

УДК 658.567.1:628.171

<https://doi.org/10.36906/KSP-2022/18>

*Кутышкин А.В.*

*ORCID: 0000-0003-3226-0360, д-р техн. наук*

*Шульгин О.В.*

*ORCID: 0000-0002-1989-3975, канд. экон. наук*

*Нижневартровский государственный университет*

*г. Нижневартовск, Россия*

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА АНАЛИЗА СРЕДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ**

**Аннотация.** В работе представлены результаты оценки производственной эффективности деятельности систем водопользования регионов (РСВ) Арктической зоны РФ за период 2016 – 2020 г.г., полученные на основе метода анализа среды функционирования. Данный метод представляет собой непараметрический оболочечный анализ данных (Data Envelopment Analysis, DEA) о функционировании указанных систем, регистрируемых действующей системой государственной статистики. Рассматриваемые системы описываются типовой моделью системного анализа «вход-преобразование-выход» и считаются однородными производственными объектами (ПО). Для оценки производственной эффективности этих ПО использовалась классическая входо-ориентированная DEA – модель. Согласно полученным расчетным оценкам эффективности более 44% рассматриваемых РСВ в течение всего периода наблюдения функционируют с максимальной эффективностью; 33% РСВ – с достаточно высокой эффективностью и незначительной волатильностью режима их работы, и 23 % РСВ характеризуются достаточно низкой производственной эффективностью. В качестве примера для одной из этих низкоэффективных РСВ определены целевые расчетные значения входных показателей, достижение которых позволит максимизировать эффективность их деятельности при принятом наборе входных и выходных показателей.

**Ключевые слова:** производственная эффективность; DEA; водопотребление; региональная система

*Kutyshkin A.V.*

*ORCID: 0000-0003-3226-0360, Ph.D.*

*Shulgin O.V.*

*ORCID: 0000-0002-1989-3975, Ph.D.*

*Nizhnevartovsk State University*

*Nizhnevartovsk, Russia*

## ON THE USE OF THE FUNCTIONING ENVIRONMENT ANALYSIS METHOD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF REGIONAL WATER CONSUMPTION SYSTEMS

**Abstract.** The paper presents the results of assessing the production efficiency of the regional water use systems (RSV) of the Arctic zone of the Russian Federation for the period 2016 - 2020, obtained on the basis of the method of analysis of the functioning environment. This method is a non-parametric shell analysis of data (Data Envelopment Analysis, DEA) on the functioning of these systems, recorded by the current system of state statistics. The systems under consideration are described by a typical system analysis model "input-transformation-output" and are considered homogeneous production objects (PO). To assess the production efficiency of these software, the classical input-oriented DEA - model was used. According to the calculated efficiency estimates obtained, more than 44% of the considered RSVs operate with maximum efficiency during the entire observation period; 33% of RSV - with rather high efficiency and insignificant volatility of their mode of operation and 23% of RSV are characterized by rather low production efficiency. As an example, for one of these low-performance RSVs, the target calculated values of input indicators are determined, the achievement of which will allow maximizing the efficiency of their activities with the accepted set of input and output indicators.

**Keywords:** production efficiency; DEA; water consumption; regional system

Оценка эффективности функционирования сложной организационно-технической системы (ОТС) в настоящее время осуществляется по направлениям их финансово-хозяйственной и производственно-технологической деятельности. В рамках первого направления разработаны, апробированы и успешно используются хорошо зарекомендовавшие себя методы анализа финансово-хозяйственной деятельности (АФХД). Ключевое внимание при этом сфокусировано на формировании финансово-экономических оценок деятельности ОТС на основе ее первичной финансовой отчетности. В рамках второго направления производственную (технологическую) эффективность (ПЭ) ОТС принято рассматривать как отношение величины ее конечного продукта и объемов, используемых при его производстве ресурсов. В этом контексте чаще всего для оценки ПЭ применяют аппарат производственных функций (ПФ) или балансовые модели (БМ). Сложность использования ПФ обусловлена ограниченным перечнем видов ресурсов (факторов затрат производства), используемых при описании способа производства ОТС конечного продукта. Применение же БМ, в свою очередь, осложняется отсутствием достоверных данных для определения технологических коэффициентов. Отмеченные сложности существенно увеличиваются при решении задач сравнительной оценки эффективности нескольких ОТС. В настоящее время для решения подобного типа задач достаточно активно используется оболочечный анализ данных (Data Envelopment Analysis, DEA) о функционировании ОТС, известный в отечественной литературе, как анализ среды функционирования (АСФ) [3; 4; 6-8]. В рамках концепции метода DEA функционирование ОТС описывается простейшей функциональной моделью

системного анализа «вход-преобразование-выход», которая не требует идентификации непосредственных функциональных связей между характеристиками указанных элементов модели. Вместе с тем, не всегда однозначен выбор перечня показателей входов и выходов ОТС. Кроме того, имеются определенные ограничения на соотношение их количества и количества исследуемых ОТС. Целью работы является получение с использованием метода оболочечного анализа данных оценки эффективности функционирования систем водопотребления регионов Арктической зоны за период с 2016 г. по 2020 г.

**Методы и материалы.** Региональные системы водопользования (РСВ), являясь сложными организационно-техническими системами, представлены множествами однотипных профильных предприятий, которые используют в своей деятельности схожие технологические процессы и оборудование. Социально-экономические и природно-климатические условия работы этих предприятий в целом мало отличаются друг от друга. Таким образом, рассматриваемые РСВ можно считать однородными производственными объектами (ОП) (Decision Making Units, DMU), и их можно объединить в одну группу. Каждый ПО (DMU) ( $j = 1, \dots, N$ ) имеет  $M$  «выходов» ( $y_{i,k}, i = 1, \dots, M$ ) и  $N$  «входов» ( $x_{k,j}, n = 1, \dots, K$ ), т.е. функционирование DMU описывается типовой функциональной моделью системного анализа «вход-преобразование-выход». Для количественной оценки эффективности  $\theta_j$  (показатель/коэффициент эффективности) функционирования  $j$ -ого DMU использовалась типовая входо-ориентированная DEA - модель – CCR модель (Charnes – Cooper – Rhodes) с постоянным масштабом отдачи [3; 4; 8]:

$$\begin{aligned} \min_{\lambda} \theta \\ \begin{cases} -y_i + Y\lambda \geq 0; \\ \theta x_k - X\lambda \geq 0; \\ \lambda \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $Y$  – матрица  $[M \times N]$  выходных показателей  $y_{i,j}$ ;  $X$  – матрица  $[K \times N]$  входных показателей  $x_{k,j}$ ;  $\theta$  – скаляр;  $\lambda$  – вектор констант размерности  $N \times 1$ .

Среди  $M$  выходов только часть ( $i = 1, \dots, p$ ) рассматривается как «полезные или желательные», а остальные ( $i = p, \dots, M$ ) считаются «нежелательными», т.е. оказывающими негативное влияние на экологическое состояние региона. К «полезным выходам» будем относить объемы очищенной и условно чистой воды, сбрасываемой ПО в водные источники региона, а к «нежелательным выходам» – неочищенные и недостаточно очищенные объемы воды, которые также сбрасываются в те же водные источники. Оценки эффективности функционирования DMU рассматриваемой группы по «желательным» и «нежелательным» выходам вход-ориентированных CCR моделей эквивалентны, что можно объяснить одним и тем же набором входов моделей, которые используются ПО при формировании этих видов выходов [4; 10]. Поэтому минимизация оценок коэффициентов эффективности функционирования ПО по «нежелательным» выходам приводит к максимизации аналогичных оценок по «желательным» выходам.

Метод DEA не предполагает идентификацию «самого эффективного» DMU рассматриваемой группы объектов. Он обеспечивает построение кусочно-линейной поверхности – границы производственных возможностей (ГПВ) для этой группы. Вследствие этого, если расчетное значение  $\theta_j = 1$ , то это означает, что DMU<sub>j</sub> функционирует с максимальной эффективностью при принятом наборе показателей «входов» и «выходов». В том случае, если  $0 \leq \theta_j \leq 1$ , то функционирование  $j$ -ого DMU считается не достаточно эффективным. Для таких DMU рассчитываются целевые значения входных показателей  $x_{k,j,g}$ , при достижении которых данные объекты будут показывать максимальную эффективность функционирования ( $\theta_j = 1$ ). При расчете  $x_{k,j,g}$  используются значения входных показателей DMU, которые является «объектом – лидером/ориентиром» для этого неэффективного объекта. Оценка осуществляется согласно следующей зависимости [9]:

$$x_{k,j,g} = \sum_{j=1}^N \lambda_j x_{k,j,f}, \quad (2)$$

где  $\lambda_j$  - расчетные весовые коэффициенты для  $j$ -го показателя, обеспечивающие подбор оптимального «объекта – лидера/ориентира» для неэффективного объекта;  $x_{k,j,g}$ ;  $x_{k,j,f}$  – фактические значения показателей входа «объекта – лидера/ориентира».

В качестве выходных и входных показателей рассматриваемых региональных систем водопользования – DMU были приняты следующие величины.

Для рассматриваемых региональных систем водопользования – DMU были приняты следующие выходные и входные показатели, регистрируемые действующей системой государственной статистики Российской Федерации [1; 2; 5]:

$y_j$  – ежегодный объем нормативно чистой и нормативно очищенной сточной воды сброшенной в водные объекты региона, млн. куб. м. в год;

$x_{1,j}$  – ежегодный объем пресной воды забранной из природных водных объектов региона для производственных и потребительских нужд, млн. куб. м. в год

$x_{2,j}$  – суммарный объем воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения региона, млн. куб. м. в год.

$x_{3,j}$  – прямые материальные затраты организаций из состава текущих (эксплуатационных) затрат по охране окружающей среды в части сбора и очистки сточных вод в ценах текущего года, тыс. руб. в год.

$x_{4,j}$  – затраты на оплату труда и отчисления на социальные нужды из состава текущих (эксплуатационных) затрат на охрану окружающей среды в части сбора и очистки сточных вод в ценах текущего года, тыс. руб. в год.

$x_{5,j}$  – затраты на капитальный ремонт основных производственных фондов организаций по охране окружающей среды в части сбора и очистки сточных вод в ценах текущего года, тыс. руб. в год.

В перечень входных показателей не включены стоимость основных производственных фондов (ОПФ) региональных систем водопользования и инвестиции в основной капитал. Это обусловлено тем, что данные о стоимости ОПФ в открытых источниках приводятся только в

агрегированном виде в целом по отрасли «водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизация отходов, деятельность по ликвидации загрязнений», начиная с 2016 г. Вследствие этого определить временные лаги, характеризующие освоение инвестиций в капитал региональных систем водопользования не представляется возможным. Косвенно стоимость ОПФ, по мнению авторов, учитывает показатель  $x_{5,j}$ . Среднегодовая численность занятых также приводится в целом по указанной отрасли без дифференциации по видам экономической деятельности. Однако в показателе  $x_{4,j}$  в целом учитывается использование DMU такого ресурса, как затраты фактора труда. Для обеспечения сопоставимости входные и выходные показатели пересчитывались на одного жителя региона. Оценка значений  $\theta_j$  и  $x_{k,j,g}$  проводилось с использованием программного продукта MaxDEA 8 Basic (<https://clck.ru/32k3f7>).

**Результаты и обсуждение.** Из-за ограничений по объему данной работы авторы не приводят значения входных и выходных показателей DMU за рассматриваемый период с 2016 г. по 2020 г. В таблице 1 приведены расчетные значения коэффициента эффективности  $\theta_j$  функционирования систем водопользования регионов Арктической зоны РФ для указанного временного интервала.

Таблица 1

**Расчетные значения коэффициента эффективности  $\theta_k$  (1) функционирования региональных систем водопользования за период с 2016 г. по 2020 г.**

№ п/п	Наименование региона	Год				
		2016	2017	2018	2019	2020
1	Архангельская область	1	1	1	1	1
2	Мурманская область	1	1	1	1	1
3	Республика Карелия	1	1	1	1	1
4	Республика Коми	0,751	0,777	0,794	0,710	0,727
5	Ненецкий автономный округ	0,159	0,129	0,402	0,105	0,076
6	Красноярский край	0,733	0,758	0,734	0,708	0,690
7	Республика Саха (Якутия)	0,602	0,545	0,620	0,674	0,689
8	Ямало-Ненецкий автономный округ	0,152	0,160	0,180	0,166	0,226
9	Чукотский автономный округ	1	1	1	1	0,930

Расчетные значения  $\theta_j$  таблицы 1 показывают, что с максимальной эффективностью функционируют региональные системы водопользования Архангельской, Мурманской областей, Республики Карелия и Чукотского автономного округа. Региональные системы Республики Коми, Красноярского края и Республика Саха (Якутия) также в целом демонстрируют достаточно высокий уровень эффективности, причем волатильность значений коэффициента эффективности незначительна. Наименее эффективно функционируют региональные системы водопотребления Ненецкого и Ямало-Ненецкого автономных округов. В качестве примера в таблице 2 совместно приведены фактические  $x_{k,j,f}$  и расчетные целевые  $x_{k,j,g}$  значения (2) входных показателей для региональной системы водопользования Ненецкого автономного округа.

Таблица 2

**Расчетные целевые значения входных показателей  $x_{k,j,g}$  для региональной системы водопотребления Ненецкого автономного округа за период с 2016 г. по 2020 г.**

Год	Входные показатели	$x_{1,5}$	$x_{2,5}$	$x_{3,5}$	$x_{4,5}$	$x_{5,5}$
2016	Целевые значения	50,602	58,230	41,779	34,343	2,083
	Фактические значения	318,907	432,802	263,303	1 404,556	32,141
2017	Целевые значения	43,939	70,303	60,753	45,685	4,158
	Фактические значения	341,686	546,697	991,321	1 640,114	126,059
2018	Целевые значения	54,975	40,044	28,821	25,289	1,675
	Фактические значения	341,686	364,465	3 135,011	2 595,991	4,169
2019	Целевые значения	38,353	33,559	41,414	26,851	1,894
	Фактические значения	365,297	319,635	2 804,612	2 613,333	203,265
2020	Целевые значения	34,943	26,005	37,015	17,867	0,855
	Фактические значения	321,455	573,108	2 193,733	4 176,190	183,723

Достаточно низкие значения коэффициента эффективности  $\theta_j$  (табл. 1) предопределили выявление наличия существенных запасов ресурсов (входные показатели), используемых в своей деятельности региональной системой водопользования Ненецкого автономного округа. Значения выходного показателя  $y_5$  (табл. 2) достигаются при рассчитанных значениях  $x_{k,j,g}$ . Однако, следует отметить, что с позиции выработки каких-либо управленческих решений по развитию данной системы однозначные выводы делать достаточно сложно. Это обусловлено тем, что региональная система водопользования является критическим и социально значимым элементом инфраструктуры региона. К тому же численность населения округа относительно мала, поэтому можно рассматривать наличие столь существенных резервов ресурсов данной системы как значительный задел для дальнейшего социально-экономического развития региона.

Полученные на основе использования метода анализа среды функционирования – метода DEA оценки производственной эффективности региональных систем водопользования, позволили выделить подгруппы как эффективно функционирующих ПО, так и ПО с достаточно низким значением этого показателя. Производственные объекты, демонстрирующие в течение всего периода наблюдения высокие значения показателя эффективности, можно рекомендательно рассматривать как «объекты-лидеры/ориентиры» для остальных ПО, т.е. как источники для формирования «лучших практик» реализации своей производственной деятельности. Наряду с этим, эффективные региональные системы водопользования целесообразно также рассматривать и как объекты для ретроспективного анализа принятых и реализованных региональных управленческих решений в данной области. Следует также отметить, что сформировавшаяся кластеризация исследованных ПО зависит от набора входных и выходных показателей. Возможность включения в их перечень таких, ранее отмеченных, входных показателей, как стоимость основных производственных фондов ПО и инвестиций в основной капитал, позволит получить более объективные оценки показателей их производственной эффективности.

### Литература

1. Бюллетени об охране окружающей среды (электронные версии). «Сведения о текущих затратах на охрану окружающей среды». <https://clck.ru/32pFT3>
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова. <https://clck.ru/32pFJ9>
3. Ратнер С.В., Алмастьян Н.А. Метод согласования экологических приоритетов электрогенерирующих компаний и региональных социо-экономических систем // Инновации. 2016. № 215. С. 62-70.
4. Ратнер С.В. Динамические задачи оценки эколого-экономической эффективности регионов на основе базовых моделей анализа среды функционирования // Управление большими системами. 2017. № 67. С. 81-106.
5. Регионы России. Социально-экономические показатели. <https://clck.ru/UMJ8y>
6. Сальникова А.А. Оптимизация регионального эколого-экономического планирования с использованием анализа среды функционирования // Экономический анализ: теория и практика. 2017. Т. 16. № 12. С. 2332-2346.
7. Федотов Ю.В. Измерение эффективности деятельности организации: особенности метода DEA (анализа свертки данных) // Российский журнал менеджмента. 2012. Т.10. № 2. С. 51-62.
8. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research. 1978. Vol. 2. Iss. 6. Pp. 429–444.
9. Cheng G. Data Envelopment Analysis: Methods and MaxDEA Software. Intellectual Property Publishing House Co. Ltd. Beijing. 2014. 275 p.
10. Korhonen P.J., Luptacik M. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis // European Journal of Operational Research. 2004. № 154. Pp. 437–446.

© Кутышкин А.В., Шульгин О.В., 2022