

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 621.396

DOI: 10.17587/it.26.611-617

**К. З. Билятдинов**, доц., e-mail: k74b@mail.ru,  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Национальный исследовательский университет ИТМО",  
**В. В. Меняйло**, канд. филол. наук, доц., menyaylo917@mail.ru,  
Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Санкт-Петербург

## Модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности технических систем

*Представлен модифицированный метод DEA, усиленный расчетом корреляционных зависимостей сравниваемых переменных и использованием коэффициента вето. На основе данного метода авторами разработана методика оценки эффективности технических систем и представлена ее программная реализация. Предлагается применение метода и методики для оценки эффективности технических систем, составления отчетов о функционировании технических систем и подготовки обоснованных управленческих решений в условиях нехватки времени и ресурсов.*

**Ключевые слова:** модифицированный метод DEA, результативность технических систем, экономичность технических систем

### Введение

В настоящее время можно вполне обоснованно утверждать, что в современных условиях эффективность управления техническими системами (далее — системами) в значительной степени зависит от своевременного принятия управленческих решений, основанных на оценке их эффективности и учитывающих специфику оцениваемых систем. При этом объективная оценка эффективности систем требует подробной детализации и наиболее полного учета множества факторов и условий, которые сопровождают функционирование систем, а также их сравнение с аналогичными системами и (или) с различными периодами функционирования оцениваемых систем.

Большинство современных систем имеют аналоги, которые функционируют в похожих условиях. В особенности это касается систем жизнеобеспечения, технических систем охраны, систем контроля управления доступом, систем электропитания, различных систем сигнализации, автоматизированных систем управления и связи. Логично предположить, что дальнейшее эффективное развитие и совершенствование оцениваемых систем невозможно без учета перспектив, анализа и оценки современного состояния дел в этой сфере.

Разнообразие систем и современное развитие технологий обосновывает необходимость комплексного и системного использования информации из внутренних и внешних информационных ресурсов для сравнения этих систем в интересах объективной оценки их эффективности. Вышеизложенное обосновывает необходимость разработки универсальных инструментов оценки эффективности систем [1, 2].

Для оценки качества системы любой природы важнейшей характеристикой является эффективность ее функционирования. Однако очевидно, что никакой отдельный частный показатель не может быть использован для универсального применения при оценке эффективности различных систем. Поэтому А. Чарнесом, В. Купером и Е. Родесом (А. Charnes, W. Cooper, E. Rhodes) был разработан метод "Data Envelopment Analysis" (DEA), или "Анализ среды функционирования" (АСФ) [3—8]. В то же время применение метода DEA не дает объяснения причин состояния системы и, соответственно, не дает дополнительной обоснованной информации для принятия наиболее рационального управленческого решения. Исходя из этого авторы предлагают использовать модифицированный метод DEA в качестве основы методики оценки эффективности системы.

## 1. Модифицированный метод DEA

В предлагаемом модифицированном методе DEA с помощью апробированных математических инструментов устранены вышеупомянутые недостатки. Кроме того, предлагаемый метод в большей степени пригоден для программной реализации, поскольку использует систематизированные расчетные таблицы. Модифицированный метод DEA представляет собой симбиоз методов DEA ("Анализа среды функционирования") [3–7] и расчета корреляции зависимости [1].

На основании научных работ М. Дж. Фаррелла (М. J. Farrell) [8] в сфере развития методов непараметрического граничного анализа можно сформулировать следующие направления применения модифицированного метода DEA:

1. Оценка результативности (effectiveness) — определение степени достижения цели оцениваемой системой в заданный период времени.
2. Оценка экономичности (efficiency) — определение соотношения затрат ресурсов и результата, достигнутого оцениваемой системой в заданный период времени.

Таким образом, в самом общем виде содержание задачи оценки эффективности системы сводится к определению экономичности осуществляемого системой преобразования потребляемых ресурсов в получаемые результаты.

При современном многообразии различных систем, выполняющих одинаковые функции, наиболее перспективным направлением применения модифицированного метода DEA и разработанной на его основе методики оценки эффективности системы будет являться первое направление, т. е. оценка (сравнение) достигнутого результата с требуемым (базовым) значением этого результата за заданный период времени при условии одинаковых затрат ресурсов оцениваемыми системами [1, 2, 9].

Для этой цели в модифицированном методе DEA применяется парное сравнение количественных значений всех затраченных ресурсов ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ) и количественных значений достигнутого результата ( $Y$ ) или сравнение достигнутого результата ( $Y$ ) с его установленными базовыми (требуемыми) значениями ( $Y_0$ ). Проводится сравнение всех оцениваемых систем и (или) оцениваемых периодов времени функционирования одной системы. Ключевым моментом в модифицированном методе DEA является рекомендация по установлению базовых количественных значений для результата ( $Y_0$ ) и затраченных ресурсов ( $X_{j0}$ ).

В разработанном методе сравнение рекомендуется проводить с помощью построения соот-

ветствующих расчетных таблиц: таблица 1 — для сравнения количественных значений достигнутого результата ( $Y_1, \dots, Y_n$ ) и таблица 2 — для сравнения количественных значений всех затраченных ресурсов ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ) с их базовыми значениями. В таблицах  $n$  — это число оцениваемых систем;  $i$  — число видов затраченных ресурсов.

Для оценки результативности систем вводится коэффициент результативности ( $R_{j0}$ ) по формуле

$$R_{j0} = \frac{Y_j}{Y_0},$$

где  $Y_j$  — это количественное значение результата, достигнутого  $j$ -й системой.

В таблице 1 указывается степень достижения цели оцениваемой системой в заданный период времени по сравнению с установленным базовым (требуемым) количественным значением результата ( $Y_0$ ), которое должно быть обязательно достигнуто системами за время своего функционирования.

Очевидно, что для объективной оценки значения требуемых результатов ( $Y_0$ ) для всех оцениваемых систем должны быть равны. Однако в методе возможны расчеты с использованием разных значений требуемых результатов в зависимости от расхода ресурсов в различных условиях функционирования систем, например, расхода топлива в зимнем и летнем периодах эксплуатации.

В таблице 1 оценка результативности систем проводится в соответствии со следующими тремя критериями:

1. Если  $R_{j0} > 1$ , то  $j$ -я система достигла требуемого результата и превысила требуемый результат в  $R_{j0}$  раза или на  $(100R_{j0} - 100)$  %.
2. Если  $R_{j0} = 1$ , то  $j$ -я система достигла требуемого результата и находится на границе своей результативности.
3. Если  $R_{j0} < 1$ , то  $j$ -я система не достигла требуемого результата и достигнутый результат меньше требуемого на  $(100 - 100 R_{j0})$  процента(ов).

В таблице 1 место в рейтинге систем определяется по следующему правилу: наибольшему значению  $R_{j0}$  ( $R_{j0\max}$ ) соответствует первое место в рейтинге, наименьшему — последнее место.

Из вышеприведенного правила понятно, что на первом месте рейтинга будет система с наибольшим значением  $R_{j0}$  и, соответственно, на последнем месте будет система с наименьшим количественным значением сравнения достигнутого результата с требуемым. При этом возможна ситуация, когда при равных значениях  $R_{j0}$  две и более системы будут занимать одно

Оценка результативности систем

Система	Результат (ед. измер.)		Место в рейтинге	Выводы о результативности систем		
	Достигнутый системой	Коэффициент результативности ( $R_{j6}$ )		Система достигла требуемого результата		Система не достигла требуемого результата
				Превысила требуемый результат	Находится на границе своей результативности	
1	$Y_1$	$R_{16}$				
2	$Y_2$	$R_{26}$				
...	...	...				
$n$	$Y_n$	$R_{n6}$				

место в рейтинге. Иными словами,  $N$  не всегда может быть равно числу оцениваемых систем  $n$ .

При необходимости в методе по результатам заполнения таблицы 1 предусмотрено построение диаграммы распределения результатов, пример приведен на рис. 1.

На рис. 1 системы, которые не достигли требуемого (базового) результата (системы 2 и 5), находятся ниже контрольной линии базового уровня ( $R_{j6} = 1$ ), а системы, которые превысили требуемый результат (системы 4, 7 и 3), соответственно, находятся выше. Системы, достигшие результаты, равные базовому, расположены на базовом уровне (системы 6 и 1).

В методе для учета специфических требований к оцениваемым системам может применяться коэффициент вето —  $\varphi(X_i)$ , где  $X_i$  — количественное значение заданного вида расходуемого ресурса, для которого установлен диапазон допустимых значений. В частности, коэффициент вето может заключаться в установлении лицом, принимающим решение (ЛПР), верхнего порога значений расхода отдельных видов ресурсов (например, число персонала, трудозатраты и т.д.) для достижения требуемого результата.

В принципе, согласно теории, в комплексных показателях качества низкие значения одних единичных показателей могут компенсироваться высокими значениями других [2, 7].

Но для некоторых оцениваемых систем такая компенсация будет противоречить реальным требованиям к их эффективному функционированию, так как в отдельных случаях недопустимо компенсировать значения одних показателей высокими значениями других. Поэтому для исключения такой возможности, а также для учета принципа универсальности и различных специфических требований к разным системам коэффициент вето является важной частью разработанного метода [2].

Таким образом, в предлагаемом методе коэффициент вето — это функция, которая при выходе любого из важнейших единичных показателей за допустимые пределы установленного диапазона становится равной нулю. Во всех остальных случаях коэффициент вето  $\varphi(X_i)$  остается равным единице.

В таблице 2 расчеты и оценка проводятся по тем же правилам, что и для таблицы 1, за исключением правила составления рейтинга систем по расходу ресурсов, так как на первом месте рейтинга должна быть система с наименьшим расходом, а на последнем — с наибольшим.

Таблица 2  
Оценка экономичности систем по расходу ресурса  $X_i$  для достижения результата  $Y_j$ 

Система	Расход ресурса $X_i$ (ед. измер.)		Место в рейтинге	Выводы об экономичности систем (одной системы в разные периоды времени)		
	Реальный	Требуемый не более $X_{j6}$		Система экономична		Система не экономична
				Расход менее $X_{j6}$	Расход равен $X_{j6}$	
1	$X_1$	$X_{16}$				
2	$X_2$	$X_{26}$				
...	...	...				
$n$	$X_n$	$X_{n6}$				

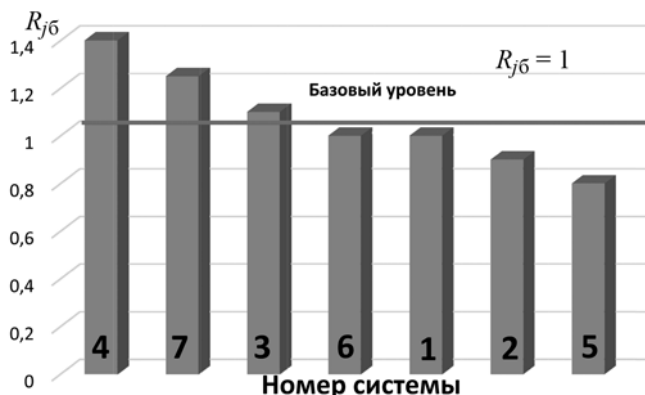


Рис. 1. Рейтинг систем и распределение результатов

При определенных условиях может выполняться равенство  $X_{16} = X_{26} = \dots = X_{n6}$ . Таблица 2 составляется для каждого оцениваемого вида ресурсов.

Для анализа данных целесообразно составление графиков (диаграмм) зависимостей расхода между разными видами ресурсов и (или) между разными видами ресурсов и достигнутыми результатами, что реализовано в методике оценки эффективности систем. Также в методе предусмотрено составление графиков зависимости расхода ресурсов с учетом их базовых значений (рис. 2).

Анализ распределения значений  $S_{xi}$  и  $S_{xk}$  на рис. 2 позволяет ЛПР сделать следующие выводы по аналогии с тремя критериями таблицы 1:

1. Системы, расположенные внутри квадрата со сторонами  $S_{xi} = 1$  и  $S_{xk} = 1$ , экономичны по расходу ресурсов  $X_i$  и  $X_k$  на достижение результата  $Y_j$ , в примере на рис. 2 это системы 1, 2 и 4.

2. Системы, расположенные справа от данного квадрата, т. е.  $S_{xk} > 1$ , но ниже линии  $S_{xi} = 1$ , экономичны по расходу ресурсов  $X_i$  и не экономичны по расходу ресурса  $X_k$ , в примере на рис. 2 это система 3.

3. Системы, расположенные сверху данного квадрата ( $S_{xi} > 1$ , но  $S_{xk} < 1$ ), но слева от линии  $S_{xk} = 1$  ( $S_{xk} < 1$ ) экономичны по расходу ресурсов  $X_{i-2}$ , но не экономичны по расходу ресурса  $X_i$ . На рис. 2 это система 7.

4. Системы, расположенные по диагонали сверху от данного квадрата ( $S_{xi} > 1$  и  $S_{xk} > 1$ ) не экономичны по расходу ресурсов  $X_k$ , и  $X_i$ , в примере на рис. 2 это системы 5 и 6.

При необходимости можно рассчитать нормированные коэффициенты важности для каждого расходуемого ресурса  $c_k$ , где  $k$  — это номер вида ресурса. При расчете значения  $c_k$  должно соблюдаться правило: чем важнее  $k$ -й ресурс, тем меньше должен быть его норми-

рованный коэффициент важности  $c_k$ . Для соблюдения указанного правила наиболее рационально рассчитать значение  $c_k$  для каждого вида ресурсов на основе субъективного мнения ЛПР, выраженного с помощью ранжирования  $i$  ресурсов по принципу: чем важнее вид ресурса, тем меньший номер места в рейтинге он получает, т. е. на первом месте будет наиболее важный ресурс, а на последнем  $i$ -м месте — наименее важный ресурс. Таким образом, формула расчета  $c_i$  имеет вид:

$$c_k = \frac{N_k}{\sum_{k=1}^{k=i} N_k},$$

где  $N_k$  — это номер места в рейтинге  $k$ -го вида ресурса.

В модифицированном методе DEA на основе данных таблиц вида таблицы 2, составленных для каждого вида расходуемых ресурсов и нормированных коэффициентов важности расходуемых видов ресурсов  $c_k$ , рекомендуется рассчитать комплексный показатель  $C_m$  экономичности расходования ресурсов ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ) системой  $m$  на достижение результата:

$$C_m = \sum_{k=1}^{k=i} c_k S_{X_k m},$$

где  $m$  — это номер оцениваемой системы, а  $S_{X_k m}$  — это коэффициент экономичности расхода ресурса  $X_k$  для достижения результата системой  $m$ .

По результатам оценки результативности и экономичности систем (таблицы 1 и 2) целесообразно составить рейтинг эффективности оцениваемых систем, применяя для этой цели таблицу 3.

В таблице 3 рейтинг определяется по наибольшему значению суммы баллов.

Сумма баллов ( $E_j$ ) оцениваемой системы  $j$  рассчитывается по формуле:

$$E_j = e_R R_{j\delta} + e_C \left( 1 - \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \right),$$

Таблица 3

Рейтинг эффективности систем

Система	Коэффициент результативности $R_{j\delta}$	Комплексный показатель экономичности $C_j$	Коэффициент эффективности системы $E_j$	Место в рейтинге
1				
$n$				

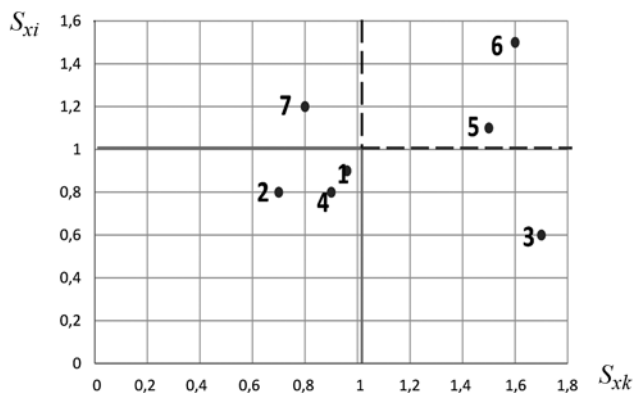


Рис. 2. График распределения коэффициентов экономичности расхода ресурсов  $X_i$  и  $X_k$  семи систем на достижение результата  $Y_j$

где  $e_R$  — это нормированный весовой коэффициент важности коэффициента результативности, одинаковый для всех коэффициентов результативности оцениваемых систем ( $R_{1б}, R_{2б}, \dots, R_{jб}$ ), а  $e_C$  — это нормированный весовой коэффициент важности комплексного показателя экономичности, также одинаковый для всех комплексных показателей экономичности ( $C_1, C_2, \dots, C_j$ ) в таблице 3. В методе использование значений  $e_R$  и  $e_C$  не является обязательным. Значения  $e_R$  и  $e_C$  применяются при необходимости учета при составлении рейтинга специфических требований к системам, и их рекомендуется рассчитывать на основе мнений экспертов. Для этого каждому эксперту предлагается оценить важность  $R_{jб}$  и  $C_j$  для составления рейтинга эффективности систем путем распределения заранее определенного числа баллов  $B$  между двумя этими показателями таким образом, чтобы сумма распределенных баллов равнялась этому определенному числу баллов ( $B$ ), т. е.  $B = B_R + B_C$ , где  $B_R$  — это число баллов, полученное коэффициентом результативности ( $R_{jб}$ ), а  $B_C$  — это число баллов, полученное комплексным показателем экономичности ( $C_j$ ). Тогда формулы расчетов нормированных значений  $e_R$  и  $e_C$  можно записать в следующем виде:

$$e_R = \frac{B_R}{B} \text{ и } e_C = \frac{B_C}{B},$$

$$\text{а следовательно, } e_R + e_C = \frac{B_R}{B} + \frac{B_C}{B} = 1.$$

В данном методе учитывается, что при комплексном подходе к анализу эффективности функционирования систем ЛПР получает достаточно большое количество информации, которую необходимо обработать и представить в виде, удобном для принятия рационального решения по повышению эффективности. Для этой цели применяются расчеты корреляционных зависимостей ( $r_{x_i y}$  или  $r_{x_i x_{(i-1)}}$ ) по формуле Пирсона [1, 2], используемой в разработанном методе для выявления существования зависимости и характера связи между следующими парами переменных:

1) между количественным значением достигнутого результата ( $Y$ ) и каждым количественным значением затраченного на достижение этого результата ( $r_{x_i y}$ ) вида ресурсов ( $X_i$ ). В этом случае формула Пирсона имеет вид

$$r_{xy} = \frac{n \cdot \sum (X_i - Y) - (\sum X_i \cdot \sum Y)}{\sqrt{n \cdot \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2}};$$

2) между парами количественных значений затраченных видов ресурсов ( $X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_i$ ) —  $r_{x_i x_{(i-1)}}$ , и для этих расчетов формула Пирсона преобразуется к виду

$$r_{x_i x_{(i-1)}} = \frac{n \cdot \sum (X_i - X_{i-1}) - (\sum X_i \cdot \sum X_{i-1})}{\sqrt{n \cdot \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum X_{i-1}^2 - (\sum X_{i-1})^2}}.$$

После выполнения расчетов коэффициента корреляции для каждой пары сравниваемых значений рекомендуется внести полученные данные в специально разработанную таблицу 4, составленную на основе общепринятых соотношений тесноты связи между переменными [1, 2].

Особенности данного метода заключаются в простоте его применения для должностных лиц и практической направленности на повышение эффективности управления. Систематизированная информация, полученная в результате расчетов, позволит ЛПР более детально провести анализ зависимостей ухудшения или улучшения значений корреляционной зависимости. Применение метода на практике может быть использовано для совершенствования управляющих воздействий, направленных на достижение цели функционирования системы.

По сути, разработанный модифицированный метод DEA — это инструмент бенчмаркинга, который позволяет определить наиболее эффективные подсистемы (элементы, изделия) в составе оцениваемой системы.

В идеале при применении модифицированного метода DEA анализ зависимостей ухудшения или улучшения согласованности по различным оцениваемым событиям (вариантам решений) поможет выявить проблемы в процессе управления и принять обоснованные решения по их исправлению.

Накопленная информация (информационные резервы системы [2, 10]) позволит не только оценить эффективность, но также выявить и сформулировать недостатки конкретных процессов функционирования систем. С помощью этой информации наиболее рационально сформулировать обоснованные управленческие решения по исправлению этих недостатков, что в конечном счете повысит эффективность оцениваемых систем. Кроме того, использование информационных резервов позволит заинтересованным ЛПР прогнозировать неблагоприятные события в системе и принимать забла-

Таблица 4  
Степень корреляционной зависимости между парами значений переменных

Очень слабая корреляция $0 <  r  < 0,5$	Слабая корреляция $0,5 <  r  < 0,7$	Средняя корреляция $0,7 <  r  < 0,8$	Высокая корреляция $0,8 <  r  < 0,9$	Очень высокая корреляция $0,9 <  r  < 1$

говременные управленческие решения по их устранению, что, в свою очередь, создаст объективные условия для существенного повышения эффективности функционирования систем.

## **2. Методика оценки эффективности технических систем и программа для ЭВМ "Анализ и оценка эффективности систем"**

Метод является теоретическим базисом методики оценки эффективности технических систем совместно с программой для ЭВМ "Анализ и оценка эффективности систем" [2, 11]. Методика и программа предназначены для анализа и оценки эффективности систем и (или) одной системы в различные периоды времени ее функционирования.

Методика, реализованная в виде данной программы, выполняет все необходимые расчеты для построения таблиц, систематизации полученных значений корреляционных зависимостей показателей функционирования систем, графиков и диаграмм. Она позволяет сравнивать системы (периоды времени) по результату и (или) показателю функционирования систем, а также по соотношению израсходованных ресурсов ( $X$ ) и результата ( $Y$ ) и составлять рейтинги систем (см. рис. 1).

В программе используются количественные значения двух ( $X_1, X_2$ ) и более видов ресурсов ( $X$ ). Стоимость израсходованных ресурсов, единицы измерения полученного результата и общая стоимость полученного результата измеряются в тысячах рублей.

Краткая последовательность действий (алгоритм программы для ЭВМ) включает в себя:

1. Определение оцениваемых систем, выполняющих аналогичные функции, или периодов времени функционирования одной программной системы (комплекса из нескольких программных систем), например, до и после модернизации, или до и после совершенствования технического обеспечения, или до и после повышения квалификации персонала и т.д.

2. Определение достигнутого результата и его количественного значения ( $Y$ ) для каждой системы (периода времени).

3. Составление списка затраченных на достижение результата ресурсов (показателей) для каждой оцениваемой системы (периода времени) и определение их количественных значений ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ).

3. Проведение парных сравнений количественных значений ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ) по принципу сравнения каждой оцениваемой системы (периода времени).

4. Сравнение затрат ресурсов ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ) и результата ( $Y$ ) для каждой оцениваемой системы (оцениваемого периода времени функционирования одной системы).

5. Составление рейтинга систем (периодов времени).

6. Расчет корреляционной зависимости и систематизация результатов.

Корреляционная зависимость рассчитывается по вышеприведенной формуле Пирсона. Для систематизации используется таблица 4.

7. Построение графиков и диаграмм с результатами всех сравнений затрат ресурсов ( $X_1, X_2, \dots, X_i$ ), результата ( $Y$ ), стоимости ресурсов и результата.

8. Представление отчета ЛПР: в программе предусмотрена возможность формирования отчетов в формате Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени.

Программа имеет интуитивно понятный интерфейс. Язык программирования: Python. Объем программы: 307 Кбайт [2, 11].

Основной положительный эффект, достигнутый от внедрения методики и программы: понятность и наглядность результатов, а также сокращение времени и ресурсов на оценку эффективности и повышение обоснованности управленческих решений за счет возможности сравнения и требуемой детализации израсходованных ресурсов ( $X$ ) при анализе и оценке эффективности системы.

## **Заключение**

Программная реализация методики позволила существенно снизить затраты времени и ресурсов на оценку эффективности технических систем и своевременное принятие обоснованных управленческих решений по результатам этой оценки. Методика оценки эффективности программных систем (объектов) совместно с программой для ЭВМ "Анализ и оценка эффективности систем" сокращает время на оценку при требуемой детализации израсходованных ресурсов и полученного результата, а также проводит анализ корреляционной зависимости всех используемых переменных и составляет рейтинг систем.

Разработанный модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности в полной мере позволяют снизить время анализа и оценки в условиях увеличения объема используемой информации о системах. Кроме того, в модифицированном методе DEA для обеспечения универсальности и учета специфических требований предусмотрена возможность установления параметров, снижение (увеличение) которых категорически недопустимо.

Таким образом, разработанные модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности систем совместно с программой для ЭВМ "Анализ и оценка эффективности систем" способствуют повышению эффективности управления техническими системами за счет своевременной и детальной оценки эффективности этих систем.

#### Список литературы

1. Биятдинов К. З., Алейников А. А., Кривчун Е. А. Диаграмма разброса и расчет корреляции зависимости при оценке качества управления // *Качество и жизнь*. 2017. № 1 (13). С. 48–50.
2. Биятдинов, К. З., Красов, А. В., Меньяйло, В. В. Исследование систем и анализ результатов испытаний. Санкт-Петербург: Астерион, 2019. 362 с.
3. Charnes A., Cooper W. W. Programming with linear fractional functionals // *Naval Research Logistics Quarterly*. 1962. N. 9. P. 181–185.
4. Cooper W. W. Data Envelopment Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. 318 p.

5. Cooper W. W., Charnes A., Golany B., Seiford L., Stutz J. Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions // *Journal of Econometrics*. 1985. P. 91–107.
6. Dulá J. H. Computations in DEA // *Pesquisa Operacional*. 2002. Vol. 22, N. 2. P. 165–182.
7. Efficiency and Productivity Analysis in the 21<sup>st</sup> Century: Proceedings of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia). Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002. 178 p.
8. Farrell M. J. The Measurement of Productive Efficiency // *Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General)*, Part III. 1957. Vol. 120. P. 253–281.
9. Krasov A. V., Arshinov A. S., Ushakov I. A. Embedding the hidden information into java byte code based on operands' interchanging // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13, N. 8. P. 2746–2752.
10. Shterenberg S. I., Krasov A. V., Ushakov I. A. Analysis of using equivalent instructions at the hidden embedding of information into the executable files // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2015. Vol. 80, N. 1. P. 28–34.
11. Биятдинов К. З. Анализ и оценка эффективности систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610389, дата государственной регистрации 14.01.2020.

**K. Z. Biliatdinov**, Associate Professor, e-mail: k74b@mail.ru,  
ITMO University, St. Petersburg, 197101, Russian Federation,

**V. V. Meniailo**, Associate Professor, e-mail: menyaylo917@mail.ru,  
National Research University Higher School of Economics, St. Petersburg, 190121, Russian Federation

## Modified Method DEA and Methodology of Technical Systems Effectiveness Assessment

*The article describes modified method DEA, supported by a calculation of correlation dependence of compared variables and use of veto index. The modified method DEA is developed on the basis of the classical method DEA but it uses basic (required) values for each of assessed systems in order to assess effectiveness and efficiency of contemporary technical systems. Moreover, for the purposes of practical application of the modified method DEA, the authors created methodology of effectiveness assessment and its software implementation. The main advantages of the proposed method and methodology are there universality, ease of software implementation and the fact that their practical application does not require considerable expenditures of time and resources. The authors propose to use the method and methodology for effectiveness assessment of technical systems of any nature and complexity, for making reports of systems functioning, for making justified managerial decisions in the deficit of time and resources and for keeping informational reserves of a system updated.*

**Keywords:** modified method DEA, effectiveness of technical systems, efficiency of technical systems

DOI: 10.17587/it.26.611-617

#### References

1. Bilyatdinov K. Z., Aleinikov A. A., Krivchun E. A. Correlating diagram and calculation of dependence correlation when assessing quality of management, *Kachestvo i Zhizn'*, 2017, no. 1 (13), pp. 48–50 (in Russian).
2. Bilyatdinov K. Z., Krasov A. V., Menyailo V. V. Study of systems and analysis of testing results, St. Petersburg, Asterion, 2019, 362 p.
3. Charnes A., Cooper W. W. Programming with linear fractional functionals, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1962, no. 9, pp. 181–185.
4. Cooper W. W. Data Envelopment Analysis, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2000, 318 p.
5. Cooper W. W., Charnes A., Golany B., Seiford L., Stutz J. Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions, *Journal of Econometrics*, 1985, pp. 91–107.

6. Dulá J. H. Computations in DEA, *Pesquisa Operacional*, 2002, vol. 22, no. 2, pp. 165–182.
7. Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century: Proceedings of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia), Moscow, International Research Institute of Management Sciences, 2002, 178 p.
8. Farrell M. J. The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General)*, Part III, 1957, vol. 120, pp. 253–281.
9. Krasov A. V., Arshinov A. S., Ushakov I. A. Embedding the hidden information into java byte code based on operands' interchanging, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018, vol. 13, no. 8, pp. 2746–2752.
10. Shterenberg S. I., Krasov A. V., Ushakov I. A. Analysis of using equivalent instructions at the hidden embedding of information into the executable files, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2015, vol. 80, no. 1, pp. 28–34.
11. Bilyatdinov K. Z. Analysis and assessment of systems effectiveness, Certificate of the state registration of software № 2020610389, 14.01.2020 (in Russian).