

# Система поддержки принятия решений в оценке экономической эффективности угледобывающей отрасли с учетом экологических ограничений\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-28-33>

## МЕДВЕДЕВ А.В.

Доктор физ.-мат. наук, профессор  
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: pev.vtit@kuzstu.ru

## ПРОКОПЕНКО Е.В.

Канд. физ.-мат. наук, доцент,  
начальник учебно-методического управления  
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, Россия

## КИСЛЯКОВ И.М.

Старший преподаватель  
кафедры вычислительной техники  
и информационных технологий  
Кемеровского института (филиала)  
РЭУ им. Г.В. Плеханова,  
650992, г. Кемерово, Россия

В работе рассматриваются вопросы разработки и применения системы поддержки принятия управленческих решений (СППР) в угледобывающей отрасли региона с учетом влияния на ее экономическую эффективность экологических факторов и ограничений. Предложен системный подход к управлению процессами организации взаимодействия регионального управляющего центра и производителей угля, заключающийся в использовании многокритериальной математической модели эколого-экономической привлекательности угледобывающей отрасли региона, алгоритмов ее анализа и автоматизированной информационно-аналитической системы, позволяющей конечному пользователю – региональному инвестиционному и экологическому аналитику – вырабатывать рациональные управленческие решения в данной области. С использованием автоматизированной информационно-аналитической системы заносится входная информация, на основе ее обработки аналитик получает значения оптимальных объемов инвестиций, производства продукции и финансирования отрасли, а также пороговые значения коэффициента экологического платежа, ориентирующие производителя, в течение оговоренного срока, на использование наилучших доступных технологий, минимизирующих вред окружающей природной среде. Представлены полученные на основе автоматизированного анализа модельных данных результаты вычислительных экспериментов по оценке экономической эффективности проектов угледобывающей отрасли, пороговые значения коэффициента экологического платежа и некоторые рекомендации по практическому использованию представленного инструментария, которые позволяют принимать эффективные с точки зрения участников проекта, равновесные по Парето решения эколого-экономического характера, в том числе по определению минимально допустимого (критического) по отрасли уровня рентабельности производства.

**Ключевые слова:** экономический потенциал угледобывающей отрасли, оптимизационная двухкритериальная экономико-математическая модель, система поддержки принятия решений, эколого-экономическая привлекательность региона.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2021 138/3).

**Для цитирования:** 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.

## ВВЕДЕНИЕ

Эколого-экономическое развитие любого (в особенности густонаселенного) региона в современный период определяется эффективным использованием совокупности разноплановых конкурентных преимуществ – наличия природных, трудовых ресурсов, их местоположения, сложившихся условий производства продукции и взаимодействия экономических агентов в регионе – производителя угля и управляющего центра региона – с учетом особого фактора региональной экологической безопасности. Особенно актуальна данная проблема для ресурсных регионов, основой стратегии развития которых является добыча углеводородного сырья, как правило, сопряженная с негативным воздействием на окружающую природную среду. В частности, это касается и Кемеровской области, руководством которой была представлена долгосрочная, приоритетная программа развития угольной промышленности региона с акцентом на охрану природы, экологичность и инновационность [1]. Развитие угледобывающей отрасли региона неизбежно влечет ряд проблем экологического характера, требующих использования новейших технологий, обеспечивающих максимально эффективную добычу и переработку угля с возможной минимизацией выбросов вредных веществ и нарушения территории. В этой связи эколого-экономический анализ и разработка инструментов поддержки принятия решений при управлении ресурсным регионом являются актуальной и сложной системно-аналитической задачей, требующей усилий многих специалистов – теоретиков и практиков – в области математического моделирования, статистики, экономики, экологии, социологии и пр.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время опубликовано значительное количество научных трудов [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] на тему моделирования отраслевых и региональных социо-эколого-экономических систем (СЭЭС), учитывающих влияние экологических аспектов их развития. Для моделирования развития СЭЭС используются различные математические подходы, включая оптимизационный [3, 7, 8], агент-ориентированный [2, 10, 11, 12], на основе аппарата орграфов [5], нечеткой логики [6] и другие, описывающие проблемы функционирования и оценки эколого-экономической эффективности указанных СЭЭС с позиций системного анализа.

В данной работе также предлагается использование системного подхода, основанного на решении двухкритериальной задачи линейной оптимизации, допускающей свой эффективный численный анализ, а также разработку ориентированных на конечного пользователя – эколога, экономиста-аналитика – автоматизированных комплексов обработки эколого-экономической информации регионального уровня. Особенностью данно-

го подхода является попытка его применения к ситуации управления эколого-экономическим взаимодействием (ЭЭ-взаимодействием) экономических агентов (налоговый центр, производитель, социум) в регионе, имеющей гипотетический характер, так как в настоящее время, на практике, такое взаимодействие строится на основе сложившихся правил, в основе которых лежит принятие управленческих решений, опирающихся на отчетные показатели уже действующего производства и порождаемых им загрязнений. По нашему глубокому убеждению, эти правила не способствуют достижению целей сбалансированности ЭЭ-взаимодействия региональных властей и производителя, и их сохранение не позволит решить экологические проблемы территорий по причинам, связанным с особенностями реализации учетной политики предприятий угледобывающей отрасли. В этой связи выдвигается концептуальное положение о том, что правила ЭЭ-взаимодействия в регионе должны учитывать «на берегу» потенциально возможные загрязнения, определяемые (как правило, прямо пропорционально) планируемыми объемами производства, то есть путем предварительного выявления экономического потенциала производителя. Для реализации подхода выбраны способная оценить экономический потенциал угледобывающей отрасли региона оптимизационная математическая модель эколого-инвестиционной привлекательности СЭЭС, представленная в работе [8], алгоритмы эколого-экономического взаимодействия управляющего центра и производителя в регионе [10], а также программный комплекс [13].

Математическая модель [8] представляет собой двухкритериальную линейную задачу оптимизации, описывающую взаимодействие производителя (угледобывающая отрасль с основной функцией добычи и продажи угля) и управляющего центра (с основной функцией сбора налоговых поступлений от предприятий угледобывающей отрасли) региона, косвенно, через эколого-экономические ограничения, учитывающего интересы проживающего и работающего на территории социума. Входная информация содержит характеристики производственных активов, производимой продукции, методов финансирования и налогообложения, а также внешней рыночной среды для угледобывающей отрасли. Для указанной задачи разработаны эффективные численные методы ее анализа (например, симплекс-метод Дж. Данцига), а программный комплекс [13] представляет собой автоматизированную систему многокритериального, многопараметрического анализа рассматриваемой задачи с удобными возможностями внесения, контроля и структурирования входной информации, с графоаналитическими и геовизуальными возможностями представления выходной информации, а также аккумуляции результатов проведенного анализа.

Предположим сначала, что в СЭЭС (угледобывающая отрасль и управляющий центр региона) производится (добывается и продается) единственный вид продукции – уголь с осредненными его качественными характеристиками и используется единственный комплект производственных активов (шахт и/или разрезов) со средневзвешенными значениями стоимости, производительности и срока полезного использования. Для модельной оценки эколого-

экономической эффективности угледобывающей отрасли некоторого ресурсного региона будем параметрически задавать входные данные, приближенно характеризующие отраслевые показатели производственных активов (стоимость, производительность, срок полезного использования), продукции (цена единицы, стоимостная оценка спроса), финансового (ставка дисконтирования потоков, максимальный уровень финансирования в форме инвестиций, кредитов, дотаций) и рыночного (горизонт планирования, ставка инфляции, доля рынка продукции) окружения, экологические ограничения (удельные выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) и их предельно допустимые значения). Далее с использованием комплекса [13] осуществляется многопараметрический инвестиционный, производственный, финансовый анализ эколого-экономического проекта функционирования угледобывающей отрасли, эколого-экономическая эффективность (ЭЭ-эффективность) которого определяется инвестиционно-производственными ограничениями, а также ограничениями экологического (на предельно допустимый объем выбросов) и эколого-экономического (на прибыль, путем наложения экологических штрафов, пропорциональных определяемым в модели оптимальным объемам производства) характера. Многопараметрический анализ дополняется двухкритериальным Парето-анализом путем построения и исследования Парето-множеств задачи. Такой анализ позволяет, с использованием алгоритмов работы [9], определять диапазоны коэффициента экологического платежа (КЭП), ориентированные на решение различных задач управления ЭЭ-взаимодействием участников проекта. В частности, принимающее решения лицо может определять пороговые значения КЭП, «вынуждающие» производителя использовать наилучшие доступные технологии (НДТ) производства продукции, минимизирующие негативное воздействие на окружающую природную среду (НВОПС), а также такие значения КЭП, при которых проект становится невыгодным для производителя, и другие задачи ЭЭ-взаимодействия. Отметим, что изложенная постановка задачи, с использованием описанного аналитического инструментария, может быть обобщена на производство в

регионе  $n$  видов продукции, в частности, добычу угля различными способами (шахта, разрез) с учетом инновационных методов [14], территориальных особенностей управления отраслью с точки зрения производителя и уровня регионального управления (например, в сфере регионального управления отраслью в целом или взаимодействия крупной компании с региональными и муниципальными властями по решению задач социально-экономического развития территории).

Используем описанный подход и соответствующий ему аналитический инструментарий для оценки эколого-экономической эффективности угледобывающей отрасли Кузбасса. В таблице в соответствии с данными работы [14] приведены агрегированные характеристики (производственных активов, продукции, финансового и рыночного окружения проекта развития) угледобывающей отрасли.

Оценку экологических параметров (см. таблицу) – удельных выбросов загрязняющих веществ (единиц ЗВ на тонну добытого угля) и их предельно допустимых значений (единиц ЗВ на человека) – авторы получили из открытых источников [15].

Расчеты, проведенные с помощью комплекса [13], позволили, в частности, получить следующие, экономически непротиворечивые, результаты.

На рис. 1 представлены зависимости NPV проекта по производству угля в угледобывающей отрасли от горизонта планирования  $T_0$ , при варьировании показателя  $V_1$  – производительности комплекта производственных активов.

Анализ рис. 1 позволяет руководителям предприятий (инвесторам, другим ЛПП) получить полезную информацию об исследуемом проекте развития угледобывающей отрасли региона. В частности, выявляются жизненный цикл, оптимальные моменты реинвестиций и горизонт планирования. Визуально также определяется информация об абсолютных значениях NPV проекта, его периоде окупаемости. Варьирование других параметров проекта (цена единицы продукции, оценочный стоимостный спрос на продукцию, коэффициенты трудо- и материальных затрат, ставка дисконтирования и другие) позволяет аналитику отвечать на многочисленные вопро-

**Входные характеристики производственных активов (ПА), продукции и внешней, рыночной среды угледобывающей отрасли Кузбасса**

Показатель	Значение показателя
Количество видов продукции, $n$ , шт	1
Стоимость комплекта ПА $k$ -го вида, $c_k$ , млрд руб. / ед. ПА	100
Срок службы комплекта ПА, $T_k$ , экономический цикл	20
Производительность комплекта ПА, $V_k$ , млн т / ед. ПА	250
Цена единицы продукции, $P_k$ , тыс. руб. / ед. продукции	2,1
Совокупный стоимостной спрос на продукцию, $q_k$ , млрд руб.	700
Коэффициент трудозатрат, $\beta$ , % / 100	0,223
Коэффициент оборотных затрат, $p$ , % / 100	0,24
Ставка дисконтирования, $r$ , % / 100	0,2
Горизонт планирования, $T_0$ , экономический цикл	10
Удельный выброс ЗВ на единицу продукции, тонн ЗВ на тонну продукции	0,0044
Предельно допустимые выбросы (ПДВ), тонн ЗВ на человека	0,5

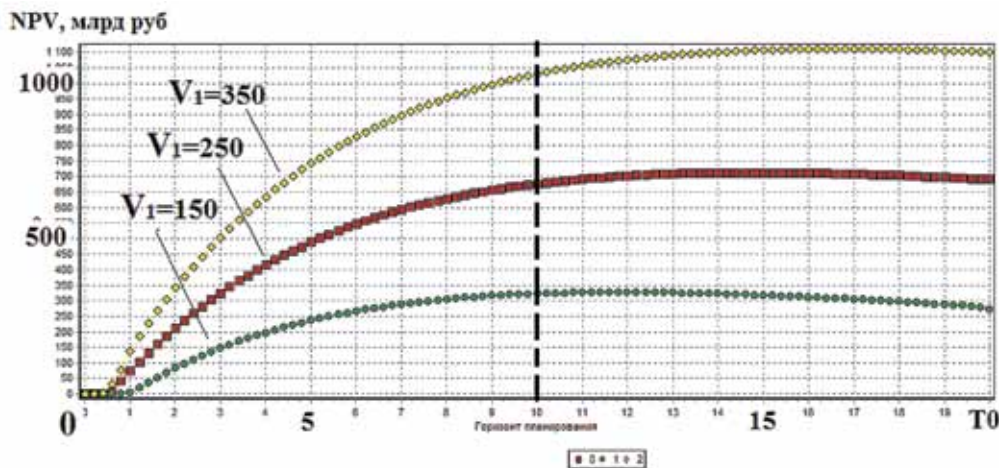


Рис. 1. Зависимости  $NPV(T_0)$ , при варьировании  $V_1 = 150, 250, 350$  млн т

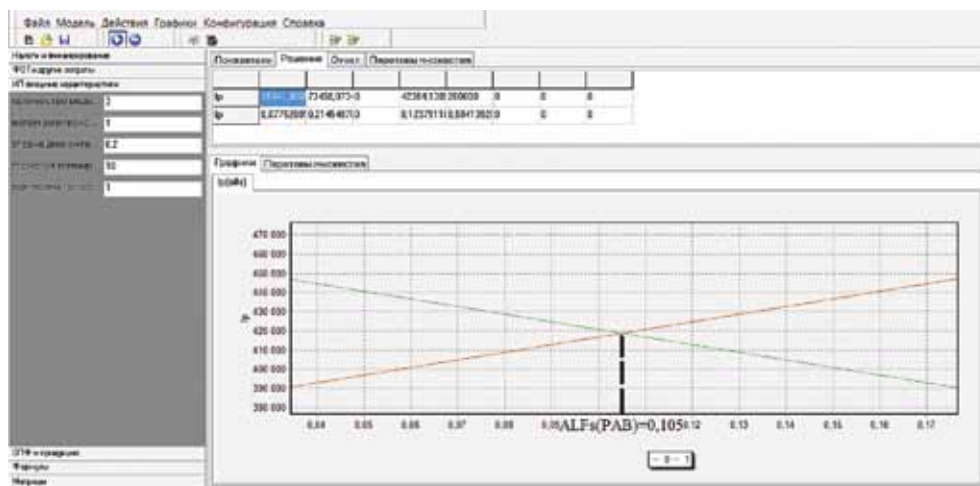


Рис. 2. Пример графического определения  $\alpha_s^{PAB}$  в точке пересечения графиков свертки критериев при  $\mu = 0$  и  $\mu = 1$

сы, связанные с оптимальными объемами инвестирования и производства продукции, финансирования проектов (использования финансового рычага и тому подобного), экологическими характеристиками производства и многие другие вопросы. На рис. 2 представлены зависимости значений выпуклой линейной свертки  $J = \mu J_1 + (1 - \mu) J_2$  критериев  $J_1$  производителя и  $J_2$  регио-

нального центра при варьировании параметра  $\mu \in [0; 1]$ , а также результат автоматизированной процедуры нахождения равновесного значения  $\alpha_s^{PAB}$  КЭП как абсциссы точки пересечения графиков зависимостей добавленной стоимости от  $\alpha_s$ , при  $\mu = 0$  и  $\mu = 1$ .

На рис. 3 изображены критериальные (по критериям  $J_1$  и  $J_2$ ) Парето-множества задачи, построенные в зависи-

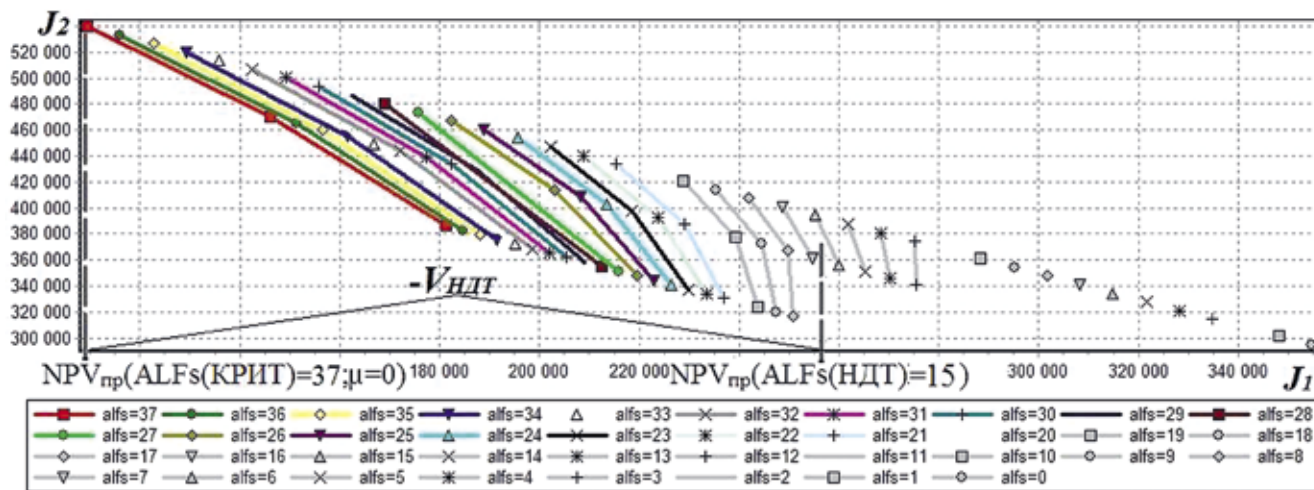


Рис. 3. Пример графического определения  $\alpha_s^{НДТ}$

мости от значений параметра  $\alpha_s$  в некотором, определяемом характеристиками исследуемого проекта, диапазоне  $\alpha_s \in [0; 37]$ , где значение  $\alpha_s \approx 37$  определяется как некоторое критическое значение, при котором производитель полностью теряет экономический интерес к проекту, например, в связи с его нерентабельностью.

Производитель и управляющий центр, в результате предварительных переговоров, могут, с учетом обоюдно приемлемых значений своих критериев, оговорить возможность отсрочки установки НДТ, например с учетом информации о стоимости этой установки ( $V_{\text{НДТ}}$ , см. рис. 3). В этом случае, по рис. 3, определяется соответствующее уменьшенное значение КЭП  $\alpha_s^{\text{НДТ}}$ . Как следует из рис. 3, при ориентировочном значении –  $V_{\text{НДТ}} \approx 257 - 112 = 145$  млн д.е. скидка значения  $\alpha_s^{\text{НДТ}}$  составляет приблизительно 60% от максимально возможного значения (с 37 до 15).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование предложенного аналитического инструментария дает возможность аналитику и принимающему решению лицу осуществлять оперативную оценку экономической эффективности проектов в угледобывающей отрасли региона, определять Парето-оптимальные характеристики этих проектов (показатели эффективности, объемы инвестиций, производства продукции, финансирования), пороговые значения коэффициента экологического платежа, ориентированные на использование производителем наилучших доступных технологий в течение оговоренного срока. Применение программного комплекса [13] позволяет также визуализировать местоположение и плотность источников загрязнений (шахты, разрезы, тепловые электростанции и другое), и дает возможность принятия обоснованных управленческих решений в условиях ситуационных центров их оперативной, экспертной поддержки [16]. Таким образом, рассмотренные вопросы применения аналитического и численного инструментария (моделей, методов и алгоритмов, автоматизированных программных комплексов) для оценки эффективности функционирования угледобывающей отрасли, а также правила взаимодействия экономических агентов региона с учетом влияния экологических ограничений позволяют рассчитывать на эффективность применения предлагаемой системы поддержки принятия управленческих решений.

### Список литературы

1. Стратегия социально-экономического развития Кемеровской области на период до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550305101> (дата обращения: 15.11.2021).
2. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Агент-ориентированная социо-эколого-экономическая модель региона // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. Т. 11. № 3 (288). С. 2-11.
3. Гурман В.И., Матвеев Г.А., Трушкова Е.А. Социо-эколого-экономическая модель региона в параллельных вычислениях // Управление большими системами: сборник трудов. 2011. № 32. С. 109-130.

4. Зуев В.Е. Влияние экологических факторов на социально-экономическое развитие // Фундаментальные исследования. 2013. № 1-3. С. 812-817.

5. Использование ориентированных графов в процессах управления эколого-экономической деятельностью / Т.В. Киселева, В.Г. Михайлов, А.А. Ивушкин и др. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2020. № 36. С. 214-231.

6. Рогачев А.Ф., Шевченко А.А., Кузьмин В.А. Оценка эколого-экономической безопасности промышленных предприятий методами нечеткой логики // Труды СПИИРАН. 2013. № 7. С. 77-87.

7. Опыт построения и использования межотраслевых региональных моделей эколого-экономического развития / А.О. Баранов, В.Н. Павлов, Т.О. Тагаева и др. // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20. № 3. С. 27-47. DOI: 10.25205/2542-0429-2020-20-3-27-47.

8. Кисляков И.М., Медведев А.В. Математическая модель эколого-инвестиционной привлекательности региона // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 9. С. 51-55.

9. Кисляков И.М., Медведев А.В. Алгоритмы взаимодействия производителя и управляющего центра при эколого-экономическом развитии региона // Фундаментальные исследования. 2018. № 8. С. 66-72.

10. Agent-Based Simulation Modeling for Regional Ecological-Economic Systems. A case study of the Republic of Armenia / L.A. Beklaryan, A.S. Akopov, A.L. Beklaryan et al. // Machine Learning and Data Analysis. 2016. Vol. 2. Is. 1. P. 104-115.

11. Rogge N., De Jaeger S., Lavigne C. Waste Performance of NUTS 2-regions in the EU: A Conditional Directional Distance Benefit-of-the-Doubt Model // Ecological Economics. 2017. Vol. 139. P. 19-32.

12. Wolf S., Schütze F., Jaeger C.C. Balance or synergies between environment and economy – a note on model structures // Sustainability. 2016. Vol. 8(8). Article 761. DOI:10.3390/su8080761.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014612483, РФ. Автоматизированный программный комплекс определения экологических штрафов предприятия: № 2013660235: заявл. 07.11.2013 / А.В. Медведев, И.М. Кисляков. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016660247, РФ. Оптимизационная информационно-аналитическая система для оценки эффективности эколого-экономических проектов предприятия: № 2016617464: заявл. 13.07.2016: опубл. 09.09.2016 / Д.А. Кацуро, И.М. Кисляков, А.В. Медведев и др. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018617155, РФ. Генерализатор и компоновщик программного обеспечения поддержки принятия решений в ситуационных центрах социально-экономического развития: № 2018615787: заявл. 22.05.2018: опубл. 19.06.2018 / А.В. Медведев, М.Н. Рослов, А.С. Ухов.

14. Медведев А.В., Никитенко С.М., Месяц М.А. Инновационное развитие угледобывающей отрасли региона: моделирование и предварительный анализ // Уголь. 2019. № 11. С. 43-47. DOI:10.18796/0041-5790-2019-11-43-47.

15. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2018 году. Администрация Кемеровской области: департамент природных ресурсов и экологии. URL: <http://gosdoklad.kuzbassesso.ru/> (дата обращения: 15.11.2021).

16. Медведев А.В., Рапп Е.Ю., Шушарин И.А. Система гео-визуализации показателей территорий для поддержки решений в ситуационных центрах социально-экономического анализа // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. № 1. С. 209-214.

Original Paper

ECONOMIC OF MINING

UDC 658.51:658.3:331.1 © A.V. Medvedev, E.V. Prokopenko, I.M. Kislyakov, 2021  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 12, pp. 28-33  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-28-33>

**Title**  
**DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE COAL MINING INDUSTRY WITH ACCOUNT OF ENVIRONMENTAL LIMITATIONS**

**Author**

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

<sup>1</sup>Gorbachev's Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup>Kemerovo Institute (Branch) of Plekhanov Russian University of Economics, Kemerovo, 650992, Russian Federation

**Authors Information**

Medvedev A.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, e-mail: [pev.vtit@kuzstu.ru](mailto:pev.vtit@kuzstu.ru)

Prokopenko E.V., PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Head of Educational and Methodical Department  
Kislyakov I.M., Senior Lecturer, Department of Computer Engineering and Information Technologies,

**Abstract**

The paper addresses the development and application of a Decision Support System (DSS) in the coal mining industry of the region with account of the impact from the environmental factors and constraints on its economic efficiency. A system approach is proposed to managing the processes of arranging the interaction between the regional management center and coal producers that consists in applying a multi-criteria mathematical model of environmental and economic attractiveness of the coal mining industry in the region, algorithms of its analysis and automated information and analytical system, allowing the end user, i.e. the regional investment and environmental analyst, to make rational management decisions in this area. The automated information and analytical system is used to enter the input information, which is then processed by an analyst to obtain the optimal amounts of investment, production and financing of the industry, as well as the threshold values of the environmental charge coefficient that will guide the producer to use the best available technologies to minimize the environmental damage within the stipulated period of time. The article presents the results of computational experiments to assess the economic efficiency of coal mining projects, threshold values of the environmental charge coefficient and some recommendations for practical application of the proposed tools, which help to make efficient, from the standpoint of the project participants, Pareto-balanced decisions of environmental and economic nature, including determination of the minimally acceptable (critical) level of production profitability for the industry.

**Keywords**

Economic potential of coal mining industry, Optimization two-criteria economic and mathematical model, Decision support system, Environmental and economic attractiveness of the region.

**References**

1. Strategy for social and economic development of the Kemerovo Region for the period up to 2035 [Electronic resource]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/550305101> (accessed: 15.09.2021).
2. Makarov V.L., Bakhtizin A.R. & Sushko E.D. Regional agent-oriented social and economic model. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2015, Vol. 11, (288), pp. 2-11. (In Russ.).
3. Gurman V.I., Matveyev G.A. & Trushkova E.A. Regional social environmental and economic model in parallel computing. *Large Systems Management: a collection of works*, 2011, (32), pp. 109-130. (In Russ.).
4. Zuev V.E. Impact of environmental factors on social-and economic development. *Fundamental'nye issledovaniâ*, 2013, (1-3), pp. 812-817. (In Russ.).
5. Kiseleva T.V., Mikhailov V.G., Ivushkin A.A. et al. Application of oriented graphs in environmental and economic management processes. *Vestnik*

*Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Èlektrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravleniâ*, 2020, (36), pp. 214-231. (In Russ.).

6. Rogachev A.F., Shevchenko A.A. & Kuzmin V.A. Estimation of environmental and economic safety of industrial enterprises using fuzzy logic methods. *Trudy SPIIRAN*, 2013, (7), pp. 77-87. (In Russ.).

7. Baranov A.O., Pavlov V.N., Tagaeva T.O. et al. Experience of designing and application of inter-branch regional models of environmental and economic development. *Mir èkonomiki i upravleniâ*, 2020, Vol. 20, (3), pp. 27-47. (In Russ.). DOI: 10.25205/2542-0429-2020-20-3-27-47.

8. Kislyakov I.M. & Medvedev A.V. Mathematical model of environmental and investment attractiveness of a region. *Sovremennye naukoëmkie tehnologii*, 2018, (9), pp. 51-55. (In Russ.).

9. Kislyakov I.M. & Medvedev A.V. Algorithms of producer and managing center interaction in the ecological and economic development of a region. *Fundamental'nye issledovaniâ*, 2018, (8), pp. 66-72. (In Russ.).

10. L.A. Beklaryan, A.S. Akopov, A.L. Beklaryan et al. Agent-Based Simulation Modeling for Regional Ecological-Economic Systems. A case study of the Republic of Armenia. *Machine Learning and Data Analysis*, 2016, Vol. 2, Is. 1, pp. 104-115.

11. Rogge N., De Jaeger S. & Lavigne C. Waste. Performance of NUTS 2-regions in the EU: A Conditional Directional Distance Benefit-of-the-Doubt Model. *Ecological Economics*, 2017, Vol. 139, pp. 19-32.

12. Wolf S., Schütze F. & Jaeger C.C. Balance or synergies between environment and economy – a note on model structures. *Sustainability*, 2016, Vol. 8, Article 761. DOI:10.3390/su8080761.

13. State Registration Certificate for Computer Programs: No.2014612483, No.2016660247, No.2018617155.

14. Medvedev A.V., Nikitenko S.M. & Mesyats M.A. Innovative development of regional coal mining industry: modeling and preliminary analysis. *Ugol'*, 2019, (11), pp. 43-47. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-43-47.

15. Report on the condition and protection of the environment in the Kemerovo region in 2018.

16. Medvedev A.V., Rapp E.Yu. & Shusharin I.A. Geo-visualization system of territorial indicators for decision support in situational centers of social and economic analysis. *Programmnye produkty i sistemy*, 2021, Vol. 34, (1), pp. 209-214. (In Russ.).

**Acknowledgements**

The research was supported by the Russian Science Foundation Grant (Project No.075-03-2021 138/3).

**For citation**

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.

**Paper info**

Received October 11, 2021

Reviewed October 25, 2021

Accepted November 18, 2021