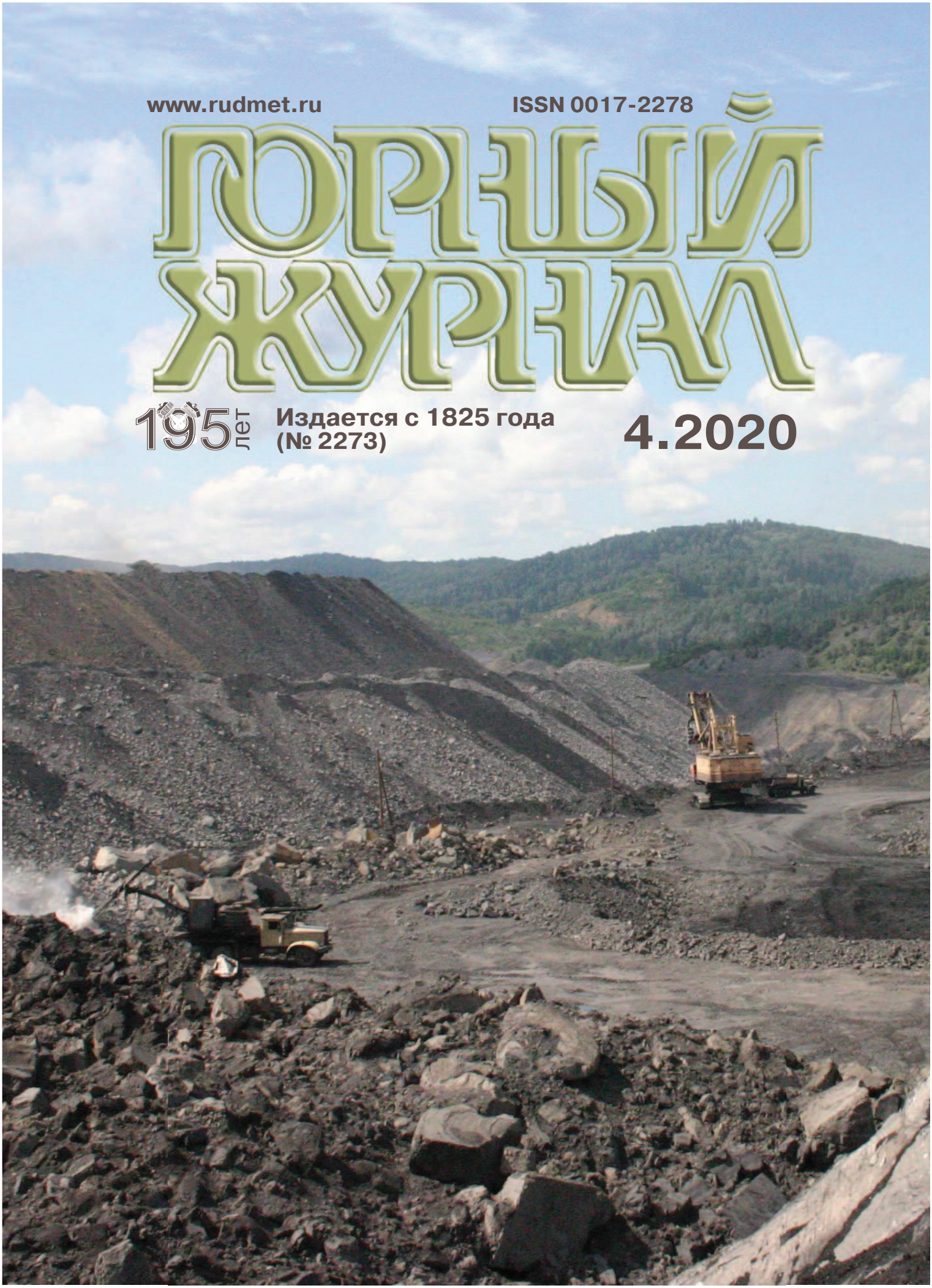
www.rudmet.ru ISSN 0017-2278

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

195 лет Издается с 1825 года (№ 2273)

4.2020



Основан в 1825 году
при Горном кадетском корпусе

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Ежемесячный научно-технический
и производственный журнал

№ 4 (2273)
АПРЕЛЬ 2020

Базовый печатный орган Межправительственного совета стран СНГ по разведке, использованию и охране недр

Официальный информационный орган Федерального УМО «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия»

Журнал выпускается при участии: АК «АЛРОСА» (ПАО), АО «Апатит», ПАО «ГМК «Норильский никель», НПК «Механобр-техника» (АО)

При содействии: ФГБУН ИПКОН РАН, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Государственного предприятия «Навоийский ГМК», НП «Горнопромышленники России», Государственного Эрмитажа

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:

Акционерное общество «Издательский дом «Руда и Металлы», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Автономная некоммерческая организация «Информационный телеканал «Хибины ТВ»

Председатель правления «Горного журнала» Л. А. Вайсберг

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Л. А. Пучков (главный редактор), В. В. Адушкин, В. Ж. Аренс, А. А. Барях, О. С. Брюховецкий, Л. А. Вайсберг, Н. Г. Валиев, В. А. Винников (руководитель секции «Физика горных пород и процессов»), А. Г. Воробьёв (зам. главного редактора), Л. Д. Гагут (руководитель секции «Экономика, управление, недропользование»), Ж. К. Галиев, В. А. Ерёменко, Б. Н. Заровняев, В. Н. Захаров, В. П. Зубов, И. В. Зырянов, П. А. Игнатов, С. А. Ильин, О. И. Казанин, Н. О. Каледина (руководитель секции «Охрана труда и окружающей среды»), Д. Р. Каплунов (руководитель секции «Разработка месторождений и горно-строительные работы»), Е. А. Козловский (руководитель секции «Сырьевая база»), Г. Л. Краснянский, С. В. Кривовичев, В. С. Литвиненко, А. Б. Макаров, Ю. Н. Малышев, О. Н. Мальгин, О. С. Мисников, Д. В. Пастихин, В. Л. Петров (руководитель секции «Образование и кадровое обеспечение горной промышленности»), Г. Г. Пивняк, В. С. Святецкий, И. О. Темкин, Е. М. Титиевский, С. М. Ткач, К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия (руководитель секции «Переработка и комплексное использование полезных ископаемых»), А. Н. Шабаров, Е. Е. Шешко (руководитель секции «Горное оборудование, электроснабжение и автоматизация»), Т. И. Юшина, А. Б. Яновский

РУКОВОДИТЕЛИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ В СТРАНАХ И РЕГИОНАХ:

Азим Иброхим (Таджикистан), С. С. Арзуманян (Армения), Ю. И. Волков (КМА, Россия), С. Вуйич (Сербия), И. И. Головатый (Беларусь), О. А. Одеков (Туркменистан), И. Ю. Рассказов (Дальневосточный регион, Россия), У. Д. Рыскулов (Кыргызстан) И. Б. Табакман (Канада), А. Г. Твалчрелидзе (Грузия), Л. И. Тотев (Болгария), Ф. Уолл (Великобритания), А. Ф. Цеховой (Казахстан), К. С. Санакулов (Кызылкумский регион, Узбекистан), М. Эрикссон (Швеция), З. Дж. Эфендиева (Азербайджан), В. Л. Яковлев (Средний и Полярный Урал, Россия)

Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» по разработке месторождений твердых полезных ископаемых, экономике, энергетике

Журнал входит в Международные реферативные базы данных SCOPUS и CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE

© Оформление. АО «Издательский дом «Руда и Металлы», «Горный журнал», 2020

Подписные индексы:
в каталоге агентства «Роспечать» – 73075
в объединенном каталоге «Пресса России» – 45343

РЕДАКЦИЯ:

зам. главного редактора А. Г. Воробьёв,
ведущий редактор Л. Е. Костина,
редактор В. А. Елистратова
младший редактор М. А. Крутикова
консультант по горному делу С. А. Ильин,
менеджер по рекламе Н. И. Колыхалова,
специалист по допечатной подготовке Д. И. Воробьёва

Издатель – АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., д. 6, строение 2, НИТУ «МИСиС», оф. 622

Адрес редакции: 119049, Москва, Ленинский просп., д. 6, стр. 2 НИТУ «МИСиС», оф. 619
Тел.: +7 (499) 236-10-62
Эл. почта: gornjournal@rudmet.ru

Почтовый адрес: 119049, Москва, а/я № 71

Отдел рекламы:
Тел/факс: +7 (499) 236-11-86
Эл. почта: reklama@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Горный журнал»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) **(Свидетельство ПИ № ФС77–76119 от 24.06.2019 г.)**

Товарный знак и название «Горный журнал» являются исключительной собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»

Отпечатано в типографии ООО «Буки Веди»
Адрес типографии: 115093, г. Москва, Партийный переулок, д. 1, корп. 58, стр. 3, пом. 11

Подписано в печать с оригинал-макета 25.04.2020

Дата выхода в свет: 30.04.20
Формат 60×90/8. Печ. л. 12

Печать офсетная. Бумага мелованная
Тираж 3000 экз. Цена свободная

- За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель
- За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор
- Все материалы, поступающие в редакцию, строго рецензируются и рассматриваются на заседаниях соответствующих секций и редакционной коллегии
- Мнение редакции может не совпадать с позицией авторов статей, опубликованных в журнале
- Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции
- При перепечатке ссылка на «Горный журнал» обязательна
- За сроки размещения опубликованных статей в базе данных Scopus редакция ответственности не несет

ISSN 0017-2278
9 770017 227004 >

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Копытов А. И., Рогова Т. Б., Шаклеин С. В. Оценка ожидаемых погрешностей геометризации угольных месторождений на стадиях разведки и эксплуатации **4**

СЫРЬЕВАЯ БАЗА

Гальцева Н. В., Лаломов А. В., Шарыпова О. А. Условия и перспективы добычи олова на Северо-Востоке России **10**

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

Горбатова Е. А., Колесатова О. С., Романько Е. А., Смяткин А. Н. Геомеханический мониторинг за состоянием земной поверхности и деформациями бортов карьеров **16**

Быкадоров А. И., Дегтярев Д. Н., Смирнов С. А., Печенегов О. Ю. Определение мульды сдвижений при отработке прибортовых запасов комплексом глубокой разработки пластов Талдинского месторождения Кузбасса **21**

Коссович Е. Л., Эпштейн С. А., Добрякова Н. Н., Минин С. Г. Структурные особенности и механические свойства антрацита, метаантрацита и графита **25**

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Филимонова И. В., Комарова А. В., Проворная И. В., Мишенин М. В. Изменение структуры сырьевой базы нефти как фактор, определяющий доходы федерального бюджета **30**

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Галкин А. Ф., Курта И. В., Панков В. Ю. Оценка длительности периода временной консервации золотодобывающих рудников криолитозоны **37**

Клишин В. И., Анферов Б. А., Кузнецова Л. В. Повышение эффективности отработки мощных пологих пластов за счет подготовки угольного массива подкровельной толщи к выпуску **41**

ПЕРЕРАБОТКА И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Иванова В. А., Митрофанова Г. В. Оптимизация состава и способа применения регуляторов для селективной флотации апатитсодержащих руд **45**

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Соболев А. А. Анализ опыта применения беспилотных карьерных самосвалов **51**

Захаров В. Н., Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б. Оптимизация параметров исполнительных органов угледобывающих машин **55**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО. АВТОМАТИЗАЦИЯ

Кубрин С. С., Решетняк С. Н. Расчет удельных норм электропотребления для выемочных участков угольных шахт **62**

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

Смирнов В. Г., Дырдин В. В., Опарин В. Н. Роль разложения газовых гидратов в формировании внезапных выбросов угля и газа **65**

Патраков Ю. Ф., Семенова С. А. Исследование дисперсного состава угольной пыли методом лазерной дифракции **71**

Петров И. В., Васин А. А., Вартанов С. А. О возможности совершенствования системы производственного контроля на угледобывающих предприятиях с использованием инструментария теории игр **76**

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Чмыхалова С. В. О реабилитации окружающей среды, нарушенной горным производством **81**

КУЛЬТУРА

Басова Т. И. В. И. Ленин. Казанские хроники (к 150-летию со дня рождения) **86**

ЮБИЛЕИ

Юбилей конструкторской службы БЕЛАЗа: следуя мировым тенденциям (интервью с генеральным конструктором Белорусского автомобильного завода А. Н. Егоровым) **89**

РЕКЛАМА

На обложке:
АО «Боровичский завод «Полимермаш»
«Уголь России и Майнинг-2020» – XXVII Международная специализированная выставка технологий горных разработок

На цветной вкладке:
ООО СТЛЦ «БЕЛАЗ-УРАЛ»
Егоров А. Н. Новый лидер класса
«МАЙНЕКС-2020» – 16-й горно-геологический форум

“GORNYI ZHURNAL”/“MINING JOURNAL” 4 (2273) • 2020

MONTHLY SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

The basic edition of the Intergovernmental council of CIS countries in exploration, usage and protection of the earth bowels

The journal has been published since 1825 at Mining military school

With participation of “ALROSA” PJSC, “Apatit” JSC, PJSC “MMC “NORILSK NICKEL”, “Mekhanobr-Technica” JSC
With assistance of IPKON RAN, Ural State Mining University, State enterprise Navoi mining and metallurgical works, “Gornopromyshlenniki Rossii” non-commercial partnership, State Hermitage Museum
Founders: “Ore & Metals” Publishing house, National University of Science and Technology “MISiS”, Autonomous Noncommercial Organization “TV News Channel “Khibiny TV”

Publisher: “Ore & Metals” publishing house
Phone/fax: +7 (495) 638-45-18
E-mail: rim@rudmet.com

Chairman of the managing board: **Leonid Vaisberg**
Editor-in-Chief: **Lev Puchkov**
Deputy Editor-in-Chief: **Alexander Vorobiev**
Mining consultant: **Sergey Il’yin**

Leading editor: **Lyudmila Kostina**
Editor: **Vera Elistratova**
Junior editor: **Margarita Krutikova**
Advertising manager: **Natalia Kolykhalova**
Responsible for pre-printing work: **Daria Vorobyeva**

Actual address: Moscow, Leninsky prospekt 6 bld. 2, office 619
Mailing address: Russia, 119049, Moscow, P.O. Box # 71
Phone/fax: +7 (499) 236-10-62, +7 (499) 236-11-86
E-mail: gornjournal@rudmet.com
Internet: www.rudmet.com

Printed in Buki Vedi, LLC

CONTENTS

GEOLOGY OF MINERALS

Kopytov A. I., Rogova T. B., Shaklein S. V. Evaluation of expected errors in geometrization of coal deposits at the stage of exploration and operation **4**

RAW MATERIAL BASE

Galtseva N. V., Lalomov A. V., Sharypova O. A. Tin production in Northeastern Russia: Conditions and prospects **10**

PHYSICS OF ROCKS AND PROCESSES

Gorbatova E. A., Kolesatova O. S., Romanko E. A., Smyatkin A. N. Geomechanical monitoring of ground surface and pit wall deformations **16**

Bykadorov A. I., Degtyarev D. N., Smirnov S. A., Pechenegov O. Yu. Identification of displacement zone in extraction of coal reserves from pit wall by highwall mining systems in the Talda deposit in Kuzbass **21**

Kossovich E. L., Epshtein S. A., Dobryakova N. N., Minin M. G. Structural features and mechanical properties of anthracite, metaanthracite and graphite **25**

ECONOMY, ORGANIZATION AND MANAGEMENT

Filimonova I. V., Komarova A. V., Provornaya I. V., Mishenin M. V. Structural change in oil reserve asset management as a factor of federal budget income **30**

DEVELOPMENT OF DEPOSITS

Galkin A. F., Kurta I. V., Pankov V. Yu. Estimate of temporal abandonment period for gold mines in the permafrost area **37**

Klishin V. I., Anferov B. A., Kuznetsova L. V. Improving mining efficiency in thick gently dipping coal seams by means of top coal pre-treatment **41**

PROCESSING AND COMPLEX USAGE OF MINERAL RAW MATERIALS

Ivanova V. A., Mitrofanova G. V. Optimization of composition and application methods of modifying agents for the selective flotation of apatite-bearing ore **45**

EQUIPMENT AND MATERIALS

Sobolev A. A. Review of case history of unmanned dump trucks **51**

Zakharov V. N., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zhabin A. B. Parametric optimization of cutting tools of coal mining machines **55**

POWER SYSTEM MANAGEMENT. AUTOMATION

Kubrin S. S., Reshetnyak S. N. Calculation of specific norms of power consumption for the dredging areas of coal mines . . . **62**

INDUSTRY SAFETY AND LABOUR PROTECTION

Smirnov V. G., Dyrdin V. V., Oparin V. N. Role of decomposition of gas hydrates in coal and gas outbursts **65**

Patrakov Yu. F., Semenova S. A. Analysis of particle size distribution in coal dust by laser diffraction **71**

Petrov I. V., Vasin A. A., Vartanov S. A. Improvement feasibility of production control in coal mining using the Game Theory apparatus **76**

ENVIRONMENTAL PROTECTION

Chmykhalova S. V. Environmental reclamation of post-mining areas **81**

УДК 622.33:622.8

О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ТЕОРИИ ИГР

И. В. ПЕТРОВ[1], *проф., д-р экон. наук*
А. А. ВАСИН[2], *проф., д-р физ.-мат. наук*
С. А. ВАРТАНОВ[2], *доцент, канд. физ.-мат. наук, sergvart@gmail.com*

[1] *Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия*
[2] *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

Предложена двухуровневая система контроля за соблюдением техники безопасности на добычных участках угольных шахт с обоснованием основных параметров системы и затрат на ее функционирование на основе инструментария теории игр.

Ключевые слова: *угольная шахта, добычной участок, правила безопасности, производственный контроль, шахтный инспектор, производительность труда, теория игр, мотивация, моделирование, экономическая эффективность.*
DOI: *10.17580/gzh.2020.04.15*

Введение

Важность угольной промышленности для современной экономики сложно переоценить. При добыче угля особое значение имеет обеспечение безопасных и экономически эффективных условий труда. Аварии на шахтах являются причиной гибели людей, приводят к тяжелым социальным последствиям, нарушают производственный ритм работы. В то время как смертельные риски на одного шахтера за год в США и России несущественно различаются между собой, и производительность труда непосредственно на добычных участках также постепенно выравнивается, показатели общей производительности труда и число погибших на 100 млн т добычи все же примерно в 7,5 и 14 раз хуже американских [1, 2]. Это обусловлено значительным превышением списочного состава над явочной численностью работников на угольных шахтах России и задействованным персоналом, занятым производственным контролем.

На отечественных угледобывающих предприятиях сформировалась ситуация, когда до 60 % выполняемых работ сопровождаются отклонениями от технико-технологических регламентов и нарушениями требований охраны труда и промышленной безопасности. Поэтому в последние годы растет число исследований, посвященных изучению нарушений требований безопасности и способам сокращения их количества для повышения уровня безопасности производства [2–4].

Происходящие нарушения и отклонения от технологического регламента работ обусловлены обстоятельствами, вынуждающими работников нарушать требования безопасности в процессе выполнения своей трудовой функции. Однако без устранения обстоятельств и причин, вызывающих несоблюдение требований безопасности, нарушения неизбежно повторяются. Безусловно, в последние годы в вопросе повышения безопасности труда в российской индустрии добычи угля наметился ощутимый прогресс за счет совместных усилий государства, академических и отраслевых научных центров, вузовской науки, проектных организаций и горнопромышленников (комплексный план научных исследований «Безопасность горных работ», реализуемый совместно учреждениями РАН и профильными университетами). Активно решаются проблемы организации обеспечения кадровых потребностей предприятий угольной отрасли горными инженерами для работы в условиях междисциплинарности и цифровизации [5, 6].

Смертельный травматизм в долгосрочной перспективе снижается как в абсолютных, так и в относительных значениях. В целом по отрасли число травм со смертельным исходом на 1 млн т добычи угля снижено с одного случая в 1993 г. до 0,07 в последние годы – почти в 14 раз. Тем не менее, несмотря на успехи последних лет, высокий уровень риска возникновения крупных аварий по-прежнему сохраняется. Отмечается цикличность масштабных аварий с большим числом погибших в статистике травматизма прошлых лет [2]. Согласно отчетам Ростехнадзора, бóльшая часть последних аварий происходила в основном по организационным причинам: из-за неэффективности или отсутствия производственного контроля, нарушения правил безопасности, технологической и трудовой дисциплины, неосторожных или несанкционированных действий исполнителей работ. Подобные выводы характерны не только для России, но и для ряда других стран-лидеров угледобычи (например, Австралии [4]).

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что в повышении надежности современных рудников и шахт решающая роль принадлежит уровню профессиональной специализации и мотивированности людей, занятых на производстве. При примерно одинаковом уровне технологического оснащения российских угольных шахт и их зарубежных конкурентов на первый план выходит именно организационно-мотивационная компонента обеспечения безопасности производства, и именно она начинает оказывать наибольшее влияние на уровень производительности труда и экономическую эффективность. По пути обеспечения роста мотивированности горнорабочих на высокопроизводительные и безопасные способы ведения работ по основным производственным процессам идут ведущие угледобывающие компании [7–9].

Теоретико-игровой подход к моделированию деятельности угольного предприятия

Общим выводом из анализа статистики аварий на угледобывающих предприятиях является осознание необходимости

© Петров И. В., Васин А. А., Вартанов С. А., 2020

дальнейшего совершенствования системы обеспечения безопасности. В первую очередь необходимо перейти от эмпирических построений к теоретически обоснованным моделям организации контроля выполнения требований технологической дисциплины, техники безопасности и охраны труда на горном предприятии. В качестве математического аппарата для построения такой модели используются теоретико-игровые принципы проектирования экономических и социальных механизмов, восходящие к работам Э. Маскина, Р. Майерсона и Л. Гурвица [10–12]. Применимость теоретико-игровых моделей для описания и построения системы контроля безопасности на горнодобывающих предприятиях обосновывается тем, что персонал предприятия является коллективом индивидов, поведение каждого из которых можно интерпретировать как максимизацию некоторой внутренней полезности. Основная идея дизайна механизмов состоит в том, что необходимо создать для людей такие условия, чтобы для них наиболее выгодным (в смысле равновесия Нэша [13, 14]) поведением являлось то, которое необходимо центру, принимающему решения. Добиться этого можно, выбирая механизмы экономического и административного стимулирования горнорабочих, линейных руководителей, инженеров по технике безопасности, инспекторского состава, а также за счет создания иерархической системы контроля, включающей несколько уровней проверок. Применение подобных моделей не потребует технического переоснащения производств, изменению может подвергнуться институциональная часть организации контроля безопасности, а также методы размещения и статусы технических средств контроля.

Исходя из вышеизложенных особенностей, разрабатываемая теоретико-игровая модель должна удовлетворять ряду требований. Она должна позволять рассчитывать для конкретных предприятий оптимальную структуру инспекции, стратегии проведения проверок, схему наказания нарушителей, а также заработную плату инспекторов разных уровней. Модель должна учитывать возможность сговора на любых уровнях инспекции, кроме наивысшего, а на основании результатов модельных расчетов должно обеспечиваться подавление его возможности административно-экономическими методами. Модель должна иметь возможность учета дополнительных типов управленческих решений и динамических изменений в поведении моделируемых агентов. Модель должна допускать возможность учета дополнительных типов поведения работников и изменения в структуре персонала (например, перемещений бригад между предприятиями и внутришахтные уровни мобильности сотрудников).

Описанным требованиям удовлетворяет иерархическая модель организации инспекции, изначально предложенная А. А. Васиным и успешно зарекомендовавшая себя в задачах выбора оптимальной структуры инспекций, оплаты труда, премирования и наказания как в горной промышленности [15], так и в других отраслях (налогообложение, госуправление [16]). В работе [15], описывающей процедуру оптимизация системы контроля соблюдения техники безопасности на угледобывающем предприятии, были исследованы возможности применения иерархической модели организации контролирующей структуры для решения задачи повышения безопасности на горнодобывающем предприятии, показана целесообразность подобного подхода при соблюдении ряда условий, которые были учтены при построении модели. Это позволило смоделировать расчет оптимальной нормы порогового содержания метана с позиции повышения прибыли и снижения аварийности. Рассматриваемые модели позволяют создать эффективную систему контроля за соблюдением нормы порогового содержания метана в зависимости от условий оплаты труда.

Обсуждаемая в настоящей работе иерархическая модель инспекции родственна модели из работы [17], однако предусматривает введение независимого контрольного звена. Как уже указывалось ранее, для минимизации рисков авторы рассматривают гипотетически худшие сценарии – возможность «условного сговора». Для исключения возможности соглашения между проверяемыми и инспекторами промежуточных уровней необходима проверка внешними по отношению к проверяющей структуре инспекторами – доверенными лицами руководства (представителями высшего звена управления). Работу внешних инспекторов можно дополнить инструментальными средствами контроля, не подконтрольными инспекторам низших уровней. В частности, речь может идти о скрытой установке переносных приборов контроля в местах, не доступных для представителей среднего и младшего звена управления и рабочих. Таким образом, под проверкой внешним инспектором можно понимать не только его непосредственный спуск в забой, но и создание соответствующей системы наблюдения, подконтрольной только ему либо полностью автоматической. В качестве инспекторов первого уровня выступают лица, ответственные за соблюдение техники безопасности и представляющие собой среднее звено управления (например, начальники участков).

Математическая постановка задачи об инспекторах и производственном контроле

В настоящей работе рассматриваются две модели организации инспекции. Первая модель основана на предположении, что наказание нарушителей и вступивших с ними в сговор инспекторов осуществляется путем взимания денежного штрафа в фиксированном размере. Во второй рассматриваемой модели вводится альтернативный способ наказания, связанный с возможностью увольнения сотрудников-нарушителей и вступающих с ними в сговор инспекторов первого уровня.

Предположим, что соблюдение правил техники безопасности обеспечивает максимальную среднюю прибыль на предприятии (с учетом ожидаемых потерь в случае аварии), и руководство заинтересовано в отсутствии нарушений нормы. Внешний контроль может осуществляться как дистанционно при помощи оборудования (датчики, камеры видеонаблюдения), так и личной проверкой на месте. В обоих случаях у проверяемых сотрудников есть возможность уклонения от желаемого руководством поведения. Если проверка носит полностью инструментальный характер и осуществляется дистанционно, то существует опасность сознательного повреждения контролирующего оборудования либо некорректной его установки для фальсификации показаний. Таким образом, для того чтобы инструментальная система внешнего контроля была эффективной, необходимо сделать ее недоступной для проверяемых работников. Если же проверка

связана с личным посещением участка работ внешним инспектором, то проблема возникает, если работники будут заранее оповещены о его приезде. Далее будем полагать, что руководство может организовать внезапную проверку и выявить все нарушения, однако организация такой проверки требует существенных затрат. Расходы на организацию внешней проверки значительны и сопоставимы с уровнем зарплаты топ-менеджера угольной компании за соответствующее время, необходимое для одной проверки.

В качестве главного нарушения техники безопасности рассматривается работа при повышенной концентрации метана в атмосфере выработки. В качестве примера можно привести взрывы на шахтах «Ульяновская» (ныне «Усковская») 19 марта 2007 г. и «Юбилейная» 27 мая 2007 г.

Пусть инспекция состоит из двух уровней. В модели такой инспекции есть три обобщенных агента: выступающая как единый субъект бригада (агент нулевого уровня), инспектор первого уровня и внешний инспектор – доверенное лицо руководства. Инспектор первого уровня находится непосредственно в забое. Затраты на проверку первого уровня состоят только из зарплаты инспектора и не зависят от того, позволяет ли уровень концентрации метана вести работу. Все рабочее время делится на периоды, в каждый из которых концентрация метана превышает допустимый техникой безопасности уровень с некоторой вероятностью, и может быть проведена проверка шахты внешним инспектором. Вероятность такой проверки является стратегией руководства.

В случае выявления нарушений инспектор первого уровня и бригада наказываются штрафами. Внешний инспектор является доверенным лицом руководства и никогда не вступает в сговор с бригадой и инспектором первого уровня. Доход бригады напрямую зависит от изменения концентрации метана в шахте. В случае допустимого уровня метана бригада получает повышенный доход, при остановке работ – пониженный.

Результаты и всестороннее рассмотрение вопроса

Исследование подходов к управлению затратами и финансовыми результатами на предприятиях угольной промышленности свидетельствует о неизбежности существенных расходов на обеспечение инспекционного контроля и мотивированности персонала на соблюдение всех технологических требований и правил [18]. В отношении минимизации издержек существует возможность одноуровневой инспекции, где бригада подвергается внешней проверке без привлечения инспекторов первого уровня (руководители среднего звена освобождаются от ответственности за соблюдение их подчиненными техники безопасности). Как показали расчеты, в случае нарушения техники безопасности только при высоком уровне метана стратегия обеспечения безопасности устойчива тогда и только тогда, когда вероятность инспекции выше или равна отношению разницы повышенного дохода бригады при допустимом уровне метана и пониженного дохода при остановке работ к сумме штрафов бригады и инспектора.

При постоянных нарушениях техники безопасности стратегия устойчива к отклонениям коалиции тогда и только тогда, когда вероятность инспекции выше или равна отношению, скорректированной на величину вероятности превышения концентрации метана допустимого уровня, разницы повышенного дохода бригады при допустимом уровне метана и пониженного дохода при остановке работ к сумме штрафов бригады и инспектора при нарушении.

Теперь рассмотрим в качестве основного дисциплинарного взыскания не фиксированный штраф, а увольнение. Согласно статье 192 ТК РФ [19], за совершение дисциплинарного проступка работодатель имеет право применить к работнику дисциплинарное взыскание, к которым относится увольнение в случае нарушения требований охраны труда, если это нарушение повлекло за собой тяжкие последствия либо заведомо создавало реальную угрозу наступления таких последствий (ТК РФ, статья 81 [19]). Каждый субъект производственного процесса осознает, что в случае увольнения он будет получать меньшую зарплату и оценивает размер своего ущерба, учитывая будущие недополученные доходы. С этой точки зрения увольнение можно также рассмотреть, как своего рода штраф. В частности, для бригадира разовый штраф, эквивалентный увольнению, рассчитывается как приведенная посредством коэффициента дисконтирования будущих потоков доходов потеря в заработной плате. Аналогично для инспектора такой разовый штраф рассчитывается с учетом ожидаемой зарплаты инспектора после увольнения на уровне среднего регионального размера.

Предложенный подход позволяет рассчитать коэффициенты оплаты труда бригадира и инспектора соответственно с учетом оптимальной вероятности проверки внешним инспектором. Это позволяет рассчитать общие затраты на организацию инспекции при оптимальной вероятности проверки.

Задача выбора оптимальной зарплаты для среднего управленческого звена

Ранее считалось, что у бригадира и шахтового инспектора одинаковые коэффициенты дисконтирования. Тем не менее это было довольно сильным упрощением. Как сотрудник низшего звена управления бригадир может рассчитывать, что в случае увольнения из-за нарушения его уровень подготовки и универсальность его компетенций как бригадира позволит ему достаточно быстро найти работу с меньшим, но все же сравнимым уровнем заработка. В то же время инспектором первого уровня, как правило, является представитель среднего управленческого звена, компетенции которого, в отличие от бригадира, уже достаточно специфичны, а заработок заметно выше бригадирского. В случае увольнения инспектору попасть на такую же работу проблематично. Таким образом, у инспектора значительно больший коэффициент приведения: после наложения на него взыскания его относительные потери в доходе более существенны, чем у бригадира. Такой подход позволяет рассчитать эффективный разовый штраф для инспектора и затраты на организацию инспекции.

Основным узким местом рассматриваемого подхода было предположение, что единственным типом нарушений техники безопасности является игнорирование повышенного уровня загазованности. На угольных шахтах регулярно происходит большое число более мелких аварий, возникших из-за нарушений иных типов, зачастую даже напрямую не связанных с максимизацией сиюминутного дохода. Стратегия поведения бригадира

в модифицированной модели определяется тем, как он реагирует на нарушения различного рода членами его бригады. Допустим, все возможные ситуации, в которых может быть нарушена техника безопасности, пронумерованы от 1 до N. Формально для любого множества нарушений $R \subset \{1, \ldots, N\}$ может быть определена S_R-стратегия, при которой бригадир пресекает нарушения правил техники безопасности в ситуациях $i \in R$ и игнорирует в ситуациях $i \notin R$. В такой записи стратегия S_I соответствует полностью правильному поведению бригадира, пресекающему любые нарушения.

Непосредственно около места проведения работ находится инспектор первого уровня, он в любой момент может проверить соблюдение техники безопасности и прекратить нарушения. Стратегия внешнего инспектора задается константой p, которая характеризует интенсивность проверок: за время t среднее число проверок составляет pt. При проверке выявляются все нарушения техники безопасности. Если было выявлено нарушение типа i, и на бригадира, и на инспектора первого уровня накладываются штрафы в размерах f_{bri} и f_{insi} соответственно.

Все ситуации нарушения характеризуются следующими показателями: d_i^1 – средняя доля времени, которое занимает устранение нарушения типа i; d_i^2 – средняя доля времени, которое может работать бригада в условиях нарушения типа i, если его не устранять. Как и в базовой модели, бригада получает доход V_H при игнорировании нарушения, а при правильном поведении – более низкий (из-за необходимости приостановки работ для устранения нарушения) V_L. Для каждого типа нарушений $i \in I$ математическое ожидание ущерба в случае его устранения составляет $d_i^1 \cdot (V_H - V_L)$, в то время как при игнорировании бригадиром нарушений $d_i^2 \cdot p \cdot f_{bri}$. Если бригада и инспектор первого уровня совместно игнорируют нарушение, то математическое ожидание потери их коалиции оценивается как $d_i^2 \cdot p \cdot (f_{bri} + f_{insi})$.

В модифицированной модели справедливы аналоги всех утверждений, полученных для базовых моделей. В частности, стратегия внешней проверки устойчива к отклонениям коалиции тогда и только тогда, когда $p \geq p^* \stackrel{def}{=} (V_H - V_L)\max\dfrac{d_i^1}{i(f_{br} + f_{ins})d_i^2}$.

Оптимальная стратегия проверок, устойчивая к коалиционным отклонениям, задается вероятностью p^*, f_{br} и f_{ins} – размеры штрафов бригадира и инспектора первого уровня соответственно.

На основании предлагаемого подхода можно провести численное моделирование равновесного поведения всех участников обобщенной модели инспекции с разными коэффициентами приведения у инспектора и бригадира. Эти зависимости позволяют сделать парадоксальный на первый взгляд вывод и рекомендовать необходимость усиления проверочной активности с ростом зарплат бригадира, т. е. увеличение дохода бригадира/мастера не ведет, как кажется очевидным, к снижению его мотивированности допускать нарушения. Это обусловлено действующей системой оплаты труда, когда сдельно-премиальная составляющая за объемы выполненных бригадой горных работ превалирует над условно-постоянной величиной.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлена зависимость мотивированности работников на соблюдение требований безопасности ведения горных работ и устойчивости системы производственного контроля на угольной шахте от уровня дохода участников производственно-инспекционного процесса и действующей системы оплаты труда. Предлагаемый подход позволяет на основе дополнительно проводимых исследований для шахт, характеризующихся конкретными условиями труда, выявить наиболее эффективное соотношение различных форм оплаты труда с учетом обеспечения мотивированности работников.

Заключение

В настоящей работе с использованием методов теории оптимизации и теории игр представлены методические подходы к моделированию организации эффективного контроля соблюдения техники безопасности на угольной шахте. В моделях учтены возможные риски, формируемые всеми участниками производственного и инспекционного процессов. В результате анализа этих моделей найден метод построения оптимальной структуры инспекции в зависимости от характеристик предприятия.

В различных технико-экономических ситуациях с учетом возникновения рисков сговора оптимальными могут быть одно или двухуровневые системы контроля. При этом подразумевается, что контроль первого уровня осуществляется постоянно при помощи инспекторов и управляемых этими инспекторами технических средств. Контроль второго уровня осуществляется с заданной вероятностью специализированной инспекцией с возможным применением специальных технических систем.

Предложенные в работе модели позволяют в дальнейшем осуществлять модификацию с позиции динамики во времени, а также возможности учета в модели дополнительных типов управленческих решений (ротация бригад, изменения в структуре персонала) и поведения работников (разные уровни их мобильности).

По итогам проведенного исследования можно сформулировать ряд практических рекомендаций по организации контроля техники безопасности и предотвращения чрезвычайных происшествий. В частности, контроль соблюдения техники безопасности рекомендуется возложить на двухуровневую инспекцию. Первый уровень инспекции состоит из работников, ответственных за соблюдение техники безопасности на самих добычных участках, непрерывно ведущих наблюдение за рабочими. Проверка внешними инспекторами, таким образом, должна включать в себя не только непосредственный спуск в забой, но и создание соответствующей системы наблюдения, подконтрольной только представителям высшего звена управления либо полностью автоматической. Сама проверка должна проводиться случайным образом, а интенсивность ее должна соответствовать вероятностям, рассчитанным в соответствии с изложенным подходом.

Одним из наиболее перспективных направлений дальнейших исследований является построение динамической модификации модели, учитывающей расширенную стратегию руководства (с возможностью ротации бригад). Предварительный анализ такой модели показал большие практические возможности в повышении управляемости ситуацией в сфере охраны труда. Отмечено снижение затрат на возможно применимые схемы организации контроля и, как следствие, – повышение его эффективности.

Библиографический список

1. Mining Safety / World Coal Association, 2019. URL: https://www.worldcoal.org/coal/coal-mining/mining-safety (дата обращения: 19.12.2019).
2. *Vartanov A. Z., Petrov I. V., Fedash A. V.* Risk-oriented provision of mining operations safety at the enterprises of mineral resources sector in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 206. 012014. DOI: 10.1088/1755–1315/206/1/012014
3. *Баскаков В. П., Галкин П. А., Полещук М. Н.* Математическое моделирование влияния нестабильности производственного процесса на его эффективность // ГИАБ. 2007. Спец. выпуск 17. Безопасность угледобычи. С. 264–270.
4. Mine safety regulatory reform / NSW. URL: https://www.resourcesregulator.nsw.gov.au/safety-and-health (дата обращения: 19.12.2019).
5. *Мясков А. В., Попов С. М., Казаков В. Б., Босова Е. В.* Проблемы и перспективы организации обеспечения кадровых потребностей предприятий угольной отрасли // Уголь. 2014. № 10. С. 86–91.
6. *Мясков А. В.* Будущее горных инженеров: работа в условиях междисциплинарности и цифровизации // Горный журнал. 2018. № 2. С. 13–17.
7. *Markulik Š., Cehlár M., Kozel R.* Process approach in the mining conditions // Acta Montanistica Slovaca. 2018. Vol. 23. No. 1. P. 46–52.
8. *Shuck B., Roberts T. P., Zigarmi D.* Employee Perceptions of the Work Environment, Motivational Outlooks, and Employee Work Intentions: An HR Practitioner's Dream or Nightmare? // Advances in Developing Human Resources. 2018. Vol. 20. Iss. 2. P. 197–213.
9. *Tohidi H.* The role of risk management in IT systems of organizations // Procedia Computer Science. 2011. Vol. 3. P. 881–887.
10. *Myerson R. B.* Mechanism design by an Informed Principal // Econometrica: Journal of the Econometric Society. 1983. Vol. 51(6). P. 1767–1797.
11. *Hurwicz L.* The Design of Mechanisms for Resource Allocation // The American Economic Review. 1973. Vol. 63. No. 2. P. 1–30.
12. *Maskin E. S.* Mechanism Design: How to Implement Social Goals // The American Economic Review. 2008. Vol. 98. No. 3. P. 567–576.
13. *Nash J. F.* Equilibrium points in *n*-person games // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1950. Vol. 36. Iss. 1. P. 48–49.
14. *Nash J.* Non-Cooperative Games // Annals of Mathematics. 1951. Vol. 54. No. 2. P. 286–295.
15. *Васин А. А., Козырева Е. А., Тюленева А. С.* Оптимизация системы контроля соблюдения техники безопасности на угледобывающем предприятии // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2017. № 5. С. 60–66.
16. *Гринберг Р. С., Ахунов Р. Р., Володин А. И., Губарев Р. В., Дзюба Е. И.* Новая (смешанная) система оплаты труда российских госслужащих «по результатам» // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2018. Т. 11. №. 6. С. 163–183.
17. *Уразов А. С.* Оптимальные параметры иерархических контролирующих структур // Вестник Московского университета. Сер. 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2013. № 1. С. 15–20.
18. *Харитонова Т. В., Швандар Д. В.* Исследование подходов к управлению затратами и финансовыми результатами на предприятиях угольной промышленности в условиях трансформации мирового рынка угля // Уголь. 2019. № 4. С. 30–35.
19. Трудовой кодекс Российской Федерации : принят Государственной Думой от 21.12.2001 № 197-ФЗ (с изм. на 16.12.2019). URL: http://docs.cntd.ru/document/901807664 (дата обращения: 15.01.2020). ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 4, pp. 76–80
DOI: 10.17580/gzh.2020.04.15

Improvement feasibility of production control in coal mining using the Game Theory apparatus

Information about authors
I. V. Petrov [1], Professor, Doctor of Economic Sciences
A. A. Vasin [2], Professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences
S. A. Vartanov [2], Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, sergvart@gmail.com
[1]Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia
[2]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract
The article presents approaches to modeling efficient control over adherence to safety standards in coal mines using the Optimization Theory and Game Theory methods. The models take into account potential risks generated by the participants of the production and inspection processes. The modeling has produced the method of optimized inspection structuring depending on the mine performance.
In different technical and economic situations, considering risk of conspiracy, the single-level and two-level systems of control are optimal. The first level control is performed continuously, by inspectors and equipment operated by them. The second level control is implemented at an assigned probability, by special inspectorate, with possible use of specialized equipment.
The models proposed in this study also allow time dynamics modification and consideration of supplementary managerial decisions (turnover of crews, staffing re-structuring) and personnel behavioral patterns (various level mobility).
Based on the implemented research findings, some practical recommendations can be formulated for the operational safety control and accident prevention. In particular, it is recommended to supervise adherence to safety standards by the two-level inspection. The first level is personnel responsible for the continuous supervision of miners and operating safety in the extraction areas. Thus, the off-site inspection includes visiting and supervision of extraction areas and creation of the surveillance system only controllable by the higher level management or totally automated. The auditing should be unscheduled and at a rate to fit probabilities calculated in accordance with the presented approach.
Keywords: coal mine, extraction area, safety standards, production control, mine inspector, labor productivity, Game Theory, motivation, modeling, economic efficiency.

References
1. Mining Safety. World Coal Association, 2019. Available at: https://www.worldcoal.org/coal/coal-mining/mining-safety (accessed: 19.12.2019).
2. Vartanov A. Z., Petrov I. V., Fedash A. V. Risk-oriented provision of mining operations safety at the enterprises of mineral resources sector in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 206. 012014. DOI: 10.1088/1755–1315/206/1/012014
3. Baskakov V. P., Galkin P. A., Poleshchuk M. N. Mathematical modeling of instability impact on efficiency of production. *GIAB*. 2007. Special issue 17. Safety of coal mining. pp. 264–270.
4. Mine safety regulatory reform. NSW. Available at: https://www.resourcesregulator.nsw.gov.au/safety-and-health (accessed: 19.12.2019).
5. Myaskov A. V., Popov S. M., Kazakov V. B., Bosova E. V. Problems and Prospects of Assurance of HR Demands in Coal Industry Facilities. *Ugol*. 2014. No. 10. pp. 86–91.
6. Myaskov A. V. The future of mining engineers: interdisciplinary and digitization work. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 2. pp. 13–17.
7. Markulik Š., Cehlár M., Kozel R. Process approach in the mining conditions. *Acta Montanistica Slovaca*. 2018. Vol. 23, No. 1. pp. 46–52.
8. Shuck B., Roberts T. P., Zigarmi D. Employee Perceptions of the Work Environment, Motivational Outlooks, and Employee Work Intentions: An HR Practitioner's Dream or Nightmare? *Advances in Developing Human Resources*. 2018. Vol. 20, Iss. 2. pp. 197–213.
9. Tohidi H. The role of risk management in IT systems of organizations. *Procedia Computer Science*. 2011. Vol. 3. pp. 881–887.
10. Myerson R. B. Mechanism design by an Informed Principal. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1983. Vol. 51(6). pp. 1767–1797.
11. Hurwicz L. The Design of Mechanisms for Resource Allocation. *The American Economic Review*. 1973. Vol. 63, No. 2. pp. 1–30.
12. Maskin E. S. Mechanism Design: How to Implement Social Goals. *The American Economic Review*. 2008. Vol. 98, No. 3. pp. 567–576.
13. Nash J. F. Equilibrium points in *n*-person games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1950. Vol. 36, Iss. 1. pp. 48–49.
14. Nash J. Non-Cooperative Games. *Annals of Mathematics*. 1951. Vol. 54, No. 2. pp. 286–295.
15. Vasin A. A., Kozyreva E. A., Tyuleneva A. S. Optimization of the occupational safety compliance control (OSCC) system at a coal mining enterprise. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2017. Vol. 56, No. 5. pp. 810–817.
16. Grinberg R. S., Akhunov R. R., Volodin A. I., Gubarev R. V., Dzyuba E. I. Performance-Based Pay – a New (Mixed) Payment Scheme for Russian Civil Servants. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2018. Vol. 11, No. 6. pp. 163–183.
17. Urazov A. S. Optimum parameters of hierarchical control structures. *Moscow University Computational Mathematics and Cybernetics*. 2013. Vol. 37, No. 1. pp. 14–20.
18. Haritonova T. V., Shvandar D. V. Research approaches to the management of costs and financial results at the enterprises of the coal industry in the context of the transformation of the global coal market. *Ugol*. 2019. No. 4. pp. 30–35.
19. Available at: http://docs.cntd.ru/document/901807664 (accessed: 15.01.2020).