

# МОДЕЛИ АНАЛИЗА СРЕДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ ВЫХОДАМИ В УПРАВЛЕНИИ ЭКО-ИННОВАЦИОННЫМ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНОВ

**С.В. Ратнер**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: [lanarat@ipu.ru](mailto:lanarat@ipu.ru)

**Ключевые слова:** эко-инновации, сравнительная эффективность, региональный экологический менеджмент, анализ среды функционирования, моделирование.

**Аннотация:** В последние годы методология анализа среды функционирования (Data Envelopment Analysis) успешно применяется в задачах регионального управления, причем не только для сравнительной оценки эффективности производственных систем, но и для таких сложных сетевых структур, как системы экологического менеджмента. Моделирование региональных экологических систем как объектов с набором входов, представляющих собой ресурсы, затрачиваемые на развитие эко-инноваций за определенный период времени, и набором выходов, представляющих собой разницу в негативных экологических воздействиях до и после инвестиций в эко-инновационное развитие, открывает широкие перспективы для решения новых классов задач управления в данной сфере. Однако в некоторых задачах применение базовых моделей АСФ ограничено тем, что выходы объекта (DMU), под которым понимается региональная система экологического менеджмента, имеют отрицательные значения. На практике отрицательная разница в значениях экологических воздействий до и после инвестиций в эко-инновации может возникать как по причине недостаточной эффективности региональной системы экологического менеджмента, так и по причине изменений в структуре региональной экономики в сторону роста ресурсозатратных производств. В данной работе предложен подход, позволяющий преодолеть ограничения на значения выходов, свойственные традиционным моделям АСФ.

## 1. Введение

Практические приложения методологии анализа среды функционирования (Data Envelopment Analysis, DEA) в настоящее время активно развиваются, как в зарубежной научной литературе, так и в российской, охватывая все новые области менеджмента и новые классы управленческих задач [1-3]. Основными характерными особенностями анализа среды функционирования, делающим его привлекательным инструментом поддержки принятия управленческих решений, являются следующие: 1) возможность проводить оценку эффективности деятельности экономических агентов, имея минимальные знания об используемых ими производственных функциях и технологиях только по статистическим данным об объемах потребляемых ими ресурсов и объемах

выпуска полезной продукции; 2) возможность изучать различные аспекты функционирования сложных систем, варьируя выбор выходов и выходов модели АСФ; 3) возможность выбирать для каждого неэффективного экономического агента (или системы) бенчмарки и оптимизировать свою стратегию достижения эффективности; 4) возможность использовать хорошо развитые пакеты прикладных программ (в том числе, и программы открытого доступа) для расчета эффективности изучаемых объектов и принятия решений относительно неэффективных объектов.

В то же время, базовые модели анализа среды функционирования, реализованные в пакетах прикладных программ, как правило, имеют некоторые ограничения на вид и тип входных и выходных значений [4]. В частности, в базовых моделях ССР (с постоянным эффектом масштаба) и ВСС (с переменным эффектом масштаба) входы и выходы не могут принимать отрицательные значения. В реальности отрицательные значения выходов возможны в той ситуации, когда полезный результат производственной деятельности изучаемого экономического агента (например, прибыль или рыночная капитализация), несмотря на затраченные ресурсы, не достигнут.

Такого рода проблемы часто встречаются в задачах корпоративного и регионального экологического менеджмента: расходуемые на природоохранные мероприятия или экологический контроль и сертификацию средства экономических агентов или субъектов федерации не всегда достигают желаемой цели – сокращения объемов выбросов различных типов загрязняющих веществ. В таких случаях разница в объемах выбросов загрязняющих веществ в конечный и начальный моменты действия системы экологического менеджмента может быть отрицательной, что не позволяет применить базовые модели анализа среды функционирования к изучению сложившейся ситуации. В то же время потенциал применения этих моделей значительный. Как показано в работах [3, 5], варьирование различных входов и выходов, которыми может быть описана система экологического менеджмента, позволяет не только детально изучить отдельные аспекты ее работы, но и сделать вывод о типе развития экономического объекта в целом (линейный, циркулярный, устойчивый), а также уровне его эко-инновационной деятельности [6].

В настоящей работе предложен подход к преодолению вышеуказанных ограничений, основанный на процедурах нормирования и сдвига шкалы, в которой измерены показатели результативности региональной системы экологического менеджмента (РСЭМ).

## **2. Постановка задачи об оценке уровня развития эко-инноваций в регионе**

Рассмотрим в качестве производственных объектов (в англоязычном варианте Decision Making Units, DMU) региональные системы экологического менеджмента Центрального Федерального округа. Будем использовать в качестве входов данных объектов два статистических показателя - объем инвестиций в основной капитал, направленных на снижение загрязнений (млн. руб.), и текущие затраты на природоохранные мероприятия (млн. руб.). В качестве выходов рассмотрим показатели снижения уровня загрязнений атмосферы и воды, т.е. разницу в объеме выбросов до инвестиций в основной капитал и затрат на природоохранные мероприятия и после. В случае эффективного расходования средств, эта разница будет положительной, в случае неэффективного – отрицательной или нулевой.

Для того, чтобы исключить воздействие на объемы выбросов такого фактора как расширение производства (создание новых производств в регионе, более полная за-

грузка имеющихся производственных мощностей) будем рассматривать разницу *удельных* показателей выбросов, т.е. показатели интенсивности воздействия на окружающую среду – выбросы в атмосферу на единицу произведённой продукции (в рублях) и долю загрязнённых сточных вод в общем объеме сброса (в %). Кроме того, как дополнительный показатель качества воды рассмотрим показатель «доля проб воды, соответствующих нормативам качества, %». Очевидно, что расходование финансовых средств на улучшение данного показателя качества окружающей среды можно будет признать эффективным в том случае, если значение показателя увеличивается. Тогда, в отличие от двух предыдущих показателей выходов каждой РСЭМ, третий показатель выхода должен быть сформирован как разница после инвестиций (момент  $T+1$ ) и до (момент  $T$ ):

$$(1) \quad \begin{aligned} y_{1,i} &= \Delta_i^{атмосф} = V_{T,i}^{атмосф} - V_{T+1,i}^{атмосф}; \\ y_{2,i} &= \Delta_i^{сточ.воды} = S_{T,i}^{сточ.воды} - S_{T+1,i}^{сточ.воды}; \\ y_{3,i} &= \Delta_i^{кач.воды} = S_{T+1,i}^{кач.воды} - S_{T,i}^{кач.воды}. \end{aligned}$$

В дополнение к трем сформированным выходам по формулам (1) также сформируем показатели уровня развития циркулярной экономики (экономики замкнутых циклов) в регионе как разницу в интенсивности образования отходов в моменты  $T$  и  $T+1$ , и разницу в уровне переработки отходов в моменты  $T+1$  и  $T$ :

$$(2) \quad \begin{aligned} y_{3,i} &= \Delta_i^{интенс.отходов} = V_{T,i}^{отходов} - V_{T+1,i}^{отходов}; \\ y_{4,i} &= \Delta_i^{переработка} = S_{T+1,i}^{переработки} - S_{T,i}^{переработки}. \end{aligned}$$

При таком наборе входов и выходов в базовой модели анализа среды функционирования ССР решение оптимизационной задачи (максимизации отношения взвешенной линейной композиции входов к взвешенной линейной композиции выходов) позволит определить регионы, которые при минимальном объеме инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и минимальном объеме текущих затрат на природоохранные мероприятия добиваются максимальных значений показателей  $\Delta_i^j$ , сформированных согласно выражениям (1) и (2). Очевидно, что достичь этого возможно лишь в случае внедрения эко-инноваций, в том числе, в области дизайна производственных систем, соответствующих концепции экономики замкнутых циклов (максимальное повторное использование продукции, переработка отходов) [7].

Значения показателей выходов для РСЭМ регионов Центрального Федерального, рассчитанные по формулам (1) и (2) на период 2013 – 2014 гг., при ведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Значения показателей выходов для модели ССР, сформированной для оценки уровня эко-инновационного развития регионов ЦФО за период 2013-2014 гг.

Регион	Снижение интенсивности выбросов в атмосферу, т/10 000 руб.	Снижение доли загрязнённых сточных вод, %	Увеличение доли проб воды, соответствующих нормативам качества, %	Снижение интенсивности образования отходов т/10 000 руб.	Увеличение доли переработки отходов, %
Белгородская область	-0,027	-5,3	1,3	-27,758	1,5
Брянская область	-0,008	4,4	-0,8	-0,454	-2,7
Владимирская область	-0,044	0,2	3,9	-0,147	0,2
Воронежская область	0,007	1,1	-0,7	-0,988	5,1

Регион	Снижение интенсивности выбросов в атмосферу, т/10 000 руб.	Снижение доли загрязненных сточных вод, %	Увеличение доли проб воды, соответствующих нормативам качества, %	Снижение интенсивности образования отходов т/10 000 руб.	Увеличение доли переработки отходов, %
Ивановская область	-0,04	0,1	1,3	0,019	10,8
Калужская область	-0,031	-0,9	1	-1,794	2,5
Костромская область	-0,03	0,3	-0,6	-2	-6,7
Курская область	0,048	-0,7	0	-7,711	1,6
Липецкая область	0,041	-0,7	-0,1	1,653	-0,5
Московская область	-0,011	-0,4	1,1	-0,714	-69,9
Орловская область	0,019	9,4	1,7	-4,634	2,6
Рязанская область	-0,018	-0,8	0,8	0,687	3,4
Смоленская область	0,098	1,7	3	0,024	-31,6
Тамбовская область	0,026	0	0,8	-0,955	5,4
Тверская область	-0,007	1	0,4	-0,667	10,8
Тульская область	-0,068	0,2	0,8	-0,719	3,3
Ярославская область	0,007	0	4,9	0,035	-1
г. Москва	0	4,4	0,4	0,068	-16,8

Как видим, при использованном подходе к формированию входов и выходов модели ССР для РСЭМ регионов ЦФО, ряд выходов имеет отрицательные значения, которые говорят о том, что расходование средств на улучшение состояния окружающей среды не везде производится эффективно. Ни один из рассматриваемых регионов не добился улучшения экологической ситуации по всем пяти включенным в рассмотрение показателям. Однако определение более и менее эффективных в данном смысле регионов через решение оптимизационной задачи ССР и расчет мер эффективности в данном случае невозможны в силу наличия вышеупомянутой проблемы – отрицательных значений входов.

### 3. Преобразование отрицательных выходов и решение задачи АСФ постоянным эффектом масштаба

Для того, чтобы перевести отрицательные значения выходов в положительные, позволяющие применить базовые модели АСФ для определения уровня развития инновационной деятельности в регионах, проведем процедуры сдвига шкал, в которых измерены выходы по следующему формуле:

$$(3) \quad z_{i,j} = y_{i,j} + \left| \min y_{i,j} \right| + 0,001$$

Введенное преобразование позволяет избавиться от отрицательных значений выходов, не нарушая при этом логику формирования и решения модели АСФ.

Результаты расчета мер эффективности по модели ССР, ориентированной по входам (input-oriented) для региональных систем экологического менеджмента субъектов

ЦФО, а также целевые показатели входов для неэффективных объектов, приведены табл. 2.

**Таблица 2.** Результаты решения задачи АСФ по модели CCR с входной ориентацией для регионов ЦФО.

Регион	Коэффициент эффективности	Целевое значение инвестиций в основной капитал	Целевое значение текущих затрат
Белгородская область	0,06979	44,717344	358,109216
Брянская область	0,772411	37,357391	418,301638
Владимирская область	0,643073	96,653898	801,519331
Воронежская область	0,150163	25,558305	443,722934
Ивановская область	1	60,6	356,952
Калужская область	0,531841	49,199188	356,258158
Костромская область	0,873872	13,632401	460,221104
Курская область	0,29502	13,865945	567,359967
Липецкая область	0,237038	9,964242	542,492075
Московская область	0,047879	38,655253	409,298566
Орловская область	1	6,8	429,671
Рязанская область	0,297634	47,496172	409,740879
Смоленская область	1	85,8	756,37
Тамбовская область	0,680762	12,666643	483,502322
Тверская область	0,448052	24,194802	454,113138
Тульская область	0,148016	57,948489	350,630393
Ярославская область	0,32549	67,473981	975,643171
г. Москва	0,054351	33,400384	440,479342

В результате решения оптимизационной задачи CCR с ориентацией по входам эффективными признаны системы регионального экологического менеджмента Ивановской, Орловской и Смоленской областей. В этих регионах минимальные объемы инвестиций и текущих затрат на охрану окружающей среды используются максимально эффективно, что говорит о внедрении эко-инноваций. В данном случае не разделяются продуктовые, процессные и организационные эко-инновации, хотя в принципе такое разделение также может быть учтено при решении задачи АСФ: для этого можно разделить задачу АСФ на две и рассматривать эффективность инвестиций в основной капитал и эффективность текущих затрат отдельно, полагая, что инвестиции в основной капитал, как более долгосрочные, способствуют внедрению процессных эко-инноваций, а текущие затраты – внедрению организационных эко-инноваций.

Наименее эффективными признаны РСЭМ Белгородской и Московской областей и города Москва. В данных регионах максимальные объемы инвестиций в основной капитал и текущих затрат приносят лишь незначительные улучшения состояния окружающей среды, что говорит о формальном подходе к экологическому менеджменту и слабом развитии эко-инновационной деятельности.

## 4. Заключение

Предложенный способ задания выходов модели АСФ для применения ее к решению задач оценки уровня развития эко-инновационной деятельности в регионе может быть также использован для моделей, ориентированных по выходам, и моделей с переменным эффектом масштаба. В последнем случае экономико-управленческая интерпретация полученных результатов будет более сложная, так как необходимо будет ин-

терпретировать не только полученные значения мер эффективности, но также направление и величину эффекта масштаба.

Также необходимо оговорить специально одно заметное ограничение проведенного расчетного примера: взятый в рассмотрение годовой период, скорее всего, является слишком коротким, для того, чтобы делать обоснованные выводы об эффективности инвестиций в основной капитал, направленных на улучшение состояния окружающей среды. Однако этот недостаток является недостатком именно расчетного примера и не является недостатком разработанного подхода к заданию и преобразованию выходов модели. Для его устранения необходимо выявить значение лага между инвестициями в основной капитал и отдачей от вложенных инвестиций (что возможно с помощью обычных эконометрических моделей) и включить данный лаг в период, по которому рассчитывается разница в показателях качества окружающей среды. Построение необходимых эконометрических моделей не включено в данную работу из-за ограничений на объем статьи.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-010-00383 «Модели и механизмы перехода к циркулярной экономике в условиях институциональных ограничений»

## Список литературы

1. Zhou H., Yang Y., Chen Y., Zhu J. Data envelopment analysis in sustainability: The origins, development and future directions // *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 264, No. 1. P. 1-16.
2. Liu J., Gong Y., Zhu J., Zhong J. A DEA-based approach for competitive environment analysis in global strategies // *International Journal of Production Economics*, 2018. Vol. 203. P. 110-123.
3. Ратнер С.В. Динамические задачи оценки эколого-экономической эффективности регионов на основе базовых моделей анализа среды функционирования // *Управление большими системами*. Вып. 67, М: ИПУ РАН, 2017. С. 81-106.
4. Wang Q., Sun Y., Yuan X., Cao D., Gao Z. Addressing efficiency of the core ecological industrial chains: A DEA – approach // *Journal of Cleaner Production*, 2017. Vol. 156. P. 235-243
5. Ратнер С.В. Сетевой анализ среды функционирования в задачах регионального экологического менеджмента // *Проблемы управления*. № 6, 2016. С. 35-46.
6. Алмастьян Н.А. Системы экологического менеджмента как организационные эко-инновации // *Дружковский вестник*. 2017. № 2. С. 149-158
7. Ратнер С.В. Циркулярная экономика: теоретические основы и практические приложения в области региональной экономики и управления // *Инновации*. 2018. № 9. С. 2-10.