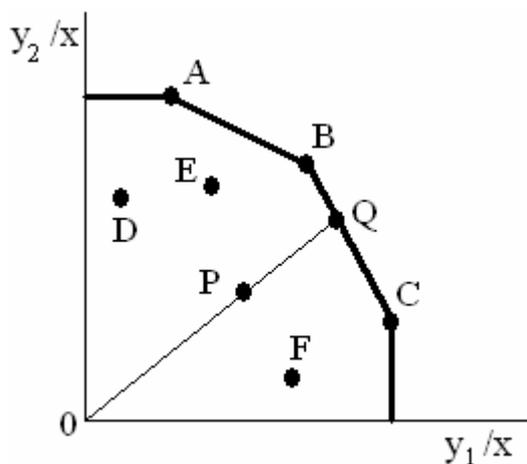
Для объектов с $\theta < 1$ могут быть установлены цели:

пропорциональное сокращение их входных факторов на величину θ при сохранении выходных значений на прежнем уровне.

Метод DEA–АСФ (продолжение)

ориентация модели на выход

5



Одна входная переменная
и две выходных переменных

Эффективность объекта P :

$$Eff_P = \frac{OP}{OQ}.$$

A, B и C – эффективные объекты;
 D, E, F и P – неэффективные
объекты;

скаляр $\phi \geq 1$ – мера эффективности
 i -го объекта.

$$\max_{\phi, \lambda} (\phi),$$

$$-\phi y_i + Y\lambda \geq 0,$$

$$x_i - X\lambda \geq 0,$$

$$\lambda \geq 0.$$

$$\max_{\phi, \lambda} (\phi),$$

$$-\phi y_i + Y\lambda \geq 0,$$

$$x_i - X\lambda \geq 0,$$

$$\sum \lambda_i = 1,$$

$$\lambda \geq 0.$$

Свойства метода DEA–АСФ:

- вычисляет один агрегированный показатель для каждого объекта;
- может одновременно обрабатывать много входов и много выходов, каждый из которых может измеряться в различных единицах измерения;
- не требует априорного указания весовых коэффициентов для переменных;
- не налагает никаких ограничений на функциональную форму зависимости между входами и выходами;
- производит конкретные оценки желательных изменений во входах/выходах, которые позволили бы вывести неэффективные объекты на границу эффективности;
- формирует Парето-оптимальное множество точек, соответствующих эффективным объектам.

Обобщенная экспертная граница эффективности в методе DEA–АСФ

6

Постановка задачи

$p_k, k = 1, \dots, P$ – группа из P экспертов;
 h_k – уровень компетентности эксперта p_k .

Требуемый результат работы каждого эксперта p_k :

$O_k = \{o_{ki}\}, i = 1, \dots, N_k$ – совокупность эталонных объектов;

K – число входных переменных объекта;

M – число выходных переменных объекта.

Индивидуальная искусственная граница
эффективности $F_k = \begin{pmatrix} Y_k \\ X_k \end{pmatrix}$,

где $Y_k (M \times N_k)$ – матрица выходов для всех N_k объектов;

$X_k (K \times N_k)$ – матрица входов; $N_k \neq \text{const}$ для всех $k = 1, \dots, P$.

Требуется

На основе индивидуальных экспертных границ эффективности:

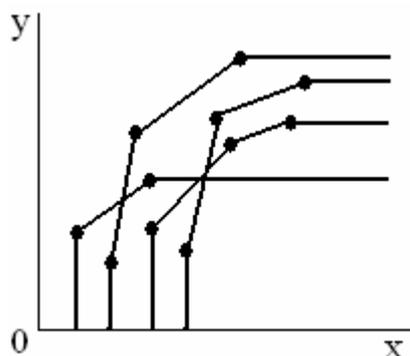
- 1) сформировать обобщенную границу эффективности;
- 2) определить величину разброса мнений экспертов;
- 3) определить степень несогласованности мнения

отдельного эксперта с обобщенным мнением группы.

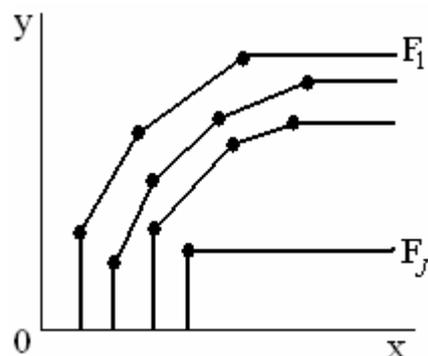
Идея предлагаемого подхода

1. Разделить все множество индивидуальных границ эффективности на «слои эффективности» путем многократного определения эффективных объектов и удаления их из общей совокупности.

2. Выбрать один из «слоев» в качестве обобщенной границы эффективности.



Индивидуальные экспертные границы эффективности



Сформированные «слои эффективности»

Шаг 1. Сформировать матрицу $X = (X_1 \ X_2 \ \dots \ X_P)$ размерности $K \times N$ и матрицу $Y = (Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_P)$ размерности $M \times N$, где $N = \sum_{k=1}^P N_k$.

Шаг 2. Для полученной объединенной совокупности объектов $O_0 = \bigcup_{k=1}^P O_k$ определить значения показателя эффективности, используя выбранную модель метода DEA–АСФ.

Шаг 3. Объекты, для которых $\theta = 1$, образуют искусственную границу эффективности первого уровня. Объединить их в множество F_1 . Сформировать совокупность $O_1 = O_0 \setminus F_1$.

Если $O_1 \neq \emptyset$, то переформировать матрицы X и Y путем удаления столбцов, соответствующих эффективным объектам, и перейти к шагу 2. Однако выполнять его следует уже для новой совокупности O_1 .

Повторять шаги 2 и 3, формируя искусственные границы F_j и переформировывая совокупность O_j , до тех пор, пока $O_j \neq \emptyset$.

Если $O_j = \emptyset$, то завершить работу алгоритма.

Результат: множество искусственных границ («слоев») эффективности $F = \{F_j\}, j = 1, \dots, J$ (в общем случае $J \neq P$).

Определение обобщенной границы эффективности

8

Шаг 1. Сформировать совокупность $O_j = O_0 \setminus F_j$, $j = 1, \dots, J$.

Шаг 2. Вычислить θ_i для всех объектов из O_j относительно границы F_j . При этом часть значений θ_i будут больше 1, а часть – меньше 1 (для внешней границы эффективности F_1 все значения θ_i будут меньше 1, а для внутренней границы эффективности F_J все значения θ_i будут больше 1).

Шаг 3. Вычислить среднее отклонение значений θ_i от 1 (т. е. от среднего).

Если уровни компетентности экспертов одинаковые, то

$$\Delta_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (\theta_i - 1), \quad \text{где } n_j = \text{card } O_j.$$

Если уровни компетентности h_k ($k = 1, \dots, P$) экспертов неодинаковые, то

$$\Delta_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (\theta_i - 1) h^i,$$

где h^i – уровень компетентности эксперта, сформировавшего i -ю точку.

Шаг 4. Если значение $j < J$, то увеличить индекс j на 1 и повторить шаги 1, 2 и 3, в противном случае перейти к шагу 5.

Шаг 5. В качестве результирующей (средней) границы F_{cp} выбрать границу F_j , для которой показатель Δ_j имеет минимальное абсолютное значение, т. е.

$$\Delta = \min_j |\Delta_j|, j = 1, \dots, J.$$

Определение величины разброса мнений экспертов

9

Шаг 1. Сформировать совокупность $O^* = O_0 \setminus F_{cp}$, где F_{cp} – результирующая граница.

Шаг 2. Вычислить значение θ для всех объектов из O^* относительно границы F_{cp} . В общем случае часть значений показателя эффективности будут больше 1, а часть – меньше 1.

Шаг 3. Вычислить среднее значение квадратов расстояний точек совокупности O^* от границы F_{cp} .

Если уровни компетентности экспертов одинаковые, то

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_i - 1)^2,$$

где n – число объектов (точек) в совокупности O^* , т. е. $n = \text{card } O^*$.

Если уровни компетентности h_k ($k = 1, \dots, P$) экспертов неодинаковые, то

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_i - 1)^2 h^i,$$

где h^i – уровень компетентности эксперта, сформировавшего i -ю точку.

Использование разности $\theta_i - 1$ объясняется тем, что точки, лежащие на границе эффективности F_{cp} , имеют значение $\theta = 1$.

Определение степени несогласованности мнения отдельного эксперта с обобщенным мнением группы

10

Показатель степени несогласованности аналогичен дисперсии в традиционной постановке задачи.

Шаг 1. Вычислить значения θ_i для всех точек индивидуальной границы эффективности F_k , сформированной k -м экспертом, относительно границы F_{cp} . В общем случае часть значений показателя эффективности будут больше 1, а часть – меньше 1.

Шаг 2. Вычислить среднее значение квадратов расстояний этих точек от границы F_{cp} .

Если уровни компетентности экспертов одинаковые, то

$$D_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (\theta_i - 1)^2,$$

где n_k – число точек, сформированных k -м экспертом.

Если уровни компетентности h_k ($k = 1, \dots, P$) экспертов неодинаковые, то

$$D_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (\theta_i - 1)^2 h_k,$$

где h_k – уровень компетентности k -го эксперта.

Этап 1. Подбор экспертов и формирование экспертных групп.

Этап 2. Постановка задачи перед экспертами.
Возможны два принципиально различных типа задач.

1. Формирование одинарной искусственной границы эффективности для оценки эффективности объектов.

2. Формирование группы искусственных границ эффективности для проведения классификации объектов на основе их эффективности.

Этап 3. Формирование правил определения суммарных оценок на основе оценок отдельных экспертов.

Определить уровни компетентности экспертов h_k ($k = 1, \dots, P$).

Этап 4. Работа с экспертами.

Результат: непосредственное получение оценок, сформированных экспертами.

Форма представления экспертной информации каждым экспертом p_k : матрицы входных X_k и выходных Y_k переменных для всех N_k эталонных объектов.

Этап 5. Анализ и обработка экспертных оценок.

1. Определить обобщенную границу эффективности с учетом уровней компетентности экспертов.

2. Если были сформированы несколько групп экспертов, то выбрать одну из них на основе показателей согласованности мнений экспертов в каждой группе: разброса индивидуальных оценок D и вариационного размаха R . Выбор провести на основе принципа Парето-оптимальности, учитывая, что критерии D и R негативные.

3. Определить степень несогласованности мнения каждого эксперта «рабочей» группы с обобщенным мнением этой группы.

Перераспределение ресурсов в подсистемах сложной системы

12

Подсистема s : N элементов (объектов), K видов ресурсов, M видов продуктов (выпусков).

Шаг 1. Сформировать искусственную эталонную границу эффективности для подсистемы s : $F_e = \begin{pmatrix} Y^e \\ X^e \end{pmatrix}$,

где Y^e и X^e – матрицы $M \times N^e$ и $K \times N^e$; N^e – число эталонных объектов.

Шаг 2. Сгенерировать J комбинаций R_j распределения K ресурсов между N элементами подсистемы s :

$$R_j = (R_{j1}, \dots, R_{ji}, \dots, R_{jN}), j = 1, \dots, J,$$

где $R_{ji} = (r_{ji}^1, \dots, r_{ji}^k, \dots, r_{ji}^K)$ – объем ресурсов, выделенных i -му объекту. При этом: $\sum_{i=1}^N r_{ji}^k = Q^k, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K}$.

Определить для каждого варианта R_{ji} соответствующие объемы выпусков $P_{ji} = (p_{ji}^1, \dots, p_{ji}^m, \dots, p_{ji}^M)$ каждого i -го объекта. Сформировать матрицы:

$$X_j = \begin{pmatrix} R_{j1}^T & \dots & R_{ji}^T & \dots & R_{jN}^T \end{pmatrix},$$
$$Y_j = \begin{pmatrix} P_{j1}^T & \dots & P_{ji}^T & \dots & P_{jN}^T \end{pmatrix}, j = \overline{1, J}.$$

Шаг 3. Вычислить эффективности пар $(R_{ji}, P_{ji}), j = \overline{1, J}, i = \overline{1, N}$, относительно границы F_e . Модель метода DEA–АСФ формулируется в выходной ориентации.

Вычислить «недоборы» (дефициты) выпусков:

$$\Delta y_{ji}^m = y_{ji,eff}^m - y_{ji,fact}^m, j = \overline{1, J}, m = \overline{1, M}, i \in NE,$$

где NE – индексное множество неэффективных объектов; eff и $fact$ – рекомендуемое и фактическое значения выпуска.

Шаг 4. Найти суммарный «недобор» по всем N объектам:

$$\Delta_j = \left(\sum_{i=1}^N \Delta y_{ji}^1, \dots, \sum_{i=1}^N \Delta y_{ji}^m, \dots, \sum_{i=1}^N \Delta y_{ji}^M \right), j = \overline{1, J}.$$

Шаг 5. Выделить из множества $\{\Delta_j\}$ подмножество Парето-оптимальных векторов с минимальным «недобором». Окончательный выбор единственного варианта остается за ЛПР.

Методика исследования эффективности сложных иерархических систем (1)

13

Этап 1. Подготовка к проведению исследования.

1.1. Структуризация системы.

$$S_S = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1N_S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{iN_S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{N_S1} & \dots & r_{N_Sj} & \dots & r_{N_SN_S} \end{pmatrix},$$

где $r_{ij} = 1$, если подсистема s_i включает в себя подсистему s_j ; $r_{ij} = 0$ в противном случае; $i, j = 1, \dots, N_S$; N_S – число подсистем на всех L уровнях иерархии в системе S .

1.2. Определение переменных и моделей метода DEA–АСФ.

1.3. Сбор исходных данных.

1.4. Формирование искусственных границ эффективности.

$$F = \{F_s\} = \left\{ \left(\begin{array}{c} Y_s \\ X_s \end{array} \right) \right\}, \quad \forall s, \quad s = 1, \dots, N_s.$$

Для классификации объектов на основе эффективности:

$$F^C = \{F_s^C\} = \left\{ \left[\left(\begin{array}{c} Y_s^g \\ X_s^g \end{array} \right) \right]_{g=1}^G \right\}_{s=1}^{N_s}, \quad \forall g, \quad g = 1, \dots, G, \quad \forall s, \quad s = 1, \dots, N_s,$$

где $G = N_c - 1$ – число границ; N_c – число классов эффективности.

Этап 2. Оценка уровня эффективности системы.

2.1. Оценка целевой эффективности системы.

2.2. Оценка эффективности подсистем.

Этап 3. Анализ достигнутого уровня эффективности.

3.1. Вычисление агрегированного показателя эффективности.

Интегральная внутренняя эффективность системы S : Θ Разброс значений показателей эффективности в подсистемах системы S : D_Θ

$$\Theta = \sum_{i=1}^{N_S} \theta_i w_i, \quad \Phi = \sum_{i=1}^{N_S} \frac{1}{\varphi_i} w_i; \quad D_\Theta = \sum_{i=1}^{N_S} (\theta_i - \Theta)^2 w_i, \quad D_\Phi = \sum_{i=1}^{N_S} \left(\frac{1}{\varphi_i} - \Phi \right)^2 w_i.$$

Здесь w_i – «вес» подсистемы s_i ($\sum_{i=1}^{N_S} w_i = 1$); θ_i и φ_i – показатели эффективности подсистемы s_i относительно границы F_s .

$E = (\Theta, \Phi, D_\Theta, D_\Phi)$ – интегральная оценка внутренней эффективности иерархической системы.

3.2. Анализ эффективности в подсистемах.

На основе значений $E = (\Theta, \Phi, D_\Theta, D_\Phi)$ для всех подсистем.

Этап 4. Формирование прогноза эффективности.

4.1. Определение прогнозных значений показателей эффективности в подсистемах.

Определить e_s^{T+1} на основе временных рядов e_s^t , $t = \overline{1, T}$ для каждой подсистемы s_i (здесь e означает θ либо φ).

4.2. Вычисление агрегированного показателя эффективности и анализ эффективности в подсистемах.

Определить $E = (\Theta, \Phi, D_\Theta, D_\Phi)$ на основе значений e_s^{T+1} .

Прогноз – поисковый краткосрочный.

Этап 5. Выработка рекомендаций по повышению эффективности.

5.1. Использование непосредственно тех целевых значений показателей, которые выдает метод DEA–АСФ.

5.2. Перераспределение ресурсов в подсистемах.

5.3. Реструктуризация системы.

Этап 6. Представление ЛПР результатов исследования.

6.1. Агрегированная информация.

1. Показатель целевой эффективности системы S в целом.

2. Показатель $E = (\Theta, \Phi, D_\Theta, D_\Phi)$ для системы и всех подсистем.

3. Группировка подсистем по классам эффективности.

6.2. Детализированная информация.

1. Показатели эффективности подсистем.

2. Прогнозные значения e_s^{T+1} для подсистем.

6.3. Рекомендации.

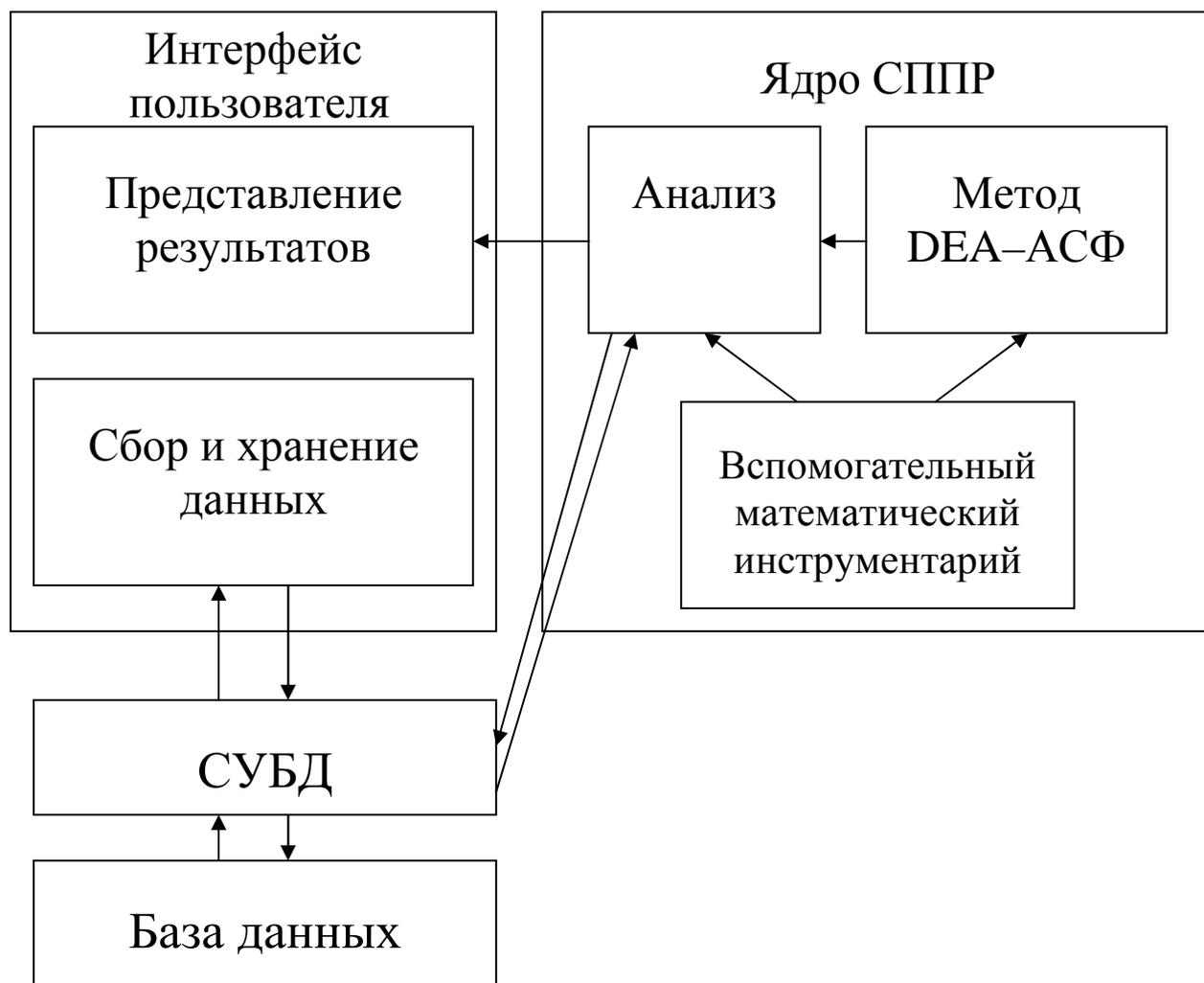
1. Целевые значений входных и выходных показателей, которые выдает метод DEA–АСФ для неэффективных объектов (подсистем).

2. Вариант перераспределения ресурсов в подсистемах.

3. Вариант реструктуризации системы.

Система поддержки принятия решений
на основе модифицированного метода
DEA–АСФ

15



Архитектура СППР

Система управления базами данных (СУБД) – PostgreSQL 8.1.

Интерфейс пользователя – язык C++.

Ядро СППР – язык C.

Оценка эффективности вузов Сибири

16

Цель: определение интегральной оценки научного потенциала вузов г. г. Красноярска, Новосибирска, Томска.

Входные переменные	Выходные переменные
1. Общее число студентов в вузе. 2. Площади, м ² (в т. ч. учебные и учебно-вспомогательные), которыми располагает вуз.	1. Число докторов наук. 2. Число кандидатов наук. 3. Число аспирантов. 4. Число докторантов.

Используемая модель: модель метода DEA–АСФ с ориентацией на выход.

Эталонные объекты: вузы, занимающие первые три-четыре позиции в рейтингах Минобразования (классические университеты, технические вузы, сельскохозяйственные вузы и т. д.).

Интегральная эффективность вузов, расположенных в каждом из трех городов, в сфере формирования научного потенциала:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{N_s} \frac{1}{\varphi_i} w_i,$$

где φ_i – показатели эффективности сибирских вузов относительно эталонной границы эффективности; w_i – «веса» вузов, вычисленные на основе общего числа студентов, обучающихся в каждом вузе ($\sum_{i=1}^{N_s} w_i = 1$ для каждого города); N_s – число вузов в каждом из трех городов.

Результирующие значения показателя Φ :

Красноярск	0,4321;
Новосибирск	0,3970;
Томск	0,5016.

Исходные данные за 2005 г. Источник: <http://www.edu.ru>.

Оценка эффективности кафедр СибГАУ

17

Цель: определение интегральной оценки эффективности воспроизводства научного потенциала на кафедрах СибГАУ.

Входные переменные	Выходные переменные
1. Число докторов наук и/или профессоров на кафедре. 2. Число кандидатов наук и/или доцентов на кафедре.	1. Число аспирантов. 2. Число защищенных кандидатских диссертаций. 3. Число защищенных докторских диссертаций.

Используемая модель: модель метода DEA–АСФ с ориентацией на выход.

Результаты для кафедр ФИСУ

Кафедра	Число преподавателей	Весовой коэффициент, w_i	Эффективность, $1/\varphi$	$\frac{1}{\varphi_i} \times w_i$
БИТ	10,30	0,0706	0,5000	0,0353
ВМ	28,50	0,1954	0,2296	0,0449
ИВТ	22,00	0,1508	0,4305	0,0649
ИУС	10,30	0,0706	0,4444	0,0314
ИЭС	16,00	0,1097	0,6667	0,0731
ПМ	10,00	0,0686	0,1316	0,0090
СА и ИО	22,00	0,1508	1,0000	0,1508
САУ	26,75	0,1834	0,3302	0,0606
Итого:	145,85	1,0000		0,4701

Интегральная эффективность кафедр факультетов в сфере воспроизводства научных кадров:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\varphi_i} w_i.$$

ФМБ	1,0	ФИСУ	0,4701	ФККС	0,1489
ГФ	0,5942	АКФ	0,3634		
ФЭФ	0,4784	ИГА	0,2221		

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ **диссертационной работы**

18

Предложенные в диссертации модификации метода DEA–АСФ способствуют повышению качества управления сложными иерархическими системами, поскольку:

- направлены на усовершенствование методов исследования эффективности, которая является важнейшим комплексным свойством сложных систем;

- представлены в виде формализованных методик и алгоритмов, облегчающих практическое применение модифицированного метода DEA–АСФ;

- предлагают способы агрегирования информации, предоставляемой ЛПР, что важно при большом числе уровней и подсистем в иерархической системе;

- предусматривают не только оценку достигнутого уровня эффективности иерархической системы, но также и выработку рекомендаций по повышению ее эффективности.

Основные результаты работы:

1. На основе анализа подходов и методов исследования эффективности сложных иерархических систем показано, что метод DEA–АСФ может быть основой формализованной методики исследования эффективности систем такого класса.

2. Метод DEA–АСФ модифицирован посредством разработки комплекса алгоритмов и формализованной методики формирования искусственных эталонных границ эффективности на основе обобщения индивидуальных экспертных оценок.

3. На базе модифицированного метода DEA–АСФ разработана формализованная методика исследования эффективности сложных иерархических систем. Проведена апробация разработанной методики на примере объектов системы высшего профессионального образования.

4. С использованием современных информационных технологий разработана автоматизированная система поддержки принятия решений, реализующая предложенную методику исследования эффективности сложных иерархических систем.