

# Электроэнергетическая отрасль региона: математическое моделирование эколого-экономической оценки эффективности развития

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-44-49>

## **ВАСИЛЬЕВ Е.В.**

Аспирант Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: lifead@yandex.ru

## **КИРЕНБЕРГ А.Г.**

Канд. техн. наук,  
доцент кафедры информационной безопасности  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ag-k@yandex.ru

## **КИСЛЯКОВ И.М.**

Старший преподаватель  
кафедры информационной безопасности  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: kemerovo85@mail.ru

## **МЕДВЕДЕВ А.В.**

Доктор физ.-мат. наук, профессор,  
профессор кафедры фундаментальной математики  
Кемеровского государственного университета,  
профессор кафедры информационной безопасности,  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: alexm\_62@mail.ru

## **ПРОКОПЕНКО Е.В.**

Канд. физ.-мат. наук, доцент,  
зав. кафедрой информационной безопасности  
Кузбасского государственного  
технического университета имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pev.vtit@kuzstu.ru

В статье представлены концепция анализа и экономико-математическая модель в форме линейной задачи математического программирования, ориентированные на автоматизированную оценку эффективности региональной электроэнергетической отрасли, учитывающие экологические аспекты ее функционирования. Так как уголь в настоящее время остается одним из главных источников генерации электроэнергии в мире (до 20%), то сформулированная задача касается также вопросов функционирования угледобывающей отрасли в регионах. Рассмотрены содержательная и математическая постановка задачи, некоторые особенности и ограничения функционирования электроэнергетической отрасли. Построенная модель позволяет получать оптимальные объемы инвестиций и производства электроэнергии, а также выявлять экономический потенциал региональной электроэнергетической отрасли, а также допускает свой эффективный численный анализ на основе параметрического анализатора задачи линейного программирования. Обосновано существование решения задачи, описываемой приведенной моделью, а также возможность использования для ее анализа авторского программного комплекса параметрического анализа задачи линейного программирования. Это позволяет говорить об использовании системного инструментария изучения закономерностей развития электроэнергетики региона.

**Ключевые слова:** региональная электроэнергетика, традиционные источники энергии, электростанции, нетрадиционные источники энергии, электрогенераторы, оценка экономической эффективности, экономический потенциал, математическое моделирование, задача линейного программирования.

**Для цитирования:** Электроэнергетическая отрасль региона: математическое моделирование эколого-экономической оценки эффективности развития / Е.В. Васильев, А.Г. Киренберг, И.М. Кисляков и др. // Уголь. 2023. № 12. С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-44-49.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблемы энергетической эффективности регионов в свете перспектив развития мировой энергетики, дискуссии об экологической безопасности производства энергии и усилении социальной ответственности бизнеса, а также о соотношении карбонизированных и некарбонизированных источников сырья [1] становятся центральным объектом исследований современной теории и практики управления территориями, включая угледобывающие регионы, имеющие множество энергоемких производств, составляющих более 12% энергобаланса в Российской Федерации [2]. Динамика внедрения проектов по повышению энергоэффективности территорий и предприятий [3, 4] нарастает с каждым годом, распространяясь в такие области, как проектирование энергоэффективных комплексов, использующих современные технологии производства энергии, инновационные методы управления и формирования инновационной инфраструктуры производства энергии различными способами. Внедрение энергоэффективных проектов в регионах является приоритетным направлением деятельности и для российских компаний. Повышение актуальности энергосбережения и использования альтернативных источников энергии в связи с глобальными и локальными ресурсными кризисами требует использования эффективных бизнес-проектов и выработки рациональной политики предприятий в области электроэнергетического менеджмента территорий, включая угледобывающие. В этой связи актуальными остаются вопросы разработки инструментария оценки и анализа экономической эффективности региональной электроэнергетической инфраструктуры.

Изучение сложных социально-экономических структур регионального уровня практически затруднено без использования экономико-математического инструментария (моделей и алгоритмов), компьютерной проработки сценариев их развития с использованием соответствующих автоматизированных информационно-аналитических систем. При изучении крупных энергетических структур используются разнообразные аналитические инструменты. Обширный аналитический обзор современных зарубежных работ в сфере моделирования энергетического сектора экономики сделан, например, в [5]. Современный инструментарий анализа таких структур включает экономико-математическое моделирование (как в подходах имитационного и регрессионно-статистического [6], так и оптимизационного [7, 8] характера с использованием разнообразных средств автоматизированной обработки и анализа информации [8, 9], в том числе в региональном аспекте [10, 11].

В данной работе строится оптимизационная математическая модель региональной электроэнергетической отрасли, включающей производство электроэнергии, вообще говоря,  $n$  способами, и используется программный комплекс для многопараметрического анализа указанной модели. К основным характеристикам оптимизационных задач следует отнести: наличие целевой функции и критерия качества ее достижения; наличие альтернатив вложения средств и достижения целей; наличие способов отображения связей между целями и потоками доходов-расходов в системе. В математическом смысле оптимальность понимается как достижение экстремума функции (максиму-

ма или минимума), описывающей критерий оптимальности. Критерием оптимальности называется показатель, используемый для сравнительной оценки вариантов (сценариев) допустимых решений (альтернатив) задачи, чаще всего в экономических системах, сводящийся к максимизации доходных потоков и/или минимизации расходных. С целью математической формализации задач оптимального выбора необходимо сформировать совокупности искомого переменных, через которые описываются все потоки в моделируемой системе, множество соотношений (уравнений и неравенств), описывающих ограничения функционирования системы и ее подсистем (инвестиционного, производственного, финансового характера), а также критерий оптимальности, выраженные через искомые переменные модели математического программирования. Использование оптимизационного подхода чаще всего ориентировано на выявление экономического потенциала региональных социально-экономических систем, что позволяет лучше обосновывать инвестиционно-производственные решения, связанные с их развитием. Линейность же задачи оптимизации позволяет, в свою очередь, использовать надежные алгоритмы получения ее решений и разрабатывать соответствующие программные комплексы анализа таких задач в условиях практически значимых размерностей реальных прикладных задач, что упрощает выдвижение, проверку гипотез и извлечение знаний об изучаемых социально-экономических системах. Описанный подход применяется здесь для построения (содержательной и математической формулировки) модели региональной электроэнергетической отрасли.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Рассмотрим следующую содержательную постановку задачи оптимизации производства электроэнергии (ЭЭ) в регионе. Предположим, что электроэнергия в регионе может быть произведена  $n$  способами:

- с использованием силы воды (гидроэлектростанциями);
- путем сжигания угля (тепловыми электростанциями);
- с использованием ядерной энергии (атомными электростанциями);
- с использованием морских приливов (приливными электростанциями);
- с использованием дизельного топлива (дизель-генераторами);
- с использованием силы ветра (ветрогенераторами);
- с использованием природного газа (газогенераторами);
- с использованием энергии солнца (солнечными батареями) и т.д.

При этом регион может выбирать из перечисленных способов такой набор, который наилучшим образом отвечает его специфике. Каждый способ производства имеет свой комплект (комплекс, набор) основных производственных фондов (далее «комплект ОПФ») со следующими характеристиками:

1. Рыночная стоимость (денежных единиц, д.е.).
2. Производительность (кВт·ч/комплект ОПФ).
3. Срок полезного использования (единиц времени, ед.вр.).

Предполагается, что в стоимость комплектов ОПФ включены стоимости выработки (составляющие технологии),

транспортировки, хранения соответствующего способа извлечения ЭЭ. Получаемая продукция ( $n$  «видов» ЭЭ) имеет различную себестоимость и, следовательно, рыночную цену (д.е.) и различный стоимостный спрос на нее (д.е.). Производство ЭЭ каждым из способов характеризуется своими условиями (фондоотдачей ОПФ, зарплато-, материалоёмкостью). При этом ОПФ для производства ЭЭ либо покупаются, либо требуют поддержания в работоспособном состоянии. В обоих случаях процесс финансирования ОПФ называется инвестированием в способ производства.

Необходимо определить для всего электроэнергетического комплекса в целом и в отдельности для каждого способа производства ЭЭ в регионе оптимальные (с точки зрения максимизации целевой функции регионального производства ЭЭ) объемы инвестиций (д.е.), производства продукции (кВт), финансирования (д.е.) с учетом рыночных (максимальные объемы спросов), технологических (максимально возможные мощности), экологических (предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ) и финансовых (максимальные объемы кредитов и дотаций) ограничений.

В изложенной постановке удастся избежать необходимости решать излишне специфические задачи технологии производства (учет особенностей распределения и перераспределения ЭЭ в регионе, в частности, неравномерности генерации, сезонности, разнообразия технологических способов ее выработки, хранения, транспортировки и т.п.) и электроэнергетической политики на территориях. При этом могут решаться интересные для управленцев регионального уровня такие задачи развития электроэнергетической отрасли, как:

- определение экономического потенциала производства ЭЭ, позволяющее обосновать инвестиционные затраты и инвестиционную привлекательность отрасли для инвесторов;
- определение оптимальных пропорций производства ЭЭ в крупных территориальных образованиях (федеральные округа, макрорегионы, страны, континенты и пр.);
- определение налогового потенциала производства ЭЭ на территориях (суммы собираемых управленческими структурами налоговых и неналоговых сборов).

В представленной выше постановке задачу функционирования электроэнергетической отрасли региона будем понимать как совокупность инвестиционно-производственных проектов, оценка экономической эффективности которых проводится путем ее сведения к решению оптимизационной линейной задачи математического программирования.

Введем параметры модели и их обозначения. Пусть  $n$  – количество видов продукции (способов производства ЭЭ) и, в соответствии с принципом чистых отраслей, видов ОПФ для ее производства;  $k$  – порядковый номер продукции (ОПФ отрасли).

Характеристики продукции:

$P_k$  – средняя/средневзвешенная цена единицы продукции при  $k$ -м способе производства ЭЭ, д.е./кВт-ч;

$q_k$  – стоимостный спрос на ЭЭ, выработанную при  $k$ -м способе ее производства, д.е.

Характеристики ОПФ отраслей:

$c_k$  – стоимость ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ, д.е./ед. ОПФ;

$T_k$  – средний срок службы (полезного использования) ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ, лет;

$V_k$  – средняя производительность ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ, ед. прод. / ед. ОПФ;

$\delta_k = P_k V_k / c_k$  – фондоотдача ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ.

Характеристики производства продукции:

$\beta_k$  – доля затрат на оплату труда в сумме всех затрат, характеризующая зарплатоёмкость производства ЭЭ при  $k$ -м способе;

$p_k$  – доля материальных затрат, характеризующая материалоёмкость производства ЭЭ при  $k$ -м способе.

Характеристики внешней рыночной среды:

$T$  – горизонт планирования инвестиционного проекта, лет;

$r$  – ставка дисконтирования на горизонте  $T$ , учитывающая инфляцию и уровень требований инвестора (кредитора).

Рассмотрим алгоритмы формирования денежных потоков в электроэнергетической отрасли региона. Обозначим далее:

$Invall$  – максимальная сумма инвестиций в электроэнергетический комплекс региона, суммарный объем  $x_1 + \dots + x_n$  не превосходит заданной величины;

$I_k$  – максимальные инвестиции в  $k$ -й вид производства ЭЭ (д.е.);

$R_k$  – выручка от продажи продукции при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$Z_k$  – общие производственные затраты при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$W_k = (1 - \alpha_3)(R_k - Z_k)$  – чистая прибыль при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$DS = W_1 + \dots + W_n + Cr + DOT$  – суммарные собственные средства предприятий электроэнергетической отрасли региона, где  $Cr$ ,  $DOT$  – суммарный кредит и дотации производителям ЭЭ (д.е.);

$$Z_k = Am_k + F_k + N_{1k} + N_{2k} + N_{4k} + N_{5k} + z_k,$$

где  $Am_k$  – амортизационные затраты при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$S_k^0$  – остаточная стоимость ОПФ при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$F_k = \beta_k Z_k$  – фонд оплаты труда при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$z_k = p_k Z_k$  – материальные затраты при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$D_k$  – предельно допустимый выброс загрязняющего вещества, появляющегося в результате производства ЭЭ  $k$ -м способом (ед. загрязнения);

$\xi_k$  – удельный выброс загрязняющего вещества на единицу ЭЭ, производимую  $k$ -м способом (ед. загрязнения/ед. прод.);

$N_{1k}$  – налог на добавленную стоимость (НДС) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$N_{2k}$  – налог на имущество (НИ) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$N_{3k}$  – налог на прибыль (НП) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$N_{4k}$  – страховые взносы производителя в социальные фонды (СВСФ) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$N_{5k}$  – иные налоговые и аналогичные им платежи (наприм. налог на добычу полезных ископаемых, транспортный, земельный налоги, экологический платеж и другие) при  $k$ -м способе производства ЭЭ (д.е.);

$\alpha_i, i = 1, \dots, 5$  – ставки, соответствующие указанным налоговым и аналогичным им платежам и сборам.

Отметим при этом следующее. Рассматриваемые способы производства ЭЭ реализуются предприятиями различной формы собственности, налогообложение которых имеет существенные отличия. В частности, для ТЭС, ГЭС и АЭС характерны полные методы налогообложения, а для производства ЭЭ остальными способами часто привлекаются предприятия с упрощенными методами. В этой связи ставки налогов и алгоритмы формирования соответствующих налоговых потоков отличаются, чем и предопределяется использование индекса  $k$  для них.

При функционировании электроэнергетической отрасли региона рассмотрим следующие ограничения.

1. Инвестиционные: суммы инвестиций по каждому способу производства (ОПФ отрасли) не превосходят заданной верхней границы; суммарные инвестиции ограничены сверху некоторым максимальным значением.

2. Производственные: объем производства  $k$ -й продукции ограничен производственными мощностями предприятий электроэнергетической отрасли либо стоимостными оценками спроса на продукцию.

3. Экологические: объем производства  $k$ -й продукции ограничен условиями неперевышения предельно допустимых выбросов продукции, загрязняющей окружающую природную среду.

4. Финансовые:

– требование платежеспособности совокупного производителя;

– суммы дотаций и кредитов не превышают заданных объемов;

– сумма дотаций не ниже заданного объема.

Введем искомые переменные:  $x_k$  – оптимальный объем (в д.е.) инвестиций в производство ЭЭ  $k$ -м способом (д.е.);  $x_{n+1}$  – оптимальный объем (в д.е.) кредитов в электроэнергетической отрасли региона;  $x_{n+2}$  – оптимальный объем (в д.е.) дотаций в электроэнергетическую отрасль региона. Тогда введенные выше потоки могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$I_k = x_k R_k = \delta_k x_k, Am = \sum_{k=1}^n Am_k = \sum_{k=1}^n \frac{T}{T_k} x_k,$$

$$S^0 = \sum_{k=1}^n S_k^0 = \sum_{k=1}^n \left(1 - \frac{T}{T_k}\right) x_k,$$

$$Cr = x_{n+1}, DOT = x_{n+2}, N_{1k} = \alpha_1 R_k, N_2 = \alpha_2 S^0,$$

$$N_{3k} = \alpha_3 W_k^r, N_{4k} = \alpha_4 \beta_k F_k,$$

а потоки платежей  $N_{5k}$ , в частности, могут быть вычислены по формулам  $N_{5k} = \alpha_5 R_k$  или оценены другими способами. Тем самым все потоки экономического содержания выражены через искомые математические переменные

модели в единых (денежных) единицах измерения, что позволяет приступить к формированию соответствующих соотношений.

С учетом введенных обозначений, инвестиционные ограничения функционирования региональной электроэнергетической отрасли принимают вид:  $x_k \leq I_k$  – объем инвестиций в  $k$ -й способ производства ЭЭ не превышает заданной максимальной величины. Кроме того, их суммарный объем  $x_1 + \dots + x_n$  не превосходит заданной величины  $Inval$ .

Производственные ограничения имеют два варианта:

–  $\delta_k x_k \leq q_k$  – объем продаж ЭЭ  $k$ -го вида в стоимостном выражении не превышает оценки стоимостного спроса на нее;

– объем продаж продукции  $k$ -го вида определяется максимальной производительностью ОПФ (или уровнем научно-технического прогресса, производственными мощностями).

Экологические ограничения могут быть выражены через введенные обозначения следующим образом [12]:

$$\delta_k x_k \leq \frac{P_k D_k}{\xi_k} \quad (k = 1, \dots, n).$$

Финансовые ограничения:

–  $DS \geq 0$  – сумма собственных средств совокупного производителя на горизонте планирования неотрицательна;

–  $x_{n+1} \leq Cr_{max}$  – наличие верхней границы суммы кредитов;

–  $DOT_{min} \leq x_{n+2} \leq DOT_{max}$  – наличие нижней и верхней границы суммы дотаций.

Критерием эффективности (оптимизации) функционирования региональной электроэнергетической отрасли в модели будем считать максимизацию его чистой приведенной (добавленной) стоимости  $NPV$  на горизонте планирования  $T$ :

$$NPV = \sum_{k=1}^n \left( \sum_{t=1}^T \left[ \frac{(W_k(t) + Am_k(t))}{(1+r)^t} \right] - I_k(1) \right) \rightarrow max.$$

Учитывая введенные обозначения, математическая модель электроэнергетической отрасли региона приобретет следующий формализованный вид статической задачи линейного оптимального управления в матричном виде:

$$A_{(3n+4) \times (n+2)} X_{(n+2) \times 1} \leq B_{(3n+4) \times 1}, X_{(n+2) \times 1} \geq 0;$$

$$C_{1 \times (n+2)} X_{(n+2) \times 1} \rightarrow max,$$

где

$$A_{(3n+4) \times (n+2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \hline \delta_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \delta_n & \dots & 0 & 0 \\ \hline \delta_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \delta_n & \dots & 0 & 0 \\ \hline (\alpha_3 - 1) \cdot \Delta_1 & \dots & (\alpha_3 - 1) \cdot \Delta_n & \dots & -1 & -1 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & -1 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix},$$



$$\Delta'_k = \delta_k - \frac{T/T_k + \alpha_6 \delta_k + \alpha_2 \left(1 - T/T_k\right)}{1 - (1 + \alpha_4) \beta_k - p_k}, \quad r_3 = \frac{rT}{1 - (1 + r)^{-T}} - 1,$$

$$B_{(3n+4) \times 1} = (I_1, \dots, I_n; q_1, \dots, q_n; P_1 D_1 / \xi_1, \dots, P_n D_n / \xi_n; 0; Cr_{max}; -DOT_{min}, DOT_{max})^T;$$

$$C_{1 \times (n+4)} = \frac{T}{1 + r_3} \left( (1 - \alpha_3) \Delta'_1 + T/T_1 - \frac{1 + r_3}{T}, \dots, (1 - \alpha_3) \Delta'_n + T/T_n - \frac{1 + r_3}{T}; -r_0(12T_0 + 1) / 24; 0 \right).$$

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенный в работе анализ позволил сделать следующие выводы. Выработка ЭЭ в регионе зависит от большого количества факторов, и каждый регион должен выбрать соответствующий набор способов производств, исходя из своих конкурентных преимуществ. Модель (1) позволяет лицу, принимающему инвестиционные решения в сфере электроэнергетической политики на региональном уровне, выбирать набор способов производства ЭЭ в регионе, модельно «заглушая» некоторые способы производства путем зануления соответствующего спроса, что, в соответствии с содержательной и математической постановками задачи, эквивалентно отсутствию производства ЭЭ с использованием данного способа. Отметим, что модель (1), являясь линейной задачей математического программирования с нестрогими ограничениями, неравенствами и непустым множеством допустимых решений (легко проверяется наличие нулевого решения), разрешима для любого набора параметров. Нетривиальные решения можно получить с помощью многопараметрического анализатора задачи линейного программирования, функции которого подробно описаны в [2]. На практике решение сформулированной задачи оценки экономической эффективности электроэнергетической отрасли позволяет получать оптимальные объемы инвестиций в производство электроэнергии *n* способами, а также оптимальные объемы производства ЭЭ, дотаций и кредитов при обеспечении ее функционирования в регионе.

**Список литературы**

1. Статистический обзор мировой энергетики BP (British Petroleum). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Уголь: краткий обзор отрасли. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022\\_coal\\_final.pdf](https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022_coal_final.pdf) (дата обращения: 15.11.2023).
3. Shafiey Mohammad, Hajabdollahi Hassan. Multi-objective optimization of hybrid solar/wind/diesel/battery system for different cli-

- mates of Iran // Environment, Development and Sustainability. 2021. No 23. P. 1-27. DOI: 10.1007/s10668-020-01094-1.
4. Добринова Т.В., Головин А.А., Чаплыгина М.А. Совершенствование энергетического хозяйства предприятия // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 9-1. С. 68-73. DOI: 10.17513/vaael.2393.
5. Jha V.N., Karn Santosh K., Kumar Krishna. Review on the Role of Modeling in Energy Sectors. Department of Mathematics, College of Arts and Science, Prince Sattam bin Abdul. URL: <https://www.researchgate.net/publication> (дата обращения: 15.11.2023).
6. Дмитриев Н.Д., Родионов Д.Г., Жильцов С.А. Оптимизация управленческих процессов в электроэнергетике на основе математического моделирования // Kant. 2021. № 1. С. 18-23. DOI: 10.24923/2222-243X.2021-38.4.
7. Цыбатов В.А. Стратегическое планирование энергоэффективного развития субъекта Российской Федерации // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 3. С. 941-954.
8. Медведев А.В. Автоматизированная поддержка принятия оптимальных решений в инвестиционно-производственных проектах развития социально-экономических систем. М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2020. 200 с. DOI: 10.17513/np.421.
9. О некоторых приложениях инструментария многопараметрического анализа функций в ситуационных центрах социально-экономического развития / А.В. Медведев, С.А. Муравьев, В.А. Пинаев и др. // Фундаментальные исследования. 2017. № 4-2. С. 271-275.
10. Анализ эффективности региональной энергетики / В.И. Бирюлин, А.Н. Горлов, Д.В. Куделина и др. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2018. 123 с.
11. Energy Feasibility of Hybrid PV/Wind Systems with Electricity Generation Assessment under Iran Environment / Makkiabadi Mahmoud, Hoseinzadeh Siamak, M. Mohammadi et al. // Applied Solar Energy. 2020. No 56. P. 517-525. DOI: 10.3103/S0003701X20060079.
12. Медведев А.В., Прокопенко Е.В., Кисляков И.М. Система поддержки принятия решений в оценке экономической эффективности угледобывающей отрасли с учетом экологических ограничений // Уголь. 2021. № 12. С. 28-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-28-33.

Original Paper

UDC 338.45:622.85:51.001.57 © E.V. Vasiliev, A.G. Kirenberg, I.M. Kislyakov, A.V. Medvedev, E.V. Prokopenko, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 12, pp. 44-49  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-44-49>

**Title****ELECTRIC POWER INDUSTRY OF A REGION: MATHEMATICAL MODELING OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF DEVELOPMENT EFFICIENCY****Authors**

Vasiliev E.V.<sup>1</sup>, Kirenberg A.G.<sup>1</sup>, Kislyakov I.M.<sup>1</sup>, Medvedev A.V.<sup>1,2</sup>, Prokopenko E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, 650043, Russian Federation

**Authors Information**

**Vasiliev E.V.**, Postgraduate student, e-mail: lifead@yandex.ru

**Kirenberg A.G.**, PhD (Economic), Associate Professor of the Department of Information Security, e-mail: ag-k@yandex.ru

**Kislyakov I.M.**, Senior Lecturer of the Department of Information Security, e-mail: kemerovo85@mail.ru

**Medvedev A.V.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Fundamental Mathematics, Professor of the Department of Information Security, e-mail: alexm\_62@mail.ru

**Prokopenko E.V.**, PhD (Physical and Mathematical), Associate Professor, Head of the Department of Information Security, e-mail: pev.vtit@kuzstu.ru

**Abstract**

The article introduces the concept of analysis as well as an economic and mathematical model in the form of a linear mathematical programming problem focused on the automated efficiency assessment of a regional electric power industry that takes into account the environmental aspects of its operation. Since coal currently remains one of the main sources of electric power generation in the world (up to 20%), the formulated problem also concerns the issues of the coal mining industry operation in the regions. The problem description and its mathematical formulation are discussed, as well as some specific features and limitations in operation of the electric power industry. The developed model makes it possible to calculate the optimal investment and power generation volumes, as well as to identify the economic potential of the regional electric power industry, and also allows to carry out an efficient numerical analysis based on the parameter analyzer of the linear programming problem. Existence of a solution to the problem described by the given model is justified, as well as the possibility to use the author's software solution of parametric analysis of the linear programming problem for its analysis. This makes it possible to discuss the use of a system tools in studying the development patterns of the electric power industry in the region.

**Keywords**

Regional electric power industry, Conventional energy sources, Power plants, Non-conventional energy sources, Electric generators, Assessment of economic efficiency, Economic potential, Mathematical modeling, Linear programming problem.

**References**

1. BP (British Petroleum) Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (accessed 15.11.2023).
2. Coal: an overview of the industry. [Electronic resource]. Available at: [https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022\\_coal\\_fnal.pdf](https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/analytics/jdw/23122022_coal_fnal.pdf) (accessed 15.11.2023).

3. Shafiey Mohammad & Hajabdollahi Hassan. Multi-objective optimization of hybrid solar/wind/diesel/battery system for different climates of Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 2021, (23), pp. 1-27. DOI: 10.1007/s10668-020-01094-1.

4. Dobrinova T.V., Golovin A.A. & Chaplygina M.A. Improvement of the energy economy of the enterprise. *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava*, 2022, (9-1), pp. 68-73. (In Russ.). DOI: 10.17513/vaael.2393.

5. Jha V.N., Karn Santosh K., Kumar Krishna. Review on the Role of Modeling in Energy Sectors. Department of Mathematics, College of Arts and Science, Prince Sattam bin Abdul. URL: <https://www.researchgate.net/publication>.

6. Dmitriev N.D., Rodionov D.G. & Zhiltsov S.A. Optimization of management processes in the electric power industry based on mathematical modeling. *Kant*, 2021, (1), pp. 18-23. (In Russ.). DOI: 10.24923/2222-243X.2021-38.4.

7. Tsybatov V.A. Strategic planning of energy efficient development of the subject of the Russian Federation. *Ekonomika regiona*, 2018, Vol. 14, (3), pp. 941-954. (In Russ.).

8. Medvedev A.V. Automated support of optimal decision making in investment and production projects of social and economic systems development. Moscow, Akademiia Estestvoznaniia Publ., 2020, 200 p. (In Russ.). DOI: 10.17513/np.421.

9. Medvedev A.V., Muravyev S.A., Pinaev V.A. et al. On some applications of the tools for multiparametric analysis of functions in the situational centers for social and economic development. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2017, (4-2), pp. 271-275. (In Russ.).

10. Biryulin V.I., Gorlov A.N., Kudelina D.V. et al. Analysis of regional power industry efficiency, Kursk. Universitetskaya Kniga Publ., 2018, 123 p. (In Russ.).

11. Makkiabadi Mahmoud, Hoseinzadeh Siamak, Mohammadi M. et al. Energy Feasibility of Hybrid PV/Wind Systems with Electricity Generation Assessment under Iran Environment. *Applied Solar Energy*, 2020, (56), pp. 517-525. DOI: 10.3103/S0003701X20060079.

12. Medvedev A.V., Prokopenko E.V. & Kislyakov I.M. Decision support system for assessing the economic efficiency of the coal mining industry with account of environmental limitations. *Ugol'*, 2021, (12), pp. 28-33. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-28-33.

**For citation**

Vasiliev E.V., Kirenberg A.G., Kislyakov I.M., Medvedev A.V. & Prokopenko E.V. Electric power industry of a region: mathematical modeling of environmental and economic assessment of development efficiency. *Ugol'*, 2023, (12), pp. 44-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-12-44-49.

**Paper info**

Received July 5, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted November 27, 2023