

8.9. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ПЕРЕХОДА РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА НИЗКОУГЛЕРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ¹

Хрусталёв Е.Ю., д.э.н., профессор, в.н.с.,
Центральный экономико-математический институт
Российской Академии наук;
Ратнер П.Д., студент, Учетно-финансовый
факультет Российского экономического
университета им. Г.В. Плеханова, Краснодарский
филиал, г. Краснодар

В настоящей работе исследуется возможность использования методологии анализа среды функционирования для решения задачи о выборе оптимальной стратегии перехода региональной энергетической системы на более экологически чистые технологии генерации энергии. Предложен двухэтапный подход, при котором на каждом этапе используется базовая модель анализа среды функционирования в коэффициентной форме с ориентацией по входам и радиальной мерой эффективности. Проведена апробация предложенного подхода на примере расчета сравнительной эффективности производственной деятельности энергетических систем в масштабе федеральных округов. Полученные результаты сопоставлены со статистическими данными, сделан вывод о высокой информативности предложенного подхода.

Проблемы климатических изменений и ухудшения состояния окружающей среды ставят перед современным обществом задачу перехода на более экологически чистые технологии во всех сферах хозяйственной деятельности человека. Одной из отраслей экономики, производящей множественные и существенные негативные экологические эффекты, является электроэнергетика. Для производства электро- и теплотенергии перерабатываются большие объемы первичных энергоносителей, что приводит к образованию больших объемов выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) и парниковых газов в атмосферу. Кроме того, воздействие электростанций на окружающую среду также включает [7]:

- забор природных вод;
- сбросы загрязняющих веществ в водные объекты;
- использование земель, образование и размещение отходов производства.

Масштабы экологического воздействия определяются технологиями производства электро- и теплотенергии, состоянием оборудования и структурой используемого топлива, общими экономическими условиями работы отрасли [12], а также эффективностью экологического и энергетического менеджмента на каждом отдельно взятом предприятии электроэнергетики [1].

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №15-36-50163 мол_нр «Разработка структуры низкоуглеродной региональной энергетической системы на основе моделей анализа среды функционирования (АСФ)»).

Наиболее значимыми видами выбросов ЗВ в атмосферу, определяющими загрязнение воздушного бассейна при эксплуатации объектов электроэнергетики, являются диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, твердые частицы (зола) [12]. Объемы данных видов выбросов на протяжении последних лет в целом по Российской Федерации остаются стабильно высокими (рис. 1), аналогичная картина наблюдается по динамике забора свежей воды генерирующими компаниями (рис. 2) и другим важным экологическим показателям производственной деятельности электроэнергетических объектов.

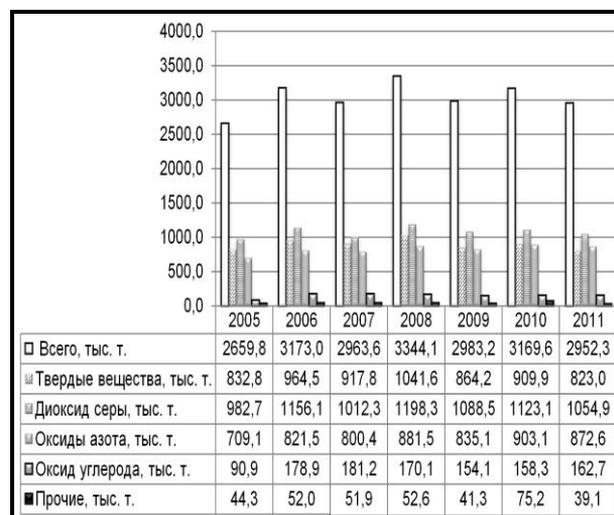


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ электростанциями РФ в период 2005-2011 гг. ²

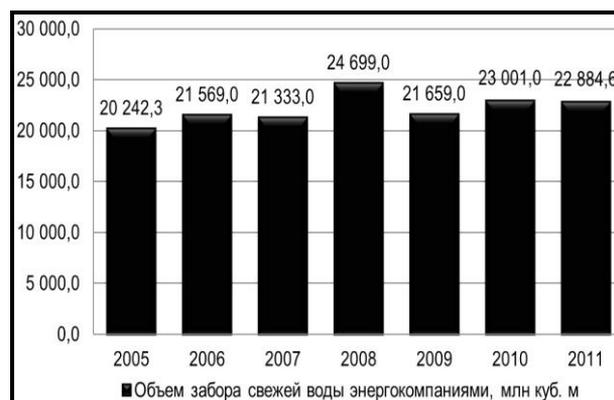


Рис. 2. Объем забора свежей воды электрогенерирующими компаниями для производственных и хозяйственно-бытовых нужд в период 2005-2011 гг. ³

К основным причинам изменения количества выбросов ЗВ в атмосферу от предприятий электроэнергетики традиционно относят следующие [12]:

² Составлено авторами на основе ежегодных информационно-аналитических докладов Министерства энергетики РФ за 2006-2011 гг.

³ Составлено авторами на основе ежегодных информационно-аналитических докладов Министерства энергетики РФ за 2006-2011 гг.

- изменения объемов выработки электро- и теплоэнергии;
- изменение структуры топливного баланса;
- изменения качественных характеристик сожженного топлива;
- изменения степени эффективности золоулавливания в условиях колебаний нагрузок на оборудование;
- качество выполнения эксплуатационных мероприятий, связанных с отладкой режима горения топлива.

Однако анализ динамики выбросов различных электростанций до и после введения систем экологического менеджмента (СЭМ) согласно международному стандарту ИСО 14001 свидетельствует о том, что организационные аспекты также играют немаловажную роль в процессе снижения негативного воздействия на окружающую среду [11]. Поэтому можно выделить следующие возможные способы снижения отрицательных экологических эффектов предприятий электроэнергетики:

- модернизация генерирующего оборудования;
- переход на более качественное топливо;
- строительство более совершенных очистных сооружений, позволяющих повысить процент улавливания вредных выбросов, снизить потребление воды и объем производства твердых отходов;
- повышение качества менеджмента согласно процессным подходам.

Важно также отметить, что все выделенные способы снижения отрицательных экологических эффектов, не предполагают перехода предприятия на принципиально новые технологии генерации энергии, принадлежащие кластеру шестого технологического уклада [9-10], тогда как данная возможность в настоящее время также теоретически осуществима. Примеры диверсификации технологического портфеля крупных энергетических компаний подробно рассмотрены в работе [6]. Замещение части генерирующих мощностей чистыми технологиями позволяет компании не только улучшить экологические показатели своей деятельности, но и получить доступ к новым знаниям, позволяющим при определенных условиях завоевать позиции технологического лидерства.

Выбор оптимального способа снижения отрицательных экологических эффектов каждого конкретного предприятия электроэнергетики определяется не только текущим финансовым и технологическим положением предприятия, но и степенью важности различных видов экологических эффектов для той территории, на которой данное предприятие расположено. Так, например, в ряде регионов РФ состояние воздушного бассейна считается хорошим, тогда как состояние почв и природных водных объектов гораздо хуже [3]. В то же время другие регионы страдают от чрезмерно загрязненной атмосферы. Поэтому в научной литературе принято рассматривать вопросы снижения негативных экологических эффектов электрогенерирующих компаний в масштабе региональной энергетической системы [16, 20], привязанной к определенной территории с конкретными природно-климатическими, социально-экономическими и инфраструктурными условиями. Такой подход считается целесообразным еще и потому, что, как правило, в пределах одного региона предприятия электроэнергетики имеют приблизительно равные позиции по топливной обеспеченности и потому могут использовать один и тот же

набор доступных технологий генерации энергии (как традиционных, основанных на сжигании углеводородов, так и технологий возобновляемой энергетики). Такая потенциальная технологическая однородность дает возможность применить для решения задачи о выборе оптимального пути снижения негативных экологических эффектов методологию анализа среды функционирования [17].

В настоящее время анализ среды функционирования (АСФ) представляет собой развитую методологию оценки сравнительной эффективности хозяйственной деятельности множества однородных экономических, производственных или иных объектов с помощью различных моделей математического программирования, как линейных, так и нелинейных. Объекты, эффективность которых оценивается в АСФ, называются производственными объектами (ПО) и выполняют одну и ту же производственную функцию, преобразуя множество некоторых входов (ресурсов) во множество некоторых выходов (результат производственной деятельности). Преимуществом АСФ является возможность работы с производственными объектами в отсутствие каких-либо предположений о виде функциональной зависимости между входами и выходами. Другими словами, АСФ является непараметрическим методом, работающим на основе анализа эмпирических данных. В российских работах АСФ применяется в основном для оценки эффективности деятельности бюджетной системы, региональных властей, банковских структур и т.д. [4, 5]. Работы по использованию АСФ в задачах оценки экологических аспектов деятельности хозяйствующих субъектов, в том числе объектов электроэнергетики, авторам неизвестны.

В классической модели анализа среды функционирования, обозначаемой **CCR** (по первым буквам имен разработчиков – Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. [17]) максимизируется отношение виртуального выхода (линейная комбинация взвешенных выходов) к виртуальному входу (линейная комбинация взвешенных входов). Это отношение определяется как мера (коэффициент) эффективности производственного объекта, причем данное значение не может превосходить единицу. В коэффициентной форме задача оптимизации формулируется следующим образом:

$$\max \sum_{m=1}^M u_m y_{m0}$$

при ограничениях:

$$\sum_{m=1}^M u_m y_{mk} - \sum_{n=1}^N v_n x_{nk} \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, K,$$

$$\sum_{n=1}^N v_n x_{n0} = 1,$$

$$u_m, v_n \geq 0 \quad m = 1, 2, \dots, M \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

где 0 – индекс ПО;

X – вектор входов размерности N ;

Y – вектор выходов размерности M ;

K – количество производственных объектов.

Несмотря на то, что сама модель (1) линейна, коэффициент эффективности находится из двойственной задачи:

$$\min \theta,$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N x_{nk} \lambda_k &\leq \theta x_{no}, \quad n = 1, 2, K, N, \\ \sum_{m=1}^M y_{mk} \lambda_k &\geq y_{mo}, \quad m = 1, 2, K, M, \\ \lambda_k &\geq 0, \quad k = 1, 2, K, K. \end{aligned} \quad (2)$$

Модель (2) хорошо известна как ориентированная по входам модель **CCR** (input-oriented). В данной модели ищется возможность пропорционального сокращения входов без сокращения выходов. Подобным образом можно определить ориентированную по выходу **CCR**-модель (output-oriented), если представить первоначальную эффективность ПО как отношение виртуального входа к виртуальному выходу.

Множество производственных возможностей T (множество таких наборов векторов (X, Y) , что выходной вектор $Y \geq 0$ может быть получен при входном векторе $X \geq 0$) для модели **CCR** имеет следующий вид:

$$T = \left\{ (X, Y) \mid \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j \leq X, \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j \geq Y, \lambda_j \geq 0, j = 1, K, n \right\}. \quad (3)$$

В задачах оптимизации деятельности энергетических объектов (или систем) по экологическим параметрам в качестве ПО обычно рассматриваются отдельные генерирующие компании, в качестве входов – объемы топливных ресурсов, труда и капитала, используемые в производственном процессе, а в качестве выходов – объем генерации и объемы выбросов (например, работы [21]).

Однако обычная схема решения задачи оптимизации в данном случае не применима. Проблема состоит в том, что в классических моделях АСФ, включая базовую модель **CCR** [17], входы и выходы предполагаются строго монотонными, т.е. множество производственных возможностей удовлетворяет следующему постулату:

$$\begin{aligned} \text{если } (X; Y) \in T \text{ и } X' \geq X \text{ или } Y' \leq Y, \\ \text{то } (X'; Y) \in T \text{ или } (X; Y') \in T. \end{aligned} \quad (4)$$

То есть увеличение входа (ресурса) или уменьшение выхода (результата) всегда возможно. Другими словами, если предприятие способно произвести 100 ед. продукции, используя тонну ресурса, то оно всегда может произвести 99 ед. той же продукции из тонны того же ресурса. И наоборот, имея полторы тонны ресурса, предприятие всегда может произвести те же 100 ед. продукции.

Однако это свойство не всегда описывает реальную ситуацию производственного процесса в тех случаях, когда в результате производственного процесса получается не только полезная продукция, но и нежелательные эффекты, т.е. не все выходы, производимые ПО, являются желательными. Например, генерация энергии электростанцией на углеводородном топливе всегда неизбежно связана с производством таких нежелательных выходов как диоксид серы и другие виды выбросов. В таких случаях сокращение нежелательного выхода будет сопровождаться значительными затратами (увеличением входов), а полное его элимини-

рование вообще невозможно на существующем технологическом уровне⁴.

Аналогичная ситуация складывается, когда учитываются выбросы и другие негативные экологические эффекты любого производственного процесса. Поэтому использование множества производственных возможностей, удовлетворяющих постулату (4), приводит в таких случаях к повышению потенциальных рисков некорректным результатам моделирования [13, 14].

Обзор литературы по моделям анализа среды функционирования позволяет сделать вывод о том, что к настоящему времени предпринято большое количество попыток учета нежелательных выходов, которые сформировались в два основных подхода: (1) пересчет (модификация) исходных данных и использование для расчетов традиционных моделей АСФ [19]; (2) использование оригинальных исходных данных и моделей, основанных на концепции слабой монотонности (или, в англоязычном варианте, «слабой устранимости») [18].

Предпринятые в ранних работах авторов попытки использования первого из вышеперечисленных подходов для расчета сравнительной эффективности деятельности крупнейших электроэнергетических компаний (оптовые генерирующие компании, ОГК, и территориальные генерирующие компании, ТГК) по основным экологическим параметрам (выбросы в атмосферу, объем образования отходов, использование пресной воды) показали высокую информативность метода.

В базовой модели АСФ (с постоянным эффектом масштаба, ориентированная по входу, радиальная мера эффективности) в качестве входов нами рассматриваются наиболее значимые негативные экологические эффекты – выбросы ЗВ в атмосферу, расход свежей воды и объемы образования отходов, в качестве выхода – объем генерации энергии.

С помощью решения систем неравенств (2) ищутся производственные объекты, которые производят максимальное количество энергии с минимальными негативными экологическими эффектами. Такие объекты признаются эффективными.

Для всех остальных ПО (в данном случае ОГК или ТГК) рассчитываются целевые ориентиры по каждому из входов – на сколько необходимо сократить объем выбросов в атмосферу, потребление воды или объем образования отходов, чтобы деятельность компании стала эффективной по выбранному набору экологических показателей. Заметим, что объем генерации энергии при этом должен остаться на прежнем уровне. На данном этапе никакие экономические характеристики деятельности компании пока не рассматриваются.

Зная целевые ориентиры снижения негативных экологических эффектов, на втором этапе каждая компания может выбрать способ их достижения, наилучшим образом соответствующий ее условиям производственной деятельности.

⁴ В настоящее время не существует технологий обезвреживания диоксида серы, оксида углерода и оксидов азотов, производимых в процессе сжигания природного газа, считающего наиболее экологически чистым видом топлива [2].

Например, для одной компании достаточно будет перейти на другой вид топлива, для другой – построить очистительные сооружения, для третьей – провести полную модернизацию производства. Для нахождения такого оптимального способа можно еще раз использовать базовую модель АСФ с ориентацией по входам.

Теперь в качестве выходов можно принять рассчитанные ранее целевые показатели негативных экологических эффектов, а в качестве входов – стоимостные характеристики проектов, направленных на их снижение. То есть для каждого отдельного неэффективного ПО необходимо построить еще одну модель АСФ и найти ее решение. Несмотря на то, что предложенный подход полностью соответствует логике производственного процесса электроэнергетических компаний, он все же не лишен определенных недостатков, которые лежат в плоскости используемых для расчетов эмпирических данных.

Полученные для каждой из ОГК и ТГК показатели необходимых сокращений каждого из нежелательных эффектов рассчитаны на основе усредненных данных, так как каждая из исследуемых компаний, состоит из нескольких производственных единиц – электростанций, работающих на разном оборудовании, разном топливе и по разным технологиям генерации электроэнергии, т.е. обладают неоднородной производственной структурой.

Более того, используемые в свое время при проведении реформ в электроэнергетике подходы к формированию ОГК и ТГК предусматривали объединение электростанций не по территориальному принципу, а скорее, в противовес ему. Так, например, в настоящее время ОГК-1 объединяет Ирклинскую (Оренбургская область), Каширскую (Московская область), Пермскую (Пермский край), Верхнетагильскую (Свердловская область) и Уренгойскую ГРЭС (Ямало-Ненецкий автономный округ).

Поэтому полученные результаты расчета эффективности не отражают полной картины, по которой можно было бы судить о качестве экологического менеджмента на исследуемых предприятиях, так как электростанции в пределах одной компании имеют разную топливную обеспеченность и коэффициент использования мощностей, определяемые, в первую очередь, территорией расположения.

В настоящей работе с целью апробации разработанного подхода к решению задачи об оптимизации производственной деятельности региональной энергетической системы нами была предпринята попытка оценить эффективность работы генерирующих компаний по экологическим показателям в масштабе федеральных округов.

Решение задачи в масштабе федеральных округов достаточно легко интерпретировать с экономической и экологической точки зрения (благодаря наличию большого количества статистических данных в открытом доступе), что позволяет оценить информативность выбранного подхода.

В случае совпадения результатов расчетов с общей картиной работы энергетических систем в пределах федеральных округов, предложенный подход можно будет использовать для решения задач вы-

бора оптимального пути перевода региональных энергетических систем на более экологически чистые технологии, которые в настоящее время зачастую обозначают в литературе как низкоуглеродные технологии.

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЙ ПО ФЕДЕРАЛЬНЫМ ОКРУГАМ ЗА 2011 г. [12]

Федеральные округа	Выбросы в атмосферу, тыс. тонн	Забор пресной воды, млн. куб.	Сброс сточных вод, млн. куб	Объем образования отходов, тыс. тонн	Выработка энергии, млн. кВт·ч
Центральный	294	4804,7	27,94	236,8	232,3
Северо-Западный	229,4	2421,9	486,96	22,8	115,3
Южный	102,4	1215,8	0,64	17	54,5
Северо-Кавказский	20,1	1978	0,17	0,9	24,8
Приволжский	189,9	5284,9	115,26	70,7	193,6
Уральский	730,1	1454	45,54	26,8	180,2
Сибирский	1056,6	4839,1	92,43	319,3	208,1
Дальневосточный	330	886,2	229,95	8,1	46

Результаты расчетов меры эффективности и целевых ориентиров для достижения эффективности, полученные с помощью пакета прикладных программ *MaxDEA*, приведены в табл. 2.

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ МЕР ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЦЕЛЕВЫХ ОРИЕНТИРОВ

Федеральные округа	Мера эффективности	Цель по выбросам	Цель по забору пресной воды	Цель по сбросу сточных вод	Цель по объему образования отходов
Центральный	1	294	4804,7	27,94	236,8
Северо-Западный	1	229,4	2421,9	486,96	22,8
Южный	1	102,4	1215,8	0,64	17
Северо-Кавказский	1	20,1	1978	0,17	0,9
Приволжский	1	189,9	5284,9	115,26	70,7
Уральский	1	730,1	1454	45,54	26,8
Сибирский	0,57119	603,52	2764,05	41,20	105,83
Дальневосточный	0,782245	171,81	693,22	10,52	6,34

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что результаты расчета мер эффективности работы региональных энергетических систем в пределах федеральных округов (ФО) вполне адекватно отражают реальную ситуацию. В структуре топливного баланса тепловых электростанций Европейской части страны, включая Уральский ФО, преобладает природный газ (его доля составляет 76-99% от общего объема потребления топлива на электростанциях этой части страны) [12]. В топливном балансе электростанций Сибири и Дальнего Востока, наоборот, доминирует

уголь. Его доля составляет более 70% в Дальневосточном ФО и более 90% в Сибирском ФО [12]. Так как уголь на сегодняшний день является наиболее «грязным» видом топлива, причины неэффективности производственной деятельности генерирующих компаний по экологическим показателям этих округов в сравнении с другими очевидны.

Таким образом, предложенный подход может быть использован для расчета эффективности деятельности энергетических систем по экологическим параметрам на уровне отдельных регионов. В условиях одинаковой топливной обеспеченности разница в эффективности производственных объектов уже может быть объяснена различиями в технологической эффективности и качестве энергетического и/или экологического менеджмента.

Однако результаты расчетов, представленные в табл. 2, могут быть полезны не только для оценки степени информативности предложенного подхода, но также представляют самостоятельную ценность с точки зрения выбора оптимального способа снижения негативных экологических эффектов предприятий Сибирского и Дальневосточного ФО. Достижение эффективности производственной деятельности энергетических систем этих федеральных округов сопряжено с достижением следующих целевых показателей:

- для Сибирского ФО: снижение выбросов в атмосферу на 43% (с 1056,6 тыс. т до 603,52 тыс. т в год), снижение забора пресной воды на 43%, снижение сброса неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод на 55,4%, снижение объема отходов на 66,8%;
- для Дальневосточного ФО: снижение выбросов в атмосферу на 47,94%, снижение забора пресной воды на 21,77%, снижение сброса неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод на 95%, снижение объема отходов на 21,7%.

Улучшение экологических показателей деятельности компаний возможно благодаря реализации следующих проектов, не связанных со сменой топлива или технологией генерации энергии [12, 3, 20]:

- по уменьшению выбросов в атмосферу: внедрение малотоксичных горелок при сжигании высококонцентрированной пыли для снижения окислов азота, установка (или ремонт) аспирационных установок, электрофильтров, золоулавливателей;
- по снижению потребления воды и сбора сточных вод: очистка и отведение минерализованных сточных вод, установка (или ремонт) очистных сооружений производственных и поверхностных стоков, введение в эксплуатацию нефтесборщиков;
- по снижению объемов образования отходов: утилизация (переработка и использование) золошлаков, разработка технологий, повышающих надежность хранения золошлаков.

Кроме того, необходимо также рассматривать существующие технико-технологические возможности по замене топлива на более экологически чистое и переход на принципиально иные технологии генерации энергии (инновационные варианты развития) [20,21]. Наименее затратный вариант на настоящий момент предусматривает использование природного газа для выработки электроэнергии, а самый затратный — использование энергии ветра или солнца. В пределах средних затрат находятся атомная энерге-

тика и технология «чистого угля», минимизирующая выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Выводы по работе. Основным результатом настоящего исследования является доказательство возможности использования базовой модели анализа среды функционирования (модели **CCR**, ориентированной по входам, радиальной мерой эффективности) для решения задачи выбора оптимального пути перехода региональной энергетической системы на экологически чистые технологии генерации энергии. Разработанный метод включает последовательное решение нескольких моделей АСФ: на первом этапе определяются эффективные и неэффективные с точки зрения экологии энергетические объекты, для неэффективных объектов рассчитываются целевые параметры снижения негативных экологических эффектов. На втором этапе по каждому неэффективному энергетическому объекту решается своя задача оптимизации (используется модель **CRR**, ориентированная по входу, радиальная мера эффективности), в которой в качестве входов рассматриваются экономические и социальные характеристики проектов, направленных на снижение негативных экологических эффектов, а в качестве выходов указываются рассчитанные на первом этапе значения целевых показателей негативных экологических эффектов.

Литература

1. Анисимова Т.Ю. Методика проведения энергоэкономического анализа деятельности предприятия в системе энергетического менеджмента [Текст] / Т.Ю. Анисимова // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – №2. – С. 37-44.
2. Иосифов В.В. Проблемы и перспективы развития машиностроения России в посткризисный период [Текст] / В.В. Иосифов, С.В. Ратнер. – Краснодар : Юг, 2011. – 150 с.
3. О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2013 г. [Электронный ресурс] : доклад / М-во природных ресурсов Краснодарского края. Режим доступа: <http://www.fprgk.ru/content/section/470/>
4. Пискунов А.А. и др. Использование методологии АСФ для оценки эффективности расходования бюджетных средств на государственное управление в субъектах российской федерации [Текст] / А.А. Пискунов, И.И. Иванюк, А.В. Лычев, В.Е. Кривоножко // Вестник АКСОР. – 2009. – №2. – С. 28-36.
5. Ратнер С.В. «Зеленые» проекты энергетических компаний: экономические аспекты [Текст] / С.В. Ратнер // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – №8. – С. 27-34.
6. Ратнер С.В. Методика оценки инновационного потенциала компаний регионального нефтегазового кластера (на примере Краснодарского края) [Текст] / С.В. Ратнер, М.М. Акинина // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – №4. – С. 2-10.
7. Ратнер С.В. Рыночные и административные методы регулирования негативным воздействием объектов электроэнергетики на окружающую среду [Текст] / С.В. Ратнер, Н.А. Алмастьян // Экономический анализ: теория и практика. – 2015. – №16. – С. 2-15.
8. Пискунов А.А. и др. Система рейтингования регионов с использованием методологии АСФ [Текст] / А.А. Пискунов, И.И. Иванюк, Е.П. Данилина, А.В. Лычев, В.Е. Кривоножко // Вестник АКСОР. – 2008. – №4. – С. 24-30.
9. Ратнер С.В. Стратегическая конкурентоспособность нефтегазовых кластеров в ситуации технологического

- разрыва [Текст] / С.В. Ратнер, В.О. Михайлов // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – №34. – С. 2-10.
10. Ратнер С.В. Управление развитием энергетических компаний в ситуации технологического разрыва [Текст] / С.В. Ратнер, В.О. Михайлов // Управление большими системами. – 2012. – Вып. 37. – С. 180-207.
 11. Ратнер С.В. Экологический менеджмент в Российской Федерации: проблемы и перспективы развития [Текст] / С.В. Ратнер, Н.А. Алмастьян // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2014. – №17. – С. 37-45.
 12. Функционирование и развитие электроэнергетики в 2011 г. [Текст] : инф.-аналит. доклад / М-во энергетики РФ. – М., 2012.
 13. Хрусталёв Е.Ю. Технологический прогресс и энергоэффективность в промышленности и на транспорте [Текст] / Е.Ю. Хрусталев, П.Д. Ратнер // Экономический анализ: теория и практика. – 2015. – №2. – С. 36-44.
 14. Хрусталёв Е.Ю. Финансовые методы снижения риска при создании наукоемкой и высокотехнологичной продукции [Текст] / Е.Ю. Хрусталев, И.А. Стрельникова // Финансы и кредит. – 2011. – №7. – С. 13-21.
 15. Хрусталёв О.Е. Формирование интегрированных структур в наукоемком производственном комплексе [Текст] / О.Е. Хрусталев // Аудит и финансовый анализ. – 2012. – №1. – С. 160-165.
 16. Bian Y. Resource and environment efficiency analysis of provinces in China: a DEA approach based on Shannon's entropy [Text] / Y. Bian, F. Yang // Energy policy. – 2010. – No. 38. – Pp. 1909-1917.
 17. Charnes A. et al. Measuring the efficiency of decision making units [Text] / A. Charnes, W. Coopre, E. Rhodes // European journal of operational research. – 1978. – No. 2. – Pp. 429-444.
 18. Fare R. et al. Accounting for air pollution emissions in measures of state manufacturing productivity growth [Text] / R. Fare, S. Grosskopf, Jr. Pasurka // Journal of regional science. – 2001. – No. 41. – Pp. 381- 409.
 19. Seiford L.M. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation [Text] / L.M. Seiford, J. Zhu // European journal of operational research. – 2002. – No. 142. – Pp. 16-20.
 20. Shi G. et al. Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs [Text] / G. Shi, J. Bi, J. Wang // Energy policy. – 2010. – No. 38. – Pp. 6172-6179.
 21. Yiwen B. Estimation of potential energy saving and carbon dioxide emission reduction in China based on an extended non-radial DEA approach [Text] / B. Yiwen, H. Ping // Energy policy. – 2013. – No. 63. – Pp. 962-971.

Ключевые слова

Энергоэффективность; промышленность; технология; инновации; экология; среда функционирования; риски; финансы; региональная экономика.

Хрусталёв Евгений Юрьевич

Ратнер Павел Дмитриевич

РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность выбранной темы исследования определяется усилением антропогенной нагрузки на окружающую среду и ухудшением общей экологической обстановки во многих регионах Российской Федерации. В работе рассматриваются различные подходы к оптимизации системы регулирования негативного воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду. Показано, что возможное внедрение различных механизмов стимулирования перехода объектов электроэнергетики на более энергоэффективные и экологически чистые способы генерации энергии должно обязательно сопровождаться глубоким анализом возможных экологических, экономических и социальных последствий в долгосрочном периоде. Решение подобного рода практических задач сопряжено с моделированием оптимальной структуры региональной энергетической системы, что может быть выполнено с использованием методологии анализа среды функционирования – непараметрического метода оптимизации.

В статье выполнена постановка задачи анализа среды функционирования с использованием концепции слабой устранимости нежелательных выходов производственных единиц, в качестве которых рассматриваются выбросы парниковых газов и другие негативные экологические эффекты производственной деятельности энергетических компаний. Следует отметить, что использование данного непараметрического метода многокритериальной оптимизации для решения подобного рода задач представляется новым и перспективным направлением исследований.

Проблема поиска наилучших с точки зрения экологии и экономики путей развития энергетических систем является сложной в методологическом плане, а ее решение предполагает разработку нетривиальных математических моделей, учитывающих комплекс прямых и обратных связей между социальными, экологическими, экономическими и институциональными компонентами. Поэтому использование методологии анализа среды функционирования является оправданным и интересным подходом, редко применяемым к решению подобного рода проблем в отечественной научной литературе.

Результаты проведенного исследования изложены логично и в соответствии с общепринятой структурой: введение – постановка задачи – описание метода решения задачи – результаты – обсуждение полученных результатов. Проведенный литературный обзор работ по теме представляется полным. Для проведения расчетов собран обширный эмпирический материал. Результаты моделирования и расчетов имеют хорошую и понятную экономическую интерпретацию, а потому, могут быть использованы непосредственно в практике регионального и корпоративного управления.

Статья представляет интерес для широкого круга читателей, в том числе, специалистов в области инвестиционной деятельности, региональной экономики и управления, экологии и экономики природопользования. Работа может быть рекомендована к публикации.

Ерзнкян Б.А., д.э.н., профессор, заведующий лабораторией Центрального экономико-математического института Российской Академии наук.