

# ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

М.Д. Молев<sup>1</sup>, В.Н. Армейсков<sup>1</sup>, М.А. Голодов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт сферы обслуживания и сферы предпринимательства (филиал)  
Донского государственного университета, Шахты, Россия, e-mail: 2play\_rnd14716@aaanet.ru

**Аннотация:** Изложены результаты авторских исследований по проблеме прогнозирования экологической безопасности в угледобывающих регионах РФ. К традиционным источникам загрязнения окружающей среды добавляются специфические объекты, которые инициируют зарождение и развитие качественно новых негативных процессов. Цель экспериментально-теоретических исследований заключалась в создании комплекса методов получения, обработки и интерпретации результатов, позволяющих сформировать массив достоверной информации, на базе которой специалисты в области риск-менеджмента и управления могут разработать и принять оптимальное организационно-техническое решение с учетом требований экологической безопасности. Использованы методы системного анализа и синтеза альтернатив, процессный подход, теория решения многокритериальных задач, методы теории вероятности и математической статистики, обобщение экспериментальных данных. Разработан геофизический комплекс прогнозирования экологической безопасности на территории угледобывающего региона. Основными компонентами комплекса являются геофизические наблюдения и интерпретация результатов с использованием решения многокритериальных задач. Верификация прогнозных материалов показала, что надежность и достоверность прогнозов экологической безопасности составляет 80–90%.

**Ключевые слова:** прогнозирование, экологическая безопасность, техногенное воздействие, угледобывающий регион, шахты, системный анализ и синтез, многокритериальные задачи, геофизические методы, интерпретация.

**Для цитирования:** Молев М.Д., Армейсков В.Н., Голодов М.А. Геофизическое прогнозирование экологической безопасности угледобывающих регионов на основе решения многокритериальных задач // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 63–73. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-63-73.

## Geophysical prediction of environmental safety in coal mining regions using complex criteria

M.D. Molev<sup>1</sup>, V.N. Armeiskov<sup>1</sup>, M.A. Golodov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) of Don State University,  
346500, Shakhty, Russia, e-mail: 2play\_rnd14716@aaanet.ru

**Abstract:** The article is devoted to complex forecasting of environmental safety in coal-mining regions of Russia. Results of the analysis of the main sources of environmental pollution in the consi-

dered regions are given. The authors of the paper focus attention on specifics of the polluting factors connected with applied technological processes of coal mining and processing. The article shows that uncertainty of assessing environmental risks to the population and the habitat by means of existing methods has led to additional research on the development of a rational set of forecasting methods. The goal was achieved by means of modern physical and mathematical apparatus, including geophysical control of natural environment, system analysis and synthesis of primary information, as well as a comprehensive result interpretation on the basis of the theory of solving multi-criteria problems. The algorithm of forming solution models developed as part of the criteria optimization process is described. This original approach is introduced into scientific use to form methods of forecasting environmental safety ensuring the development and adoption of optimal management decisions. A comparative analysis of forecasting and factual materials for one hundred and thirty-seven studied objects made it possible to state that the reliability of forecasting by means of involving a complex of geophysical methods is 80–90%.

**Key words:** forecasting, environmental safety, man-made impact, coal-mining region, mines, system analysis and synthesis, multi-criteria problems, geophysical methods, interpretation.

**For citation:** Molev M. D., Armeiskov V. N., Golodov M. A. Geophysical prediction of environmental safety in coal mining regions using complex criteria. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:63-73. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-63-73.

---

## Введение

Промышленно развитые регионы России характеризуются высокой техногенной нагрузкой на население и окружающую природную среду (ОПС). Сложившаяся неблагоприятная экологическая обстановка связана со значительной насыщенностью территории различными промышленными и инфраструктурными объектами.

В угледобывающих районах страны к обычным источникам загрязнения, присутствующим индустриальным территориям, добавляются новые негативные факторы, сопровождающие технологические процессы угольного производства. Совокупное воздействие специфических техногенных факторов, которые формируются во время функционирования и ликвидации угольных шахт, обуславливает возникновение и развитие в ОПС масштабных процессов негативного характера таких, как загрязнение воздушной среды, геосреды и гидрографической сети вредными опасными органическими и минеральными соединениями, а также рудничными газами; локальное сдвижение углепородного массива. На горных отводах угледобывающих предприятий

расположены многочисленные поверхностные технологические объекты, в которых складированы отходы угольного производства, представляющие мощные источники загрязнения окружающей природной среды [1]. Неудовлетворительное состояние среды обитания населения в исследуемых регионах наглядно иллюстрируют следующие цифры: в гидрографическую сеть Ростовской области ежегодно поступает 37 млн кубометров шахтных вод, которые содержат 187 тыс. т загрязняющих веществ [2]. Масштабы влияния угледобычи на территориальные ландшафты России оцениваются, по статистическим данным, ежегодным исключением из сельскохозяйственного оборота вследствие горных работ около 62 км<sup>2</sup> плодородных земель. Масштабная ликвидация убыточных угольных предприятий вносит также значимый негативный вклад в дестабилизацию экологической безопасности на территории регионов. Техногенные факторы, инициированные производственными процессами в угольной отрасли, вызвали необходимость обеспечения комфортных экологических условий жизнедеятельности населения на основе минимизации

отрицательных воздействий на региональную среду обитания.

Значимость негативного воздействия производственно-хозяйственной деятельности предприятий на экологическую безопасность региональной природной среды инициировало масштабное развитие научных исследований по данной проблеме в России и за рубежом.

В рамках обоснования цели и задач авторского исследования приведем основные результаты аналитического обзора опубликованных научных работ по проблеме. Большое количество публикаций посвящено научно-техническому обоснованию безопасных технологических процессов при функционировании и ликвидации угольных шахт [3–8]. Основная проблема, которая значительно осложняет достижение поставленной цели, согласно опубликованным результатам, состоит в многофакторности и региональной специфике экологических рисков, которые сопровождают добычу угля. В связи с указанными обстоятельствами некорректная оценка негативных последствий с использованием существующих методик привела к чрезвычайным происшествиям регионального уровня, например, на шахтах Ростовской и Кемеровской областей [9–11]. Во многом недостоверные прогнозы экологической безопасности объясняются так называемой «научной неопределенностью» вследствие несовершенства теоретического аппарата прогнозирования.

В опубликованных научных работах представлены преимущественно результаты исследований воздействия отдельных техногенных факторов на региональную среду. Так, А.Е. Агапов, В.М. Еремеев, А.В. Мохов, Ю.А. Норватов, А.Н. Петров, Д.И. Савельев рассматривают только гидрогеологические аспекты влияния производственных процессов, что сужает круг вопросов, которые необходимо решить для получения полной объективной

информации [3, 9–11]. Другие ученые, в том числе А.С. Вознесенский, М.А. Иофис, М.Н. Красилов, N. Bilgin, H. Copur, J. Renner детально оценивают геомеханические явления в горном массиве [6, 7, 12, 13]. В публикациях В.И. Голика, С.А. Масленникова и Ю.И. Разоренова изложены подробные исследования влияния на природную среду объектов поверхностного комплекса шахт: породных отвалов, обогатительных фабрик, шламовых отстойников [1, 4].

Обобщая результаты анализа, можно указать, что практически отсутствуют работы, в которых системно изложена теория обоснования организационных и технических мероприятий по снижению комплексного экологического риска, обусловленного функционированием угледобывающего комплекса, в том числе методика разработки прогноза. По мнению авторов, построение эффективного прогноза экологической безопасности должны быть основано на детальном анализе всего спектра негативных техногенных факторов и их связей в соответствии методикой, описанной в [5].

Цель работы, заключающаяся в создании прогнозного комплекса, может быть достигнута только при комплексном решении таких экспериментально-теоретических задач, как:

- выявление основных техногенных факторов, определяющих параметры экологических последствий работы угольных шахт;
- ранжирование выявленных отрицательных процессов по уровню воздействия на динамику поведения угледобывающего массива;
- формирование рационального комплекса методов наблюдений за процессами;
- разработка критериев оценки негативного воздействия техногенных факторов на экологическую систему угледобывающего региона;

- формирование комплексной программы мероприятий по улучшению экологической ситуации.

### Методы исследований

Для выполнения «полевых» (подземных и поверхностных) измерений предложено использовать рациональный комплекс геофизических методов, сформированный по результатам анализа и обобщения материалов экспериментальных наблюдений. В стандартный перечень входят поисковые и картировочные методы, использующие электрические и сейсмоакустические поля. При этом на первой стадии выявляются возможные геофизические аномалии с использованием высокопроизводительных модификаций профилирования и просвечивания, затем оконтуриваются аномальные участки, потенциально связанные с нарушением строения геологической среды.

Конкретный набор определяется в зависимости от практической возможности прокладки измерительных профилей, определяемой горно-геологическими и горнотехническими условиями: наличием горных выработок, скважин и свободных от сооружений участков дневной поверхности. Как правило, аномальные участки обусловлены наличием в массиве горных пород (МГП) различных дефектов. Они в первую очередь подвергаются дальнейшим деформациям при разработке угольных месторождений. На практике эти техногенные каналы служат

путями выхода загрязненных шахтных вод и рудничных газов, нарушая экологическую безопасность региона. В результате нахождения с привлечением геофизических методов геометрических и физико-механических параметров аномальных участков по экспериментальным установленным соотношениям оценивается уровень экологической безопасности территории.

В связи с изложенным, основным методом при планировании и производстве геофизических исследований, а также интерпретации полученных результатов должен применяться интегрированный системный анализ (ИСА). Суть ИСА состоит в детальном изучении всех объектов МГП и дневной поверхности комплексом методов [5, 14–16]. Система элементов прогнозирования экологической безопасности изображена на рис. 1.

Эффективным приемом для формирования методики проведения исследований и интерпретации результатов авторам представляется использование статистических данных. Так, сопоставление прогнозных и фактических материалов позволяет разработать объективные критерии оценки параметров аномальных участков.

Высокий уровень надежности и достоверности прогноза безопасности достигается применением совместно с ИСА синтеза альтернатив, который является основной процедурой на этапе интерпретации и построения прогноза эко-

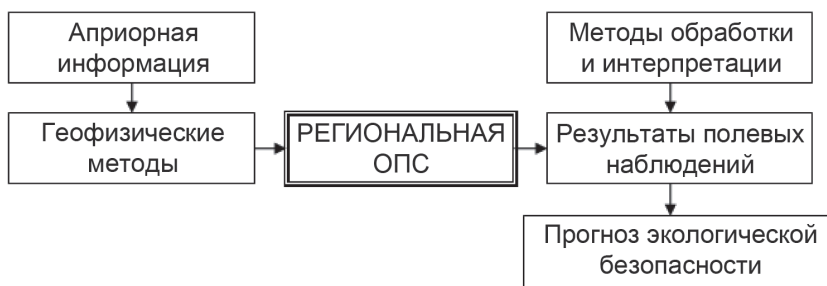


Рис. 1 Элементы системы прогнозирования экологической безопасности

Fig. 1. Elements of the forecasting system environmental safety



Рис. 2. Классификация задач принятия решений по различным факторам  
 Fig. 2. Classification of decision-making tasks by various factors

логической безопасности. Под альтернативой в контексте темы понимается так называемый «частный» прогноз, то есть вариант прогноза, разработанный с использованием результатов измерений, полученных одним методом.

При комплексных геофизических исследованиях формируется синтезированный прогноз, полученный на основе выбора оптимальной альтернативы. Процесс принятия итогового прогноза выполняется с использованием специальных задач (рис. 2).

Практика прогнозирования показывает, что результирующие параметры прогноза качественно выше при использовании множества критериев. Применение для построения прогноза экологической безопасности решения многокритериальных задач позволяет реализовать на практике алгоритм принятия решений, включающий следующие процедуры:

- формирование массива исходных данных;

- ретроспективный анализ рисков экологической ситуации;
- перспективное прогнозирование развития негативных событий;
- формирование комплексного решения.

Анализ существующих методов и реальных ситуаций в угледобывающих регионах показывает, для формирования прогноза возможно применение комплекса методов решения многокритериальных задач (рис. 3).

### Результаты исследований по разработке системы прогнозирования

Реализация цели настоящих научных исследований подразумевает разработку достоверного прогноза экологической безопасности для угледобывающего региона. В контексте изложения темы правомерно подчеркнуть, что объективный прогноз может быть представлен в форме оптимальной альтернативы, вы-

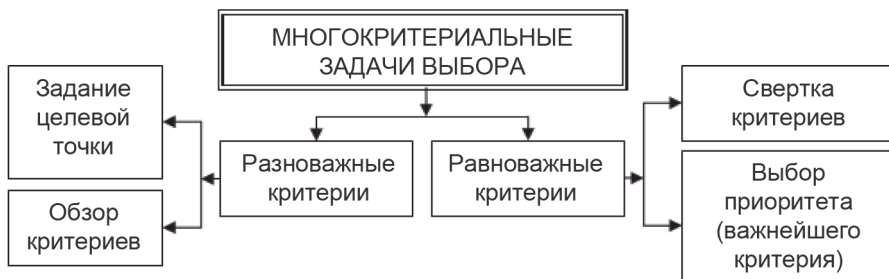


Рис. 3. Методы решения многокритериальных задач  
 Fig. 3. Methods for solving multicriteria problems

бранной на основе решения многокритериальных задач. Исходя из указанных соображений, авторами адаптирован к конкретным условиям алгоритм выбора оптимальных альтернатив, состоящий из логической последовательности аналитических процедур, которая изображена в виде блок-схемы на рис. 4.

Оптимальность выбора критерия обеспечивается алгоритмом, выполняемым в следующей последовательности:

- составление перечня критериев, определенных на основе предварительной укрупненной оценки, исходя из целевой функции;
- взвешивание выбранных критериев – определение «важности»;
- оценка вариантов решения с использованием каждого критерия;
- выполнение взвешенной оценки вариантов;
- выбор оптимального критерия.

Для оценки решения многокритериальных задач используется комплекс специальных критериев, в том числе критерий Вальда, критерий Гурвица, критерий Лапласа, критерий Сэвиджа [16]. При формировании оптимального комплекса критериев, по нашему мнению, следует учитывать такие требования, как полнота, операциональность, избыточность, минимальность и измеримость.

В связи с реальной сложностью решения многокритериальных задач для

упрощения процесса и повышения оперативности работ авторами предложено выполнять моделирование. При этом данная процедура сводится к нахождению решения, при котором процесс в результате позволит сформулировать один интегральный (обобщенный) показатель. Формирование модели принятия решений должно опираться на следующие базовые положения:

- модель должна быть построена корректно с позиции логики функционирования системы;
- описание модели должно содержать сведения о всех элементах задачи принятия решений и свойствах этих элементов;
- модель должна обеспечивать использование реальной информации, полученной от экспертов;
- структура модели должна быть удобной для анализа.

Предлагается выполнять многокритериальную оптимизацию по следующей схеме, разработанной на основе фундаментальной математической теории [17].

1. Требуется найти числа  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , удовлетворяющие системе ограничений

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

для которых функции

$$z_k = f_k(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad k = 1, 2, \dots, K$$

достигают максимального значения.

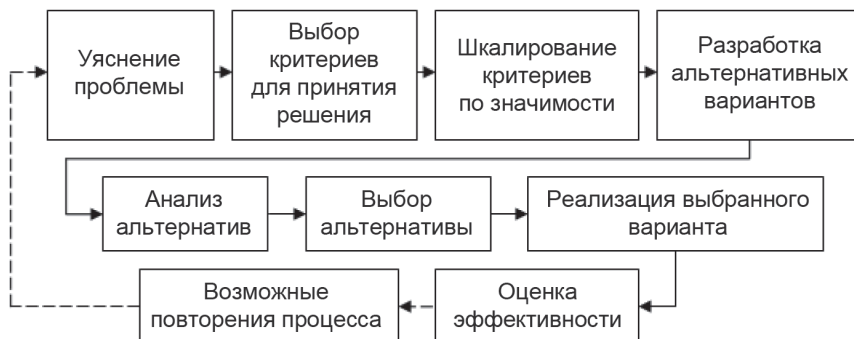


Рис. 4. Блок-схема выбора оптимальной альтернативы

Fig. 4. The block diagram of the selection of the optimal alternative

При этом множество точек  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  удовлетворяющих системе, образует допустимую область  $D \subset R^n$ . Элементы множества  $D$  представляют допустимые решения (альтернативы), а функции  $f_k, k = 1, 2, 3, \dots, K$  — критерии, заданные на множестве  $D$ . Целевые функции  $K$  отображают множество  $D \subset R^n$  во множество  $F \subset R^K$ .

2. В векторной форме математическую модель многокритериальной оптимизации записывается в форме

$$f(X) = (f_1(X), \dots, f_k(X)) \rightarrow \max \text{ при } X \in D$$

В приведенном выражении  $f(X)$  — вектор-функция аргумента  $X \in D$ .

3. Для стандартной ситуации прогнозирования, когда используются два метода, например, электроразведка и сейсморазведка, рассматривается решение системы, соответственно характеризующей два «методных» критерия прогнозируемого параметра (протяженности или расстояния аномальной зоны от дневной поверхности). При построении эффективной области для двух критериев математическая модель задачи имеет вид:

$$\begin{aligned} y_1 &= 2x_1 + x_2 \rightarrow \max, \\ y_2 &= 2x_1 + 3x_2 \rightarrow \max. \end{aligned}$$

При ограничениях:

$$\begin{aligned} x_1^2 + x_2^2 &\leq 100 \\ x_1 &\geq 0, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

4. Определяется множество точек, оптимальных по Парето. Допустимая область представляет собой четверть круга радиусом 10 единиц с центром в начале координат, расположенную в первом квадранте.

5. Находятся точки, оптимальные по критериям  $y_1$  и  $y_2$  в отдельности. Для этого строятся векторы, имеющие направления векторов  $P_1(2, 3)$  и  $P_2(2, 1)$ , а перпендикулярно им — линии уровня. По линиям уровня определяются оптимальные точки  $C$  и  $D$ , расположенные на

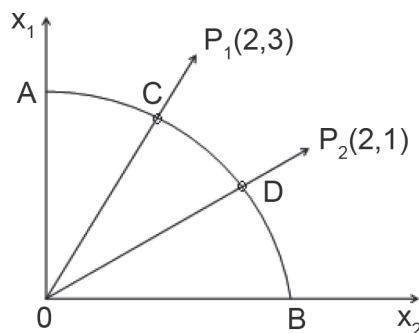


Рис. 5. Множество «Парето-оптимальных» точек  
Fig. 5. Set of «Pareto-optimal» points

окружности (рис. 5). Множество эффективных точек  $D_p$  (точек, оптимальных по Парето) расположено на дуге окружности  $CD$ .

6. Решается задача оптимизации по каждому критерию в отдельности. Используя графический метод, получим оптимальное решение по первому критерию  $X_1^* = (2; 0)$  и оптимальное решение по второму критерию  $X_2^* = (0; 1)$  в соответствии с рис. 6, а. На рис. 6, б изображено множество достижимости  $f_p$  и указаны значения  $y_{1\max}$  и  $y_{2\max}$ . Целевая функция является линейной, поэтому оптимальными будут все точки отрезка  $X_1^* X_2^*$ . Искомое оптимальное решение для двух критериев  $X_2^* = X_1^* = (2; 0)$ .

Критерии решения выбираются таким образом, чтобы они удовлетворяли требованию универсальности, то есть являлись общими для всего диапазона допустимых решений. При выполнении многокритериальной оптимизации критерии нормируются для удобства решения. Оперативное решение может быть получено при использовании специального авторского алгоритма, включающего 14 логически взаимосвязанных и последовательно выполняемых процедур в соответствии с таблицей.

Таким образом, при разработке и реализации методов многокритериальной оптимизации решены проблемы методического и вычислительного характера

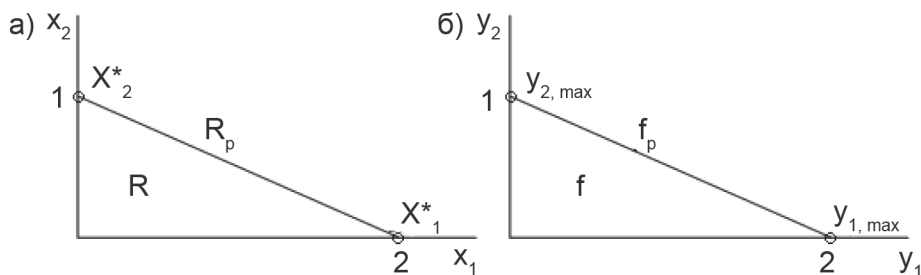


Рис. 6. Нахождение оптимального решения по двум критериям

Fig. 6. Finding the optimal solution by two criteria

такие, как нормализация критериев (масштабирование), выбор принципа оптимальности, определение приоритета критериев, вычисление оптимума.

В итоге выполняется задача многокритериальной оптимизации задачи принятия решений, исходя из принятых условий.

### Обсуждение результатов

Научно-методические разработки, представленные в статье, позволяют построить прогноз экологической безопасности угледобывающего региона. Необходимая информация, обеспечивающая принятие оптимального управленческого решения по формированию комфорт-

ных экологических условий для жизнедеятельности населения, получается в результате технико-экологической интерпретации аномальных зон, выявленных геофизическими методами. Верификация прогнозов, построенных с использованием изложенной методики, показывает корректность принятой рабочей гипотезы. Так, надежность прогнозных данных по результатам практической проверки 137 аномальных объектов составила 87%.

В рамках дальнейшего развития исследований по проблеме, рассмотренной в данной статье, планируется совершенствование методического аппарата анализа негативных процессов, воздей-

### Алгоритм формирования модели многокритериальных задач

#### Algorithm of formation of the model of multicriteria problems

№ процедуры	Содержание процедуры
1	Постановка задачи
2	Формирование множества допустимых вариантов решения
3	Комплексирование критериев
4	Разработка оценочных шкал критериальности
5	Анализ информации о предпочтениях ЛПР
6	Оценка допустимых вариантов решения по шкале критериальности
7	Формулирование решающего правила
8	Упорядочение допустимых вариантов решения
9	Оценка результатов упорядочения
10	Анализ степени качества упорядочения
11	Анализ причин неудовлетворительных результатов упорядочения
12	Корректировка процесса упорядочения
13	Оценка полученных результатов на соответствие поставленных задач
14	Возможная повторная итерация



ствующих на экологию ОПС и повышение качества перспективного прогнозирования. В частности, авторы считают насущной необходимостью разработку комплекса компьютерных программ для критериальной оценки.

### Заключение

Системный подход к перспективному прогнозированию экологической безопасности в пределах угледобывающих регионов с привлечением авторской методологии позволил:

- определить основные факторы негативного воздействия производствен-

ных процессов на население и окружающую природную среду;

- сформировать комплекс геофизических методов исследования ОПС;
- разработать методику интерпретации результатов и построения комплексных прогнозов на основе выбора оптимальной альтернативы с привлечением методики решения многокритериальных задач.

Важно указать, что эколого-экономическая эффективность данной разработки подтверждена практикой использования при закрытии угольных шахт на территории Ростовской области [5].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Белодедов А. А., Логачев А. В. Экономический ущерб от реструктуризации горных предприятий Донбасса. Сборник научных трудов. — Краснодар, 2017. — С. 37–45.

2. Молев М. Д., Масленников С. А., Занина И. А., Илиев А. Г. Оценка воздействия процессов ликвидации угольных шахт на экологическую ситуацию в Российском Донбассе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 329. № 7. — С. 148–156.

3. Норватов Ю. А., Савельев Д. И., Яшина А. В. Гидрогеологическое обеспечение горных работ при разработке угольных месторождений подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 8. — С. 23–28.

4. Belodedov A. A., Golik V. I., Zaalishvili V. B., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. Restructuring results of Donbass coal mining enterprises // The Social Sciences. — 2016. — Vol. 11. — No.16. — Pp. 4035–4039.

5. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. — No. 16, September. — Pp. 6787–6792.

6. Bilgin N., Copur H., Balci C. Mechanical excavation in mining and civil industries. CRC Press, 2013. — 353 p.

7. Gattinoni P., Pizzarotti E., Scesi L. Engineering Geology for Underground Works. Heidelberg, Springer, 2014, 312 p.

8. Merkulova V. A., Bogoliubova A. A. Analysis and estimation of the ecological risk resulting from negative man-made activities by means of end-to-end modeling // Man in India. — 2017. — Vol. 97. — No. 3. — pp. 163–173.

9. Агапов А. Е. Эколого-экономический мониторинг ликвидации последствий закрытия особо убыточных угольных шахт (разрезом) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 5. — С. 15–31.

10. Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса / Под ред. В. М. Еремеева. — Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2001. — 280 с.

11. Мохов А. В. Оценка прорывоопасности очистной выемки каменноугольных пластов с обрушением кровли под водными объектами (по материалам подработки затопленных выработок) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 2. — С. 47–54.

12. Voznesenskii A. S., Kutkin Ya. O., Krasilov M. N., Komissarov A. A. Predicting fatigue strength of rocks by its interrelation with the acoustic quality factor // International Journal of Fatigue — 2015. — Vol. 77. — pp. 186–193.

13. Renner J., Hettkamp T., Rummel F. Rock mechanical characterization of an argillaceous host rock of a potential radioactive waste repository // Rock Mechanics and Rock Engineering. — 2000. — 33(3). — pp. 153–178.

14. Sornette D., Maillart T., Kroger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems / Risk Center, Zurich, 2013. — URL: <http://arxiv.org/pdf/1207.5674.pdf>.
15. Mu A., Liu Q., Tao H., Du Zh., Li, K., Xiao K. A new method of deliverability prediction by steady point in gas wells // *Petroleum*. — 2016. — Vol. 2. — pp. 183–188.
16. Силич В.А., Силич М.П. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / Под ред. А.А. Цыганковой. — Томск: ТПУ, 2011. — 276 с. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208568> (дата обращения 15.09.2018).
17. Молев М.Д. Управление рисками, системный анализ и моделирование: учебное пособие. — Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, 2018. — 125 с. **ПЛАБ**

## REFERENCES

1. Golik V.I., Razorenov Yr.I., Belodedov A.A., Logachev A.V. *Ekonomicheskiy ushcherb ot restrukturizatsii gornyykh predpriyatiy Donbassa. Sbornik nauchnykh trudov* [Economic losses from the restructuring of mining enterprises. Collection of scientific papers]. Krasnodar, 2017, pp. 37–45.
2. Molev M.D., Maslennikov S.A., Zanina I.A., Iliev A.G. Assessment of coal mines liquidation impact on ecological situation in the Russian Donbass. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2018. Vol. 329, no 7, pp. 148–156. [In Russ].
3. Norvatov Yu.A., Savel'ev D.I., Yashina A.V. Hydrogeological provision of mining operations in the development of coal deposits by underground mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 8, pp. 23–28. [In Russ].
4. Belodedov A.A., Golik V.I., Zaalishvili V.B., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P. Restructuring results of Donbass coal mining enterprises. *The Social Sciences*. 2016. Vol. 11. No. 16. Pp. 4035–4039.
5. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015. No. 16, September. Pp. 6787–6792.
6. Bilgin N., Copur H., Balci C. *Mechanical excavation in mining and civil industries*. CRC Press, 2013. 353 p.
7. Gattinoni P., Pizzarotti E., Scesi L. *Engineering Geology for Underground Works*. Heidelberg, Springer, 2014, 312 p.
8. Merkulova V.A., Bogoliubova A.A. Analysis and estimation of the ecological risk resulting from negative man-made activities by means of end-to-end modeling. *Man in India*. 2017. Vol. 97. No. 3. pp. 163–173.
9. Agapov A.E. Ecological and economic monitoring the aftermath of the closure of particularly unprofitable coal mines (cuts). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008, no 5, pp. 15–31. [In Russ].
10. *Ekologicheskiy monitoring likvidatsii neperspektivnykh shakht Vostochnogo Donbassa*. Pod red. V.M. Eremeeva [Environmental monitoring of liquidation of unpromising mines of Eastern Donbass. Eremeev V.M. (Ed.)]. Shakhty, Izd-vo YURO AGN, 2001, 280 p.
11. Mokhov A.V. Assessment of the break-through hazard of the treatment dredging of coal seams with the collapse of the roof under water bodies (based on the materials of the flooded workings). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 2, pp. 47–54. [In Russ].
12. Voznesenskii A.S., Kutkin Ya.O., Krasilov M.N., Komissarov A.A. Predicting fatigue strength of rocks by its interrelation with the acoustic quality factor. *International Journal of Fatigue*. 2015. Vol. 77. pp. 186–193.
13. Renner J., Hettkamp T., Rummel F. Rock mechanical characterization of an argillaceous host rock of a potential radioactive waste repository. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2000. 33(3). pp. 153–178.
14. Sornette D., Maillart T., Kroger W. *Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems*. Risk Center, Zurich, 2013. URL: <http://arxiv.org/pdf/1207.5674.pdf>.
15. Mu A., Liu Q., Tao H., Du Zh., Li, K., Xiao K. A new method of deliverability prediction by steady point in gas wells. *Petroleum*. 2016. Vol. 2. pp. 183–188.
16. Силич В.А., Силич М.П. *Теория систем и системный анализ: учебное пособие*. Под ред. А.А. Тсыганковой [Systems theory and system analysis: Educational aid. Tsygankova A.A. (Ed.)], Tomsk, TPU, 2011, 276 p. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208568> (accessed 15.09.2018).
17. Молев М.Д. *Управление рисками, системный анализ и моделирование: учебное пособие* [Risk management, systems analysis and modeling: Educational aid], Shakhty, ISOiP (filial) DGТУ v g. Shakhty, 2018, 125 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Молев Михаил Дмитриевич<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор,  
e-mail: 2play\_rnd14716@aaanet.ru,

Армейсков Виталий Николаевич<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент,

Голодов Максим Александрович<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент,

<sup>1</sup> Институт сферы обслуживания и сферы предпринимательства (филиал)  
Донского государственного университета.

Для контактов: Молев М.Д., e-mail: 2play\_rnd14716@aaanet.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.D. Molev<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: 2play\_rnd14716@aaanet.ru,

V.N. Armeiskov<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

M.A. Golodov<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

<sup>1</sup> Institute of Service Sector and Entrepreneurship (branch) of Don State University,  
346500, Shakhty, Russia.

Corresponding author: M.D. Molev, e-mail: e-mail: 2play\_rnd14716@aaanet.ru.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ С ГИДРОТРАНСПОРТОМ КЕРНА НА ОСНОВЕ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ЗАБОЕ СКВАЖИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ БУРОВЫХ УСТАНОВОК (2018, № 12, СБ 53, 32 С.)

Беклемишев Александр Михайлович — аспирант,

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,

Будюков Юрий Евдокимович — доктор технических наук, главный научный сотрудник, АО «Тульское НИГП».

Рассмотрено изменение мощности на забое скважины и углубления коронки за один оборот во времени. Установлено, что энергоёмкость при бурении наиболее полно отражает процесс разрушения породы. Разработана конструкция эффективной коронки для бурения в твердых и перемежающихся по твердости горных породах, приведены результаты стендовых испытаний новых коронок при бурении по блокам горных пород. Даны рациональные значения режимных параметров при бурении новыми алмазными коронками. Предложен метод симуляционного моделирования для более точного определения потерь активной мощности. В качестве среды стимуляционного моделирования использован программно-моделирующий комплекс MATLAB (Simulink). Установлено, что полученная величина удельного расхода электроэнергии с помощью структурного моделирования в программе на моделирующем комплексе меньше аналогичной, полученной по методике ВИЭМС. Разработана математическая модель электропривода буровой установки, применение которой позволило оценить влияние неисправных электропотребителей на затраты электроэнергии при проведении буровых работ.

### IMPROVING EFFICIENCY OF DRILLING WITH HYDRAULIC TRANSPORT OF THE CORE ON BASIS OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION AT WELL BOTTOM AND ELECTRIC DRIVE OF DRILLING RIGS

Beklemishev A.M., Graduate Student, Russian State Geological Prospecting University  
named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia,

Budyukov Yu.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, JSC «Tula NIGP», Tula, Russia.

The change in the power at the bottom of the well and the deepening of the crown per revolution in time is considered. It is established that the energy intensity during drilling most fully reflects the process of rock destruction. Developed the design of effective drill bits for drilling in solid and alternating in hardness rocks, the results of bench tests of new bits for drilling through blocks of rocks, The rational values of the operating parameters during the drilling of the new diamond drill bits. An analysis of research on modeling the nature of the wear of diamond bits for drilling of the SCC. The method of simulation modeling for more accurate determination of active power losses is proposed. Software-modeling complex MATLAB (Simulink) was used as a simulation environment. It is found that the obtained value of the specific energy consumption by structural modeling in the program on the modeling complex is less than the similar one obtained by the method of RES. A mathematical model of the electric drive of the drilling rig, the use of which allowed to assess the impact of faulty power consumers on the cost of electricity during drilling operations.