

ОСНОВАН В 1925 ГОДУ

ISSN 0041-5790

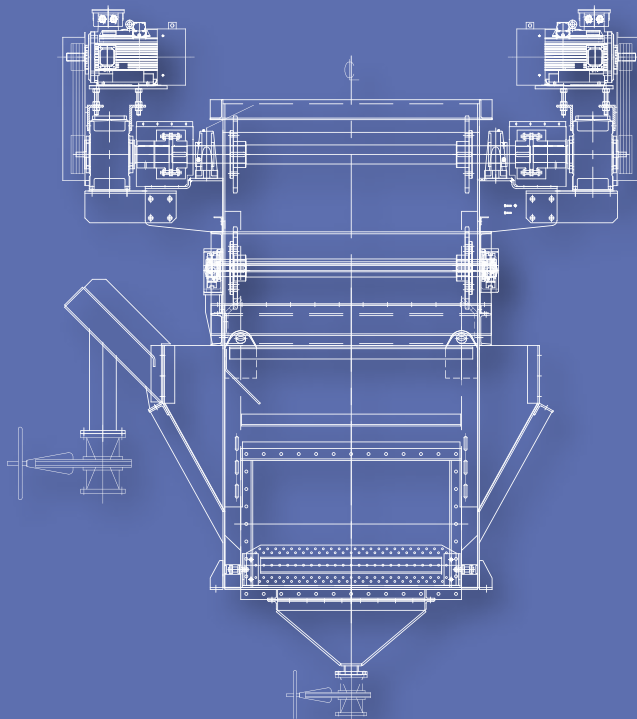
**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ** НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ **ЖУРНАЛ**

# УГОЛЬ

МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

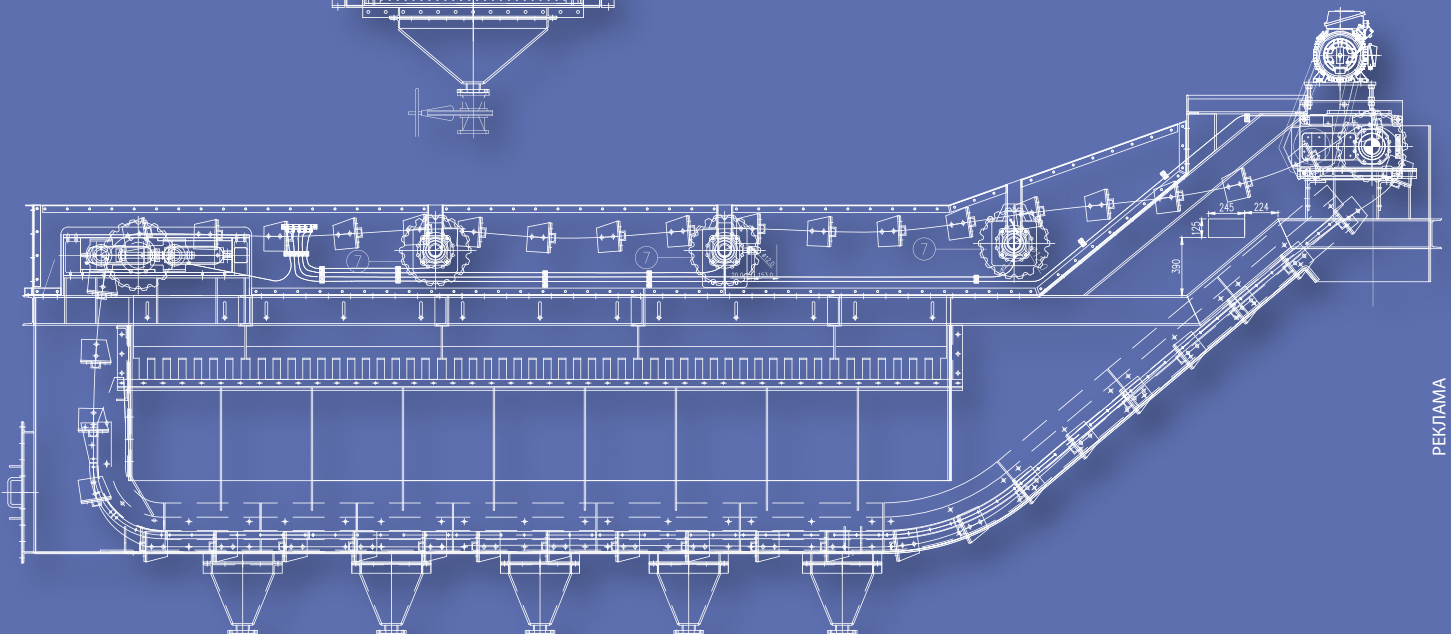
[WWW.UGOLINFO.RU](http://WWW.UGOLINFO.RU)

## 2-2019



 **AURY**

**ТЯЖЕЛОСРЕДНЫЕ  
СЕПАРАТОРЫ**



РЕКЛАМА

[auryrus.ru](http://auryrus.ru)

подробнее на стр. 58-59



**4-7 июня 2019**  
**Новокузнецк / Россия**

XXVI Международная специализированная выставка  
технологий горных разработок



# **УГОЛЬ и МАЙНИНГ** **РОССИИ**

X Международная специализированная выставка

## **ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

V Международная специализированная выставка

## **НЕДРА РОССИИ**

Организаторы



уголь



руды



промышленные минералы



охрана и безопасность труда

**МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:**

Выставочный комплекс "Кузбасская ярмарка", ул. Автотранспортная, 51, г. Новокузнецк

т./ф: 8 (3843) 32-11-89, 32-22-22 e-mail: [com@kuzbass-fair.ru](mailto:com@kuzbass-fair.ru)

[www.ugolmining.ru](http://www.ugolmining.ru)



**Главный редактор**  
**ЯНОВСКИЙ А.Б.**

Заместитель министра энергетики  
Российской Федерации,  
доктор экон. наук

**Зам. главного редактора**  
**ТАРАЗАНОВ И.Г.**

Генеральный директор  
ООО «Редакция журнала «Уголь»,  
горный инженер, чл.-корр. РАЭ

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**АРТЕМЬЕВ В.Б.**, доктор техн. наук

**ВЕРЖАНСКИЙ А.П.**,

доктор техн. наук, профессор

**ГАЛКИН В.А.**, доктор техн. наук, профессор

**ЗАЙДЕНВАРГ В.Е.**,

доктор техн. наук, профессор

**ЗАХАРОВ В.Н.**, чл.-корр. РАН,

доктор техн. наук, профессор

**КОВАЛЬЧУК А.Б.**,

доктор техн. наук, профессор

**ЛИТВИНЕНКО В.С.**,

доктор техн. наук, профессор

**МАЛЫШЕВ Ю.Н.**, академик РАН,

доктор техн. наук, профессор

**МОХНАЧУК И.И.**, канд. экон. наук

**МОЧАЛЬНИКОВ С.В.**, канд. экон. наук

**ПЕТРОВ И.В.**, доктор экон. наук, профессор

**ПОПОВ В.Н.**, доктор экон. наук, профессор

**ПОТАПОВ В.П.**,

доктор техн. наук, профессор

**ПУЧКОВ Л.А.**, чл.-корр. РАН,

доктор техн. наук, профессор

**РОЖКОВ А.А.**, доктор экон. наук, профессор

**РЫБАК Л.В.**, доктор экон. наук, профессор

**СКРЫЛЬ А.И.**, горный инженер

**СУСЛОВ В.И.**, чл.-корр. РАН, доктор экон.

наук, профессор

**ЩАДОВ В.М.**, доктор техн. наук, профессор

**ЩУКИН В.К.**, доктор экон. наук

**ЯКОВЛЕВ Д.В.**, доктор техн. наук, профессор

#### Иностранные члены редколлегии

Проф. **Гюнтер АПЕЛЬ**,

доктор техн. наук, Германия

Проф. **Карстен ДРЕБЕНШТЕДТ**,

доктор техн. наук, Германия

Проф. **Юзеф ДУБИНЬСКИ**,

доктор техн. наук, чл.-корр. Польской

академии наук, Польша

**Сергей НИКИШИЧЕВ**, комп. лицо FIMMM,

канд. экон. наук, Великобритания, Россия,

страны СНГ

Проф. **Любен ТОТЕВ**,

доктор наук, Болгария

## ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в октябре 1925 года

#### УЧРЕДИТЕЛИ

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ»

#### ФЕВРАЛЬ

2-2019 /1115/

# УГОЛЬ

## СОДЕРЖАНИЕ

### БЕЗОПАСНОСТЬ

Глинина О.И.

Второй Международный форум «Российская энергетическая неделя» \_\_\_\_\_ 4

Син С.А., Портола В.А., Игишев В.Г.

Повышение безопасности и эффективности использования азота для борьбы с самовозгоранием угля в выработанном пространстве шахт \_\_\_\_\_ 11

Новоселов С.В., Голик А.С., Попов В.Б.

Определение вероятности взрывов метана в очистных забоях сверхкатегорных угольных шахт в условиях радикального увеличения нагрузок – превентивная мера безопасности \_\_\_\_\_ 15

### ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ

Левченко Я.В.

Опыт формирования отвальных массивов во внутренних контурах крупных угольных месторождений \_\_\_\_\_ 20

АО ХК «СДС-Уголь»

Мировым рекордом производительности труда завершили год горняки разреза «Черниговец» \_\_\_\_\_ 22

АО «СУЭК»

Бригада экскаватора на Восточно-Бейском разрезе установила мировой рекорд годовой производительности \_\_\_\_\_ 24

### ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

Нургалиев Е.И., Майоров А.Е., Черепов А.А.

Опыт комплексной изоляции горных выработок шахт Распадской угольной компании. Шахта «Распадская-Коксовая» – часть I \_\_\_\_\_ 25

Ботвенко Д.В., Казанцев В.Г., Ли Хи Ун

Управление состоянием массива у круговых выработок с учетом нелинейно-упругого поведения горных пород \_\_\_\_\_ 31

### ГОРНЫЕ МАШИНЫ

Лукьяненко В.А.

Способ безлюдной выемки полезных ископаемых \_\_\_\_\_ 37

### ЭКОНОМИКА

Плаkitкина Л.С., Плаkitкин Ю.А.

Новые сценарии развития экономики России: оценка цен и финансово-экономических показателей развития угольной промышленности до 2025 года (окончание) \_\_\_\_\_ 40

Степанов О.А.

Криминологическая оценка потенциальных угроз безопасности объектов угольной промышленности в условиях цифровизации \_\_\_\_\_ 47

### РЕСУРСЫ

Пряткина В.С.

Защита от коррозии и загрязнений поверхностей нагрева котла-утилизатора, входящего в энергетический комплекс малой мощности на основе бинарного ORC-цикла Ренкина \_\_\_\_\_ 49

Данилов А.П.

Опыты Резерфорда и механика Данилова, определяющие поглощение энергии взрыва \_\_\_\_\_ 53

### ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ

Греку В.С.

Тяжелосредние сепараторы AURY \_\_\_\_\_ 58

**ООО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ»**

119049, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 2А, офис 819  
Тел.: +7 (499) 237-22-23  
E-mail: ugol1925@mail.ru  
E-mail: ugol@land.ru

**Генеральный директор**

**Игорь ТАРАЗАНОВ**  
**Ведущий редактор**

**Ольга ГЛИНИНА**  
**Научный редактор**

**Ирина КОЛОБОВА**

**Менеджер**

**Ирина ТАРАЗАНОВА**

**Ведущий специалист**

**Валентина ВОЛКОВА**

ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи и массовых коммуникаций.  
Свидетельство о регистрации  
средства массовой информации  
ПИ № ФС77-34734 от 25.12.2008

**ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН**

в Перечень ВАК Минобразования и науки РФ  
(в международные реферативные базы  
данных и системы цитирования) –  
по техническим и экономическим наукам  
Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,647  
(без самоцитирования – 0,528)  
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,385  
(без самоцитирования – 0,313)

ЖУРНАЛ ПРЕДСТАВЛЕН  
в Интернете на веб-сайте

**www.ugolinfo.ru**  
**www.ugol.info**

и на отраслевом портале  
«РОССИЙСКИЙ УГОЛЬ»

**www.rosugol.ru**

**НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:**

Ведущий редактор **О.И. ГЛИНИНА**  
Научный редактор **И.М. КОЛОБОВА**  
Корректор **В.В. ЛАСТОВ**  
Компьютерная верстка **Н.И. БРАНДЕЛИС**

Подписано в печать 01.02.2019.

Формат 60x90 1/8.

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 11,0 + обложка.

Тираж 5100 экз.

Тираж эл. версии 1600 экз.

Общий тираж 6700 экз.

Отпечатано:

ООО «РОЛИКС»

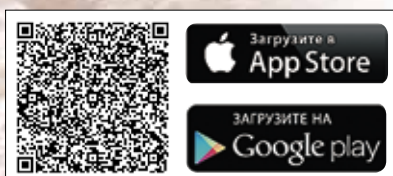
117218, г. Москва, ул. Кржижановского, 31

Тел.: (495) 661-46-22;

www.roliksprint.ru

Заказ № 61580

Журнал в **App Store** и **Google Play**

**ХРОНИКА**

**Хроника. События. Факты. Новости** \_\_\_\_\_ **60**

**КАЧЕСТВО УГЛЕЙ**

Сафонов А.А., Маусымбаева А.Д., Портнов В.С., Парафилов В.И., Коробко С.В.  
**Анализ возможного использования углей месторождения Шубарколь  
при выплавке технического кремния** \_\_\_\_\_ **68**

**НЕДРА**

Агафонов В.В.  
**Интегральный подход к процессу подготовки ТЭО кондиций** \_\_\_\_\_ **73**  
Алиев С.Б., Захаров В.Н., Кенжин Б.М., Смирнов Ю.М.  
**Адаптивный метод вибрационно-сейсмического воздействия  
на повышение эффективности подземного выщелачивания металлов** \_\_\_\_\_ **76**

**ЭКОЛОГИЯ**

Зеньков И.В., Морин А.С., Рагозина М.А., Анищенко Ю.А., Жукова В.В.  
**Результаты исследования лесной рекультивации с посадкой ели сибирской  
на породных отвалах угольного разреза «Бородинский»** \_\_\_\_\_ **81**

**ЗА РУБЕЖОМ**

**Зарубежная панорама** \_\_\_\_\_ **85**

**ЮБИЛЕИ**

**Копылов Константин Николаевич (к 50-летию со дня рождения)** \_\_\_\_\_ **86**  
**Рудаков Олег Юрьевич (к 60-летию со дня рождения)** \_\_\_\_\_ **87**  
**Закиров Данир Галимзянович (к 80-летию со дня рождения)** \_\_\_\_\_ **88**

**Список реклам:**

AURY	1-я обл.	НПП Завод МДУ	19
Уголь России и Майнинг 2019	2-я обл.	МУФТА ПРО	23
Требования к рукописям	3-я обл.	Выставка МАЙНЭКС Казахстан 2019	57
НПФ Гранч	4-я обл.		

\* \* \*

**Журнал «Уголь» входит**

в международные реферативные базы данных и систем цитирования

**SCOPUS, GeoRef, Chemical Abstracts****Журнал «Уголь» является партнером CROSSREF**

Редакция журнала «Уголь» является членом Международной ассоциации по связям издателей / Publishers International Linking Association, Inc. (PILA).

Всем научным статьям журнала присваиваются Digital Object Identifier (DOI).

**Журнал «Уголь» является партнером EBSCO**

Редакция журнала «Уголь» имеет соглашение с компанией EBSCO Publishing, Inc. (США). Все публикации журнала «Уголь» с 2016 г. входят в базу данных компании EBSCO Publishing (www.ebsco.com), предоставляющей свою базу данных для академических библиотек по всему миру. EBSCO имеет партнерские отношения с библиотеками на протяжении уже более 70 лет, обеспечивая содержание исследований качества, мощные технологии поиска и интуитивные платформы доставки.

**Журнал «Уголь» представлен в «КиберЛенинке»**

Электронная научная библиотека «КиберЛенинка» (CYBERLENINKA) входит в топ-10 мировых электронных хранилищ научных публикаций и построена на парадигме открытой науки (Open Science), основными задачами которой являются популяризация науки и научной деятельности, общественный контроль качества научных публикаций, развитие междисциплинарных исследований и повышение цитируемости российской науки. Это третья в мире электронная библиотека по степени видимости материалов в Google Scholar.

**Подписные индексы:**

– Каталог Роспечати «Газеты. Журналы» – **71000, 71736, 73422**  
– Объединенный каталог «Пресса России» – **87717, 87776, 887717**  
– Каталог «Российской прессы» – **11538**  
– Каталог «Урал-Пресс» – **71000; 007097; 009901**



**UGOL' / RUSSIAN COAL JOURNAL****UGOL' JOURNAL EDITORIAL BOARD****Chief Editor**

**YANOVSKY A.B.**, Dr. (Economic), Ph.D. (Engineering), Deputy Minister of Energy of the Russian Federation, Moscow, 107996, Russian Federation

**Deputy Chief Editor**

**TARAZANOV I.G.**, Mining Engineer, Moscow, 119049, Russian Federation

**Members of the editorial council:**

**ARTEMIEV V.B.**, Dr. (Engineering), Moscow, 115054, Russian Federation

**VERZHANSKY A.P.**, Dr. (Engineering), Prof., Moscow, 125009, Russian Federation

**GALKIN V.A.**, Dr. (Engineering), Prof., Chelyabinsk, 454048, Russian Federation

**ZAIDENVARG V.E.**, Dr. (Engineering), Prof., Moscow, 119019, Russian Federation

**ZAKHAROV V.N.**, Dr. (Engineering), Prof., Corresp. Member of the RAS, Moscow, 111020, Russian Federation

**KOVALCHUK A.B.**, Dr. (Engineering), Prof., Moscow, 119019, Russian Federation

**LITVINENKO V.S.**, Dr. (Engineering), Prof., Saint Petersburg, 199106, Russian Federation

**MALYSHEV Yu.N.**, Dr. (Engineering), Prof., Acad. of the RAS, Moscow, 125009, Russian Federation

**MOKHNACHUK I.I.**, Ph.D. (Economic), Moscow, 109004, Russian Federation

**MOCHALNIKOV S.V.**, Ph.D. (Economic), Moscow, 107996, Russian Federation

**PETROV I.V.**, Dr. (Economic), Prof., Moscow, 119071, Russian Federation

**POPOV V.N.**, Dr. (Economic), Prof., Moscow, 119071, Russian Federation

**POTAPOV V.P.**, Dr. (Engineering), Prof., Kemerovo, 650025, Russian Federation

**PUCHKOV L.A.**, Dr. (Engineering), Prof., Corresp. Member of the RAS, Moscow, 119049, Russian Federation

**ROZHKOV A.A.**, Dr. (Economic), Prof., Moscow, 119071, Russian Federation

**RYBAK L.V.**, Dr. (Economic), Prof., Moscow, 119034, Russian Federation

**SKRYL' A.I.**, Mining Engineer, Moscow, 119049, Russian Federation

**SUSLOV V.I.**, Dr. (Economic), Prof., Corresp. Member of the RAS, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

**SHCHADOV V.M.**, Dr. (Engineering), Prof., Moscow, 119034, Russian Federation

**SHCHUKIN V.K.**, Dr. (Economic), Ekibastuz, 141209, Republic of Kazakhstan

**YAKOVLEV D.V.**, Dr. (Engineering), Prof., Saint Petersburg, 199106, Russian Federation

**Foreign members of the editorial council:**

Prof. **Guenther APEL**, Dr.-Ing., Essen, 45307, Germany

Prof. **Carsten DREBENSTEDT**, Dr. (Engineering), Freiberg, 09596, Germany

Prof. **Jozef DUBINSKI**, Dr. (Engineering), Corresp. Member PAS, Katowice, 40-166, Poland

**Sergey NIKISHICHEV**, FIMMM, Ph.D. (Economic), Moscow, 125047, Russian Federation

Prof. **Luben TOTEV**, Dr., Sofia, 1700, Bulgaria

**Ugol' Journal Edition LLC**

Leninsky Prospekt, 2A, office 819  
Moscow, 119049, Russian Federation  
Tel.: +7 (499) 237-2223  
E-mail: ugol1925@mail.ru  
www.ugolinfo.ru

**MONTHLY JOURNAL, THAT DEALS WITH SCIENTIFIC, TECHNICAL, INDUSTRIAL AND ECONOMIC TOPICS**

Established in October 1925

**FOUNDERS**

MINISTRY OF ENERGY  
THE RUSSIAN FEDERATION,  
UGOL' JOURNAL EDITION LLC

**FEBRUARY  
2' 2019**

**UGOL' / RUSSIAN  
COAL  
JOURNAL****CONTENT****SAFETY**

Glinina O.I.

**Russian Energy Week International Forum 2018 outcomes** ..... 4

Sin S.A., Portola V.A., Igishev V.G.

**Improving safety and nitrogen injection efficiency to prevent spontaneous combustion of coal in coal mine goaf** ..... 11

Novoselov S.V., Golik A.S., Popov V.B.

**Determination of the probability of methane explosions in the coal faces of very gassy mines under conditions of a radical increase in loads – a preventive safety measure** ..... 15

**SURFACE MINING**

Levchenko Ya.V.

**Practice of dumping masses formation in the inner circuits during large coal deposits workings** ..... 20

**UNDERGROUND MINING**

Nurgaliev E.I., Mayorov A.E., Cherepov A.A.

**Experience of complex isolation of excavations "Raspadskaya coal company" mines. "Raspadskaya-Koksovaya" Mine – part I** ..... 25

Botvenko D.V., Kazantsev V.G., Li Hee Un

**Controlling the rock mass state around circular mine workings with consideration of nonlinear elastic behavior of rocks** ..... 31

**COAL MINING EQUIPMENT**

Lukyanenko V.A.

**The method of unpopulated extraction of minerals** ..... 37

**ECONOMIC OF MINING**

Plakitkina L.S., Plakitkin Yu.A.

**New scenarios for Russian economy development: updated forecasts of coal mining development until 2025 (continued)** ..... 40

Stepanov O.A.

**Criminological assessment of potential threats to the security of coal industry facilities in digitalization environment** ..... 47

**RESOURCES**

Pryatkina V.S.

**Protection against corrosion and contamination of heating surfaces of the waste-heat boiler included in the low-power energy complex based on the binary ORC (Organic Rankine Cycle)** ..... 49

Danilov A.P.

**The experiments of Rutherford and mechanic Danilov determining absorption of energy of explosion** ..... 53

**COAL PREPARATION**

Greku V.S.

**AURY heavy medium separators** ..... 58

**CHRONICLE**

**The chronicle. Events. Facts. News** ..... 60

**COAL QUALITY**

Safonov A.A., Mausymbaeva A.D., Portnov V.S., Parafilov V.I., Korobko S.V.

**Analysis of potential use of coal from the Shubarkol deposit in technical silicon smelting** ..... 68

**MINERALS RESOURCES**

Agafonov V.V.

**Integrated study of permanent conditions of coal reserves** ..... 73

Aliiev S.B., Zakharov V.N., Kenzhin B.M., Smirnov Yu.M.

**Adaptive method of vibration and seismic effect on improving the efficiency of in-situ leaching of metals** ..... 76

**ECOLOGY**

Zenkov I.V., Morin A.S., Ragozina M.A., Anishenko Yu.A., Zhukova V.V.

**The results of the study of forest recultivation with the planting of Siberian spruce on the rock dumps of the "Borodinskiy" open-pit mine** ..... 81

**ABROAD**

**World mining panorama** ..... 85

**ANNIVERSARIES**

**Kopylov Konstantin Nikolaevich (to a 50-anniversary from birthday)** ..... 86

**Rudakov Oleg Yuryevich (to a 60-anniversary from birthday)** ..... 87

**Zakirov Danir Galimzyanovich (to a 80-anniversary from birthday)** ..... 88

# Второй Международный форум «Российская энергетическая неделя»



Обзор подготовила  
Ольга Глинина

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-4-10>

**С 3 по 6 октября 2018 г. в Москве, в Центральном выставочном зале «Манеж», прошел второй Международный форум «Российская энергетическая неделя», целью которого стали демонстрация перспектив российского топливно-энергетического комплекса и реализация потенциала международного сотрудничества в сфере энергетики. Форум стал площадкой для обсуждения основных вызовов, с которыми сталкивается энергетический сектор экономики, и актуальных проблем развития: газовой отрасли; нефтяной отрасли; угольной отрасли; нефтехимии; электроэнергетики; энергосбережения и повышения энергоэффективности.**

**Форум прошел при поддержке Министерства энергетики Российской Федерации, Правительства Москвы и Фонда Росконгресс.**

## ВВЕДЕНИЕ

Ключевой темой второго Международного форума «Российская энергетическая неделя» стала **«Устойчивая энергетика для меняющегося мира»**. Пленарную сессию открывал Президент Российской Федерации В.В. Путин. В основе деловой программы Форума были два основных блока: «Глобальная энергетическая повестка» и «Планы развития российского ТЭК»

Первый блок **«Глобальная энергетическая повестка»** затронул аспекты развития энергетики в меняющемся мире – от проблемы доступа к экологически чистым видам топлива в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) и Африке до развития энергетики и применения новых технологий в Арктике.

Второй блок **«Планы развития российского ТЭК»** широко осветил достижения и проблемы угольной, нефтяной, газовой, нефтехимической, электроэнергетической отраслей современного отечественного топливно-энергетического комплекса, в частности, в мероприятиях отраслевых сессий.

Основная программа Форума насчитывала 67 мероприятий в различных форматах, таких как пленарное заседание, панельные сессии, круглые столы,

лекции, встречи отраслевых специалистов и т.д. В деловой программе Форума принял участие 471 спикер.

Состояние и перспективы развития угольной отрасли отражены в многочисленных работах [1, 2, 3] и на различных форумах и дискуссионных площадках. Однако эти вопросы не теряют своей актуальности и очень важны на современном этапе развития. В предыдущем выпуске журнала «Уголь» [4] была представлена общая информация о втором Международном форуме «Российская энергетическая неделя» и более подробно – панельная дискуссия «Останется ли угольная промышленность драйвером роста экономики развивающихся стран?» (модератор: заместитель министра энергетики Российской Федерации А.Б. Яновский).

В этом выпуске представляем вниманию наших читателей краткую информацию о работе круглого стола «Дегазация, добыча и утилизация метана угольных месторождений». Более подробно с материалами Форума можно ознакомиться на официальном сайте мероприятия: <https://rusenergyweek.com>.



## ДЕГАЗАЦИЯ, ДОБЫЧА И УТИЛИЗАЦИЯ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

### КРУГЛЫЙ СТОЛ

Метан угольных месторождений является серьезной индустриальной и экологической проблемой, источником возникновения техногенных аварий, сопровождающихся человеческими жертвами, разрушением и остановкой предприятий. Существует необходимость организации системного и непрерывного сбора информации и анализа мирового опыта по вопросам дегазации, извлечения и утилизации метана угольных пластов и вмещающих пород, формирования единой базы данных лучших мировых практик, что создаст условия для повышения безопасности угольных шахт России и снижения выбросов метана в атмосферу.

Какие цели и задачи ставит перед собой организованный в России международный центр по изучению и распространению передового опыта дегазации, добычи и утилизации метана угольных месторождений? Какие методы, технологии и технические средства извлечения кондиционных по метану газовоздушных смесей, пригодных для утилизации, необходимы в настоящее время? Какова рентабельность утилизации и вовлечения угольного метана в энергетическую базу Российской Федерации в сравнении с традиционными источниками получения природного газа?

На эти и другие вопросы в своих выступлениях постарались ответить участники и гости круглого стола.

**Директор ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук» Валерий Захаров** был модератором круглого стола и в своем приветственном слове отметил, что рассматриваемая проблема не новая, и данная тематика и данный вопрос являются основополагающими в плане безопасности и решения ряда экологических проблем.

В сегодняшней ситуации, когда интенсивность горных работ, объемы добываемого угля и те глубины, на которых работают шахтеры, приводят к тому, что вопрос шахтного метана становится все более сложным, все более серьезным и по статистике, по последним данным Ростехнадзора более 60% всех негативных ситуаций, формирующихся при добыче угля подземным способом, инициируются тем метаном и теми осложняющими факторами, которые формируются при отработке углегазовых месторождений и угольных пластов, содержащих достаточно большое количество метана.

Объемы метана в угольных пластах колеблются в очень широких пределах, и точное понимание и знание процессов углепородного массива просто необходимы. Процесс оценки природной газоносности, решение задач извлечения метана из угольных пластов как на этапе подготовки к отработке выемочных участков и шахтных полей, так и в процессе работ является актуальным и перспективным.

Объемы метана в угольных пластах колеблются в очень широких пределах, и точное понимание и знание процессов углепородного массива просто необходимы. Процесс оценки природной газоносности, решение задач извлечения метана из угольных пластов как на этапе подготовки к отработке выемочных участков и шахтных полей, так и в процессе работ является актуальным и перспективным.



В настоящее время эта проблема становится очень актуальной, и многие угольные компании, с точки зрения вопросов технологической дисциплины и технологической культуры, уже находятся на достаточно высоком уровне, обращают к этой проблеме все больше и больше ресурсов и научных проектов.

### СОЗДАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ЦЕНТРА ПО ИЗУЧЕНИЮ И РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ДЕГАЗАЦИИ, ДОБЫЧИ И УТИЛИЗАЦИИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Заместитель директора Департамента угольной и торфяной энергетики Российской Федерации Сергей Иванович Шумков** сразу подчеркнул, что проблема шахтного метана была и остается вопросом № 1 для шахтеров и их безопасности.

Метан угольных месторождений является серьезной индустриальной и экологической проблемой, источником возникновения техногенных аварий, сопровождающихся человеческими жертвами, разрушением и остановкой предприятий. Существует необходимость организации системного и непрерывного сбора информации и анализа мирового опыта по вопросам дегазации, извлечения и утилизации метана угольных пластов и вмещающих пород, формирования единой базы данных лучших мировых практик, что создаст условия для повышения безопасности угольных шахт России и снижения выбросов метана в атмосферу.

Вопросами энергетического сотрудничества на площадке ЕЭК ООН занимается Комитет по устойчивой энергетике (КУЭ ЕЭК ООН). В состав комитета входят 6 групп экспертов и бюро КУЭ ЕЭК ООН, ответственное за решение текущих организационно-распорядительных вопросов в периоды между сессиями комитета. Как вспомогательный орган работает Рабочая группа по шахтному метану ЕЭК ООН. По наилучшим практикам шахтной дегазации и утилизации метана информационную базу поддерживают центры передового опыта (ICM) Польши, Германии, России, Англии, Австралии, США и Китая.

Задачи группы экспертов ЕЭК ООН:

- определение стратегии в области дегазации, добычи и утилизации метана;
- определение структуры и типизация информации для распространения передовых практик;
- информационный обмен по наилучшим практикам – СММ, VAM, CBM, AMM;
- координация научных исследований и разработок;
- рекомендации по подготовке учебных программ;
- анализ и совершенствование законодательства;
- координация работ с центрами передового опыта (ICM) и группой экспертов ЕЭК ООН по шахтному метану.

В России инициировали создание Российского центра шахтного метана (ICM), и, чтобы эта работа стала системной, задействованы такие организации и компании, как: ИПКОН РАН; Российские угольные компании; ООО «Газпром добыча Кузнецк»; Московский горный институт НИТУ «МИСиС»; АО «НЦ ВостНИИ».



Основными направлениями деятельности Российского центра по шахтному метану являются: научно-исследовательская деятельность и опытно-конструкторские разработки, производственно-промышленные мероприятия, организационно-административные мероприятия и производственно-промышленная деятельность, но, конечно, самый главный вопрос – это информационно-аналитическая работа по наилучшим практикам.

С.И. Шумков отметил, что дискуссия на круглом столе станет толчком для системной работы: «Есть поручение Минэнерго РФ до конца года сделать программу – причем системную программу не просто научных исследований, которая бы охватывала вопросы определения направлений исследований, анализ и использование передового мирового опыта, в том числе опыта ООО «Газпром добыча Кузнецк», а также производственно-промышленные и организационно-административные мероприятия по широкому внедрению наработок в угольную отрасль. В создаваемый Координационный совет по шахтному метану войдут представители научно-исследовательских институтов (ИПКОН РАН, АО «НЦ ВостНИИ», НИТУ «МИСиС»), угольных компаний и ООО «Газпром добыча Кузнецк».

Целями и задачами Координационного совета по шахтному метану являются:

- определение направлений фундаментальных исследований;
- анализ практики освоения новых технологий и оборудования;
- рекомендации по разработке образовательных программ подготовки кадров и горных инженеров, участвующих во внедрении технологий извлечения и утилизации метана;
- организация взаимодействия с международными центрами по шахтному метану (Польша, Китай).

Участники круглого стола отметили, что запустить этот проект необходимо на основе партнерства государства, науки, образования и бизнеса. Органы исполнительной власти и крупные угольные компании подтвердили свое участие в этой программе. Место, где это в первую очередь будет исследоваться, реализовываться в регионе, где эти проблемы наиболее актуальны, – это Кузбасс.

**Заместитель губернатора Кемеровской области по промышленному транспорту и экологии Андрей Анатольевич Панов** в своем выступлении отметил, что Кузбасс действительно сегодня является центром данной проблемы.



На территории муниципального образования Кемеровская область работают 42 шахты, и здесь первое – безопасность ведения горных работ на особо опасных производственных объектах. Второе – это экологические проблемы, связанные в том числе с соглашениями, которые Российская Федерация подписывает на мировых рынках. Необходимо отметить и такой момент, что утилизация, использование добываемого метана – источник снижения затрат при добыче угля.

«Этот вопрос носит государственный характер, одни компании с ним, конечно, не справятся. Хорошо, что создается комиссия, в этом плане область готова приложить все усилия для того, чтобы совместно были найдены максимальные оптимальные пути решения проблемы. Мы считаем, что необходимо создавать информационное поле, чтобы все проблемы, обсуждались, извлекались уроки из тех ситуаций, которые возникают, и мы принимали бы меры, чтобы не допускать этого в дальнейшем. И, конечно, эта информация нужна для того, чтобы разрабатывать и применять новые технологии, проводить исследования. Поэтому еще раз хочу отметить, что регион кровно заинтересован в решении вопросов дегазации, добычи, утилизации метана и окажет полное содействие как промышленным компаниям, так и институтам развития, исследовательским институтам, науке, предприятиям в решении этой проблемы», – подчеркнул А.А. Панов.

## ПРОБЛЕМЫ ДЕГАЗАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ ШАХТНОГО МЕТАНА

**Заведующий кафедрой «Безопасность и экология горного производства» Горного института НИТУ «МИСиС» Константин Сергеевич Коликов** акцентировал внимание не на вопросах подготовки кадров и нормативной документации, а на вопросах дегазации и утилизации шахтного метана.



Согласно «Стратегии развития угольной отрасли до 2030 года», к 2020 г. производительность труда должна быть увеличена в 2,4 раза, а к 2030 г. – в 5 раз. Эти задачи успешно выполняются. В то же время в Стратегии были поставлены задачи: разработка новых технологий, обеспечивающих повышение эффективности вентиляции и дегазации угольных шахт, а также извлечение и промышленное использование метана угольных пластов.

Мы привыкли, что шахты II категории – это практически безопасные шахты (рис. 1), но на сегодняшний день, когда нагрузка достигает 40-50 тыс. т, а то и 60 тыс. т в сутки, абсолютная метанообильность может достигать 100 м<sup>3</sup>/мин и более, что приводит к необходимости применения дегазации выработанного пространства.

Мы привыкли, что шахты II категории – это практически безопасные шахты (рис. 1), но на сегодняшний день, когда нагрузка достигает 40-50 тыс. т, а то и 60 тыс. т в сутки, абсолютная метанообильность может достигать 100 м<sup>3</sup>/мин и более, что приводит к необходимости применения дегазации выработанного пространства.

С ростом нагрузок на очистные забои, изменяется структура газового баланса добычного участка. Возрастает роль газовой выделенности из разрабатываемого пласта, увеличивается доля газовой выделенности из транспортируемого угля. Следует отметить, что за последние 5 лет ситуация в этой области изменилась, и значительно большее внимание стало уделяться именно предварительной дегазации разрабатываемых пластов. Как пример – значительное количество исследований в области интенсификации газовой выделенности на основе использования подземного гидроразрыва.

Рост нагрузок приводит к повышению требований к аэрологической безопасности, надежность функционирования системы управления газовой выделенностью должна быть значительно выше. Даже при нагрузках 5-6 тыс. т, но при газоносности 20-25 м<sup>3</sup>/т, необходимое снижение газоносности разрабатываемого пласта достигает 5-6 м<sup>3</sup> с одной



## Оценка необходимой величины снижения газоносности разрабатываемого пласта

Суточная нагрузка на лаву, т/сут.	Газоносность пласта на глубине 600 м, м <sup>3</sup> /т	Газовыделение из пласта, разрабатываемого очистным забоем, м <sup>3</sup> /мин	Максимальный съём метана пластовой дегазацией		Предельные возможности съёма метана вентиляцией, м <sup>3</sup> /мин.	Требуемое дополнительное снижение газоносности пласта, м <sup>3</sup> /т
			м <sup>3</sup> /т	м <sup>3</sup> /мин		
3000	20-25	25,0-31,2	3	6,2	25	-
4000		33,4-41,6		8,3		3,0
5000		41,6-52,0		10,4		4,8
6000		50,0-62,5		12,5		6,0

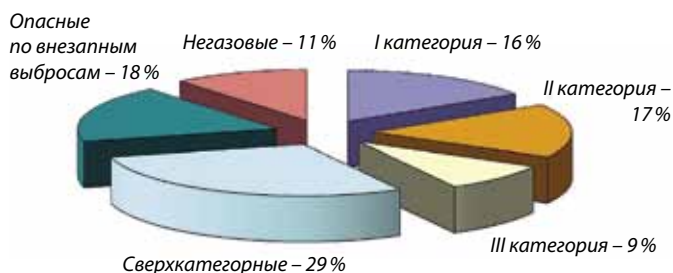


Рис. 1. Распределение шахт России по метанообильности, 2014 г.

тонны (см. таблицу). Ни один современный способ предварительной дегазации таких показателей не имеет. Максимум – 10-15%. По нормативным документам, эффективность предварительной дегазации достигает 20%, но фактически она значительно меньше.

Одной из причин является короткий срок службы скважин предварительной дегазации. Выход один – комплексная дегазация, при которой эта предварительная дегазация разрабатываемого пласта осуществляется в зонах гидрорасчленения и которую в России практически забыли. Данная технология дегазации применяется только на двух шахтах Карагандинского бассейна.

Альтернативой комплексной и заблаговременной дегазации угольных пластов (ЗДП), с учетом повышения газоносности и темпов проведения выработок, является применение газодренажных выработок, которые используются на шахтах Карагандинского бассейна. В этом случае под пластом на расстоянии 10-15 м проводится дополнительная выработка и из нее обустраивается зона будущей пластовой выработки. Способ очень эффективен, но только для подготовительных выработок и влечет значительный рост объемов проведения горных выработок.

Другой достаточно известный способ, который широко используется на шахтах Карагандинского бассейна, – использование газодренажных выработок, которые проводятся над разрабатываемым пластом. Ограничение этого способа – не во всех горно-геологических условиях возможно его применение. Огромное преимущество данного способа – извлечение метана осуществляется непосредственно в зоне влияния очистной выработки. Если традиционные вертикальные скважины постоянно отстают от очистных работ, снижая свою эффективность, то использование газодренажного штрека позволяет постоянно работать непосредственно в зоне формирующей газовую обстановку очистной выработки.

И, наконец, то направление, которым занимаются специалисты Горного института НИТУ «МИСиС» на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», – это предварительная дегазация разра-

батываемого пласта с повышением его проницаемости за счет использования подземного гидроразрыва (ПодзГРП). Данные работы были бы невозможны без плотного взаимодействия со специалистами шахты, специализированного управления дегазации и утилизации метана и руководства СУЭКа. За весь период эксплуатации скважин предварительной пластовой дегазации съём метана в зоне обработки ПодзГРП в 4,5 раза больше, чем в зоне сравнения.

Основной эффект выполненных работ – обеспечение метанобезопасности угледобычи по лаве № 24-58 со следующими результатами:

- снижение относительной газообильности очистного забоя – 32%;
- снижение простоев комбайна по газовому фактору – на 70%;
- увеличение добычи с очистного забоя – 20%.

Дополнительными эффектами этой технологии являются: снижение выбросоопасности угольного пласта и снижение пылеобразующей способности углей.

Дегазация фактически является основой для использования извлекаемого газа. Подписанное Парижское соглашение требует снижения выбросов парниковых газов на 25%. С учетом того, что наблюдается и рост газоносности и добычи, это снижение фактически в удельном виде должно быть еще больше. Основой для этого снижения является использование метана, извлекаемого при дегазации. Одной из основных проблем утилизации шахтного метана является то, что при дегазации более 50% каптируемого метана поступает в некондиционной смеси. Средствами дегазации извлекается порядка 2 млрд м<sup>3</sup>, а утилизируется от этого порядка – 6-7%.

Основными препятствиями для использования угольного метана являются: нестабильность объема и концентрации газа по источникам; разбросанность вакуум-насосных станций по обширной территории; отсутствие средств транспортировки метановоздушной смеси; недостаточное экономическое стимулирование.

Для обеспечения кондиционности и стабильности показателей МВС следует обратить внимание на «старые» выработанные пространства, которые отличаются более стабильным компонентным составом.

На наш взгляд, задачи, которые должны быть учтены при формировании программы работ как метанового центра, так и образовательных учреждений, в первую очередь должны быть посвящены:

- разработке модели формирования метанообильности добычного участка, обеспечивающей прогноз метанообильности и определение максимально допустимой нагрузки на очистные забои по газовому фактору;

- разработке и внедрению эффективных технологий дегазации собственно угольных пластов как существенных источников газовой выделения в горные выработки при современном уровне нагрузок на очистные забои;
- созданию центров переподготовки кадров, специализирующихся на вопросах метанобезопасности с их обязательным периодическим обучением;
- совершенствованию управления метановыделением на основе жесткой взаимосвязи схем вентиляции и дегазации;
- совершенствованию систем мониторинга безопасности;
- организации научно-производственных структур, обеспечивающих внедрение новых способов дегазации и совершенствование схем управления газовой выделением;
- совершенствованию и расширению использования систем утилизации с соответствующим экономическим стимулированием и развитию технологий «малой химии».

**ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ДЕГАЗАЦИОННЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ АО «СУЭК»**

*Начальник Управления аэрологической безопасности предприятий АО «СУЭК» Олег Владимирович Смирнов* в своем докладе практически показал анализ освоения новых технологий утилизации шахтного метана на предприятиях компании (рис. 2). Внедрение этих технологий позволяет: повысить уровень аэрологической безопасности подземных горных работ; снизить выбросы метана в атмосферу путем его утилизации; переработать метан в полезную тепловую энергию и электроэнергию; реализовать климатическую доктрину РФ, утвержденную распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп; получить и применить альтернативный источник энергии (топливо).

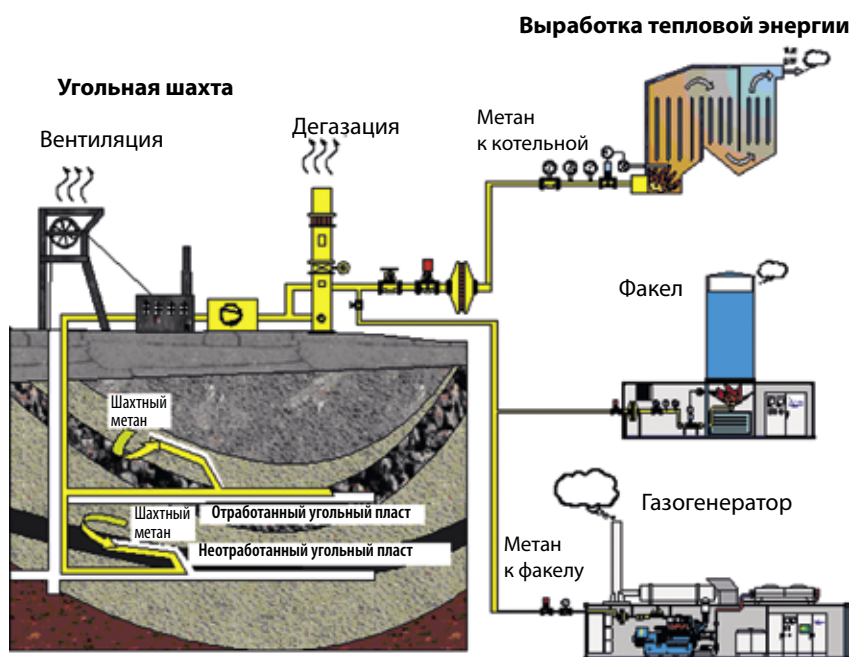


Рис. 2. Общая компоновка оборудования по утилизации шахтного метана на предприятиях АО «СУЭК-Кузбасс», 2007 г.

СУЭК занимается вопросами дегазации и утилизации метана с 2007 г. За 11 лет были осуществлены значительные инвестиции в оборудование для этих целей и достигнуты высокие результаты. Это позволило компании устанавливать мировые рекорды по безопасной добыче угля. Сегодня задача усложнилась. Еще несколько лет назад были не такие глубины, не такие нагрузки. Сейчас для дегазации и утилизации метана используются более сложные схемы, большое количество оборудования.

В 2008-2009 гг. на шахте им. С.М. Кирова, в рамках Киотского протокола РК ООН, был реализован проект: «Утилизация дегазационного метана на шахтах АО «СУЭК». По проекту на шахте была построена вакуум-насосная станция (ВНС), установлены две контейнерные теплоэлектростанции NC620 F16 электрической мощностью по 1,558 МВт, и одна КТЭС NC620 K12 электрической мощностью 1 МВт; две факельные установки УФ-Н30 ГФНГ-400 и КГУУ-5/8 для сжигания метана, а также переведен на совместное сжигание угля и метана один угольный котел типа КЕ-10-14СО.

В 2011 г. была проведена первая периодическая процедура верификации. Подтверждено сокращение выбросов парниковых газов в объеме 138 342 т CO<sub>2</sub> эквивалента за отчетный период с 01.01.2009 по 30.09.2011. Получено 431,6 тыс. евро, или 16 769 тыс. руб. за сокращение выбросов парниковых газов. При повторной периодической процедуре верификации подтверждено сокращение выбросов парниковых газов в объеме 124 988 т CO<sub>2</sub> эквивалента за отчетный период с 01.10.2011 по 31.12.2012.

В 2012 г. был реализован проект «Метан угольных шахт – новые решения для использования метана угольных шахт – сокращения выбросов парниковых газов «CoMeth». Этот проект реализован совместно с Европейской Комиссией на основании международного Соглашения в рамках Седьмой рамочной программы «Энергия.2007.5&6.2.5: Расширение цепочки ценности выбросов ПГ кроме CO<sub>2</sub> в процессе добычи и применения угля».

По проекту «CoMeth» на шахте «Комсомолец» введены в опытно-промышленную эксплуатацию КТЭС типа 842-TF электрической мощностью 0,4 МВт и две факельные установки КГУУ-8 тепловой мощностью по 8 МВт. Производителем этого утилизационного оборудования является фирма Pro2 (Германия). Особенностью этой КТЭС является то, что фирмой MAN (Германия) для проекта «CoMeth» был изготовлен специальный газопоршневой двигатель.

Для реализации международного проекта «CoMeth» Европейской Комиссией АО «СУЭК» выделен денежный грант в сумме 802 тыс. евро.

За период с 01.01.2009 по 30.09.2018 предприятиями АО «СУЭК» было утилизировано 55,3 млн м<sup>3</sup> метана, выработано: 85,9 млн кВт·ч электроэнергии, выработано 104,4 млн кВт·ч, или 89,8 млн ккал тепловой энергии.





Рис. 3. УД и УМ АО «СУЭК-Кузбасс»

В настоящее время в компании реализуется проект производства СПГ из шахтного газа метана и его использования на транспорте в качестве топлива.

1 января 2009 г. создано Управление дегазации и утилизации метана для решения комплексных задач по дегазации и утилизации на газовых шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», метанобезопасности и снижению экологической нагрузки. Управлением изучен передовой мировой опыт по осуществлению дегазации и утилизации метана, выделены инвестиции для обновления парка буровых станков и модульных передвижных дегазационных установок (рис. 3).

### ПРОЕКТ ДОБЫЧИ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В КУЗБАССЕ

**Заместитель генерального директора ООО «Газпром добыча Кузнецк» – главный геолог Евгений Владимирович Кудинов** рассказал о миссии и концепции Проекта ООО «Газпром добыча Кузнецк» – организации в Кузбассе первой в Российской Федерации коммерческой добычи метана угольных пластов (МУП). Объемы добычи угля в Кузбассе ежегодно увеличиваются, вводятся новые шахты и разрезы. Предполагается дальнейший рост добычи из угольных шахт, поэтому их количество, а также глубина разрабатываемых пластов и их газоносность будут увеличиваться.



Он отметил, что одной из главных задач является повышение безопасности на углегазовых месторождениях. В Кузбассе за все время добыто всего 10% запасов угля, в каждой тонне которого содержится в среднем 20 м<sup>3</sup> метана, поэтому добыча угля неразрывно связана с выделением метана – опасного и в то же время ценного энергоносителя.

Опыт США, Китая и Австралии показывает возможность минимизации рисков взрывов газа в шахтах за счет заблаговременной дегазации угольных пластов и совмещения работ по добыче угля с применением технологий СВМ.

В ближайшие три года в Кузбассе построят самые современные на сегодняшний день многозабойные скважины с большой проходкой по угольным пластам, которые

позволяют не только более эффективно добывать газ из угля, но и как нельзя лучше подходят для совмещения работы угольных и газовых предприятий – извлекать газ заблаговременно до начала горных работ и поддерживать отток газа в процессе добычи угля. Горные работы шахт Кузбасса имеют градиент понижения 30–50 метров в год, а угольные пласты региона с погружением наращивают свою газоносность очень существенно; при этом российский и мировой опыт говорит о таком же синхронном росте затрат на борьбу с газом на 7-10% на каждые 100 метров понижения горных работ. Заблаговременная дегазация и совмещение процессов добычи газа и угля позволяют заметно понизить капитальные затраты на строительство шахты, а значит, понизить себестоимость угля и повысить его конкурентоспособность на мировых рынках. Еще больший совокупный экономический эффект дает использование извлекаемого метана для выработки электроэнергии и в качестве автомобильного топлива. Но, конечно, самый важный здесь социальный эффект – прекращение гибели людей.

Проект ориентирован на: освоение передовых мировых технологий бурения, достижение конкурентоспособности МУП по сравнению с поставками природного газа с СПГО потребителям на юге Западной Сибири, расширение ресурсной базы добычи газа в регионе с развитой инфраструктурой и рынком сбыта газа, повышение безопасности труда шахтеров Кузбасса, а также на развитие сотрудничества в вопросах СВМ с угледобывающими предприятиями Кузбасса.

На сегодня по состоянию и развитию Проекта изучены промысловые характеристики пластов, созданы лабораторные мощности, имеется сырьевая база в объеме 240 млрд м<sup>3</sup> промышленных категорий (рис. 4, 5), отработаны конструкции некоторых типов скважин, изучен ряд способов стимуляции притоков газа в одиночных скважинах. Построена генерирующая инфраструктура, достигнуты дебиты во многих скважинах, превышающие расчетные (ОИ), осуществляется реализация электрической энергии и газа. Требуется отработать новые конструкции скважин, способы вывоза притока газа, пространственное положение скважин, определить технологию, сетку бурения скважин для промышленной добычи в единой депрессионной

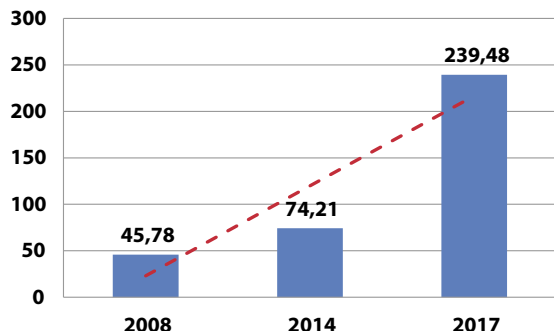


Рис. 4. Динамика промышленных запасов, млрд м³

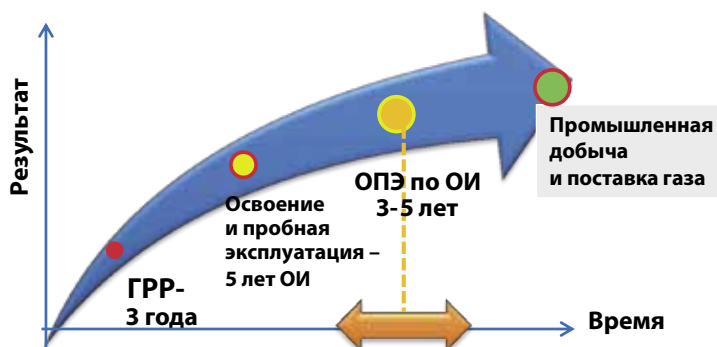


Рис. 5. Жизненный цикл Проекта

воронке, закончить создание интеллектуальных скважин на этапе ОПР-1. В результате промышленные дебиты газа из средней скважины должны составить в объеме не менее 8500 м³/сут по этапу ОПР-1. Далее – этап ОПР-2.

**Список литературы**

1. Яновский А.Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России // Уголь. 2017. № 8. С. 10-14. doi: 10.18796/0041-5790-2017-8-10-14. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

2. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3. С. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

3. Глинина О.И. Угольная промышленность в России: 295 лет истории и новые возможности // Уголь. 2017. № 10. С. 4-11. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102017.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

4. Глинина О.И. Второй Международный форум «Российская энергетическая неделя» // Уголь. 2019. № 1. С. 5-16. doi: 10.18796/0041-5790-2019-1-5-16.

**SAFETY**

UDC УДК 061.3:338.45:662.6/.7(100):622.8:622.411.332:661.92 © O.I. Glinina, 2019  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 4-10

**Title**  
**RUSSIAN ENERGY WEEK INTERNATIONAL FORUM 2018 OUTCOMES**

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-4-10>

**Author**  
 Glinina O.I.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Ugol' Journal Edition LLC, Moscow, 119049, Russian Federation

**Authors' Information**  
**Glinina O.I.**, Mining Engineer, Leading Editor of the Russian Coal Journal (Ugol'), e-mail: [ugol1925@mail.ru](mailto:ugol1925@mail.ru)

**Abstract**  
 Russian Energy Week International Forum (REW) was established by order of the Russian Government (27 September 2016). The first REW was held in 2017, immediately becoming the most important energy efficiency event in Russia or abroad. In 2018, the Forum was held from 3 to 6 October in the Central Exhibition Hall 'Manege' in Moscow. The key theme of the REW 2018 was Sustainable Energy for a Changing World. The Forum's business programme consisted of two main blocks. The first block, "Global Energy Agenda", touched upon aspects of energy development in a changing world, from the issue of access to environmentally friendly fuels in APR countries and Africa to the development of energy and the use of new technologies in the Arctic. The second block was entitled "Development Plans for the Russian Fuel and Energy Industry". The track's agenda widely covered the achievements and issues in the coal, oil, gas, petrochemical, and electric power sectors of the modern domestic fuel and energy industry, especially in the events of industry sessions. 20 foreign ministers spoke at the Forum. The Forum's main programme consisted of 67 events of various formats, including a plenary session, panel sessions, round tables, lectures, meetings between industry experts, and so forth. 471 speakers took part in the Forum's business programme. The paper presents the review of REW 2018 devoted to the coal industry, including a roundtable "Degasification, extraction, and disposal of coalbed methane". Coalbed methane poses a serious industrial and environmental problem. It leads to accidents causing fatalities, destruction, and company shutdowns. There is a need to conduct a systemic and constant analysis of international experience and to collect information on degasification, extraction, and disposal of coalbed methane and enclosing strata. A consolidated

database of best international practice is also required, and would help improve coal mine safety in Russia and reduce methane emissions. What are the aims and objectives of Russia's international Centre for the Study and Advancement of Best Practices in the Degasification, Extraction, and Disposal of Coalbed Methane? What methods, technologies, and technical resources to extract methane gas mixtures appropriate for disposal are required today? What is the benefit of disposing of and using coalbed methane in Russia's energy mix, compared to traditional natural gas sources?

**Keywords**  
 Russian Energy Week International Forum (REW), Coal generation, Coal industry, Safety, Degasification, Extraction and disposal of coalbed methane.

**References**  
 1. Yanovsky A.B. Osnovnye tendentsii i perspektivy razvitiya ugol'noy promyshlennosti Rossii [Main trends and prospects of the coal industry development in Russia]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 8, pp. 10-14. doi: 10.18796/0041-5790-2017-8-10-14. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (accessed 15.01.2019).  
 2. Tarazanov I.G. Itogy raboty ugol'noy promishlennosti Rossii za yanvar – dekabr 2017 [Russia's coal industry performance for January – December, 2017]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 3, pp. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (accessed 15.01.2019).  
 3. Glinina O.I. Ugol'naya promyshlennost' v Rossii: 295 let istorii i novye vozmozhnosti [The coal industry in Russia: 295 year history and new opportunities]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 10, pp. 4-11. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102017.pdf> (accessed 15.01.2019).  
 4. Glinina O.I. Vtoroj Mezhdunarodnyj forum "Rossijskaya energeticheskaya nedelya" [Russian Energy Week International Forum 2018 outcomes]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2019, № 1, pp. 5-16. doi: 10.18796/0041-5790-2019-1-5-16.



# Повышение безопасности и эффективности использования азота для борьбы с самовозгоранием угля в выработанном пространстве шахт

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-11-14>

Поддача азота в выработанное пространство шахт позволяет предотвратить развитие самовозгорания в скоплениях угля и взрыв горючих газов. Однако создание инертной среды в выработанном пространстве создает опасность выноса азота в действующие горные выработки. Для сохранения инертной газовой среды в выработанном пространстве действующих участков целесообразно создавать пенную завесу вдоль забоя. Проведенные исследования показали, что обработка угля пеной снижает сорбционную активность угля по отношению к кислороду более чем в три раза. Наиболее важными параметрами пены являются кратность и стойкость, производство которых пропорционально сохраняемому объему пены. Исследованиями установлено, что заполнение пеной скопления угля делают его практически непроницаемым для воздуха. Создаваемая в выработанном пространстве пенная завеса снижает расход азота, а также предотвращает вынос инертного газа и метана в действующие выработки.

**Ключевые слова:** самовозгорание угля, шахта, выработанное пространство, сорбционная активность угля по отношению к кислороду, пена, кратность, стойкость пены.

## ВВЕДЕНИЕ

Возникающие на угольных шахтах эндогенные пожары угрожают здоровью и жизни шахтеров, а также причиняют угледобывающим предприятиям большой экономический ущерб. Особенно крупные финансовые потери шахтам наносят очаги самовозгорания, обнаруживаемые в выработанном пространстве действующих выемочных участков. При изоляции таких эндогенных пожаров теряются дорогостоящая угледобывающая техника, подготовленные к выемке запасы угля, горные выработки. Существенных экономических затрат требуют работы по тушению пожара, восстановлению горных выработок, оборуования. Проведенные исследования процесса самовозгорания угля [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] позволили оценить факторы, влияющие на интенсивность разогрева и разработать различные способы предотвращения и ликвидации эндогенных пожаров.

Наблюдаемое в последние годы снижение количества эндогенных пожаров, фиксируемых в угольных шахтах России, можно объяснить широким применением анти-



**СИН Сергей Александрович**  
Генеральный директор  
ООО «Эгида Сервис»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
тел.: +7 (913) 280-11-11,  
e-mail: egidaservice@mail.ru



**ПОРТОЛА Вячеслав Алексеевич**  
Доктор техн. наук, профессор,  
профессор кафедры аэрологии,  
охраны труда и природы КузГТУ,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
тел.: +7 (905) 913-74-29,  
e-mail: portola2@yandex.ru



**ИГИШЕВ Виктор Григорьевич**  
Доктор техн. наук, профессор,  
академик АГН,  
научный консультант  
АО «НЦ ВостНИИ»,  
650002, г. Кемерово, Россия,  
тел.: +7 (3842) 64-30-99,  
e-mail: main@nc-vostnii.ru

пирогенов [8], снижающих химическую активность угля, и способов, позволяющих уменьшить концентрацию кислорода в воздухе, контактирующем с углем. Существенное значение имеет также постоянное наблюдение за признаками появления очагов эндогенных пожаров [9], что способствует обнаружению процесса самовозгорания на ранней стадии развития. Последующее воздействие на разогретое скопление угля различными составами позволяет

охлаждать очаг или предотвратить дальнейшее повышение температуры.

Одним из эффективных средств борьбы с самовозгоранием угля в шахтах является применение инертных газов. Подача таких газов в выработанное пространство снижает концентрацию кислорода, что позволяет предотвратить развитие самовозгорания в теряемых скоплениях угля или снизить интенсивность выделения тепла в уже возникших очагах. Инертизация атмосферы выработанного пространства позволяет также предотвратить взрывы горючих газов. Наибольшее распространение среди инертных газов, испытанных для борьбы с подземными пожарами, получил азот. Применение азота повысило эффективность предупреждения и подавления очагов самовозгорания [10].

Однако подача азота в выработанное пространство действующих выемочных участков может повысить опасность горных работ из-за возможности поступления инертного газа в действующие горные выработки и снижения концентрации кислорода в атмосфере, где могут находиться шахтеры. Для предотвращения выхода азота из выработанного пространства необходимо снизить проницаемость обрушенных горных пород вдоль линии забоя. Среди возможных способов изоляции выработанного пространства действующих выемочных участков наиболее перспективным является создание пенных завес. Заполненная пеной зона может перемещаться вслед за линией забоя или сохранять свое местонахождение в выработанном пространстве. Поэтому необходимо исследовать изоляционное действие такой завесы, а также влияние пены на сорбционную активность угля по отношению к кислороду.

### ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПЕНЫ И ЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЕ СКОПЛЕНИЯ

Эффективность защитного действия пенной завесы от выноса азота в действующие выработки будет зависеть от времени существования пены. Однако при генерации пены одновременно происходит обратный процесс – ее распад. Разрушение пены происходит из-за постепенного стекания пенообразующей жидкости, приводящего к уменьшению толщины пленок и снижению их прочности. Скорость распада пены является величиной обратной ее стойкости. Изменение объема генерируемой пены с учетом ее распада описывается уравнением:

$$dV_{\Pi} = Qd\tau - \frac{V_{\Pi}d\tau}{C_V}, \quad (1)$$

где:  $V_{\Pi}$  – объем генерируемой пены, м<sup>3</sup>;  $Q$  – производительность пеногенератора, м<sup>3</sup>/ч;  $\tau$  – время работы пеногенератора, ч;  $C_V$  – стойкость пены, ч.

Решение уравнения (1) позволяет рассчитать сохраняющийся объем пены  $V_{\Pi}$  при работе пеногенератора за время  $\tau$ :

$$V_{\Pi} = QC_V(1 - e^{-\tau/C_V}). \quad (2)$$

Производительность пеногенератора зависит от расхода пенообразующей жидкости и кратности получаемой пены:

$$Q = qK, \quad (3)$$

где:  $K$  – кратность пены;  $q$  – производительность по пенообразующей жидкости, м<sup>3</sup>/ч.

При  $\tau = \infty$  из уравнения (2) получаем выражение для расчета максимального объема пены, генерируемого пеногенератором:

$$V_{\max} = QC_V = qKC_V, \quad (4)$$

При нагнетании в равнопроницаемое выработанное пространство благодаря большой вязкости и малой плотности пена равномерно распространяется от точки подачи. Учитывая, что пена находится только в порах скопления пород, в выработанном пространстве образуется максимальный объем пены сферической формы с параметрами:

$$V_{\max} = qKC_V = \frac{4}{3}\pi IR^3, \quad (5)$$

где:  $R$  – радиус объема выработанного пространства, заполненного пеной, м;  $I$  – пористость выработанного пространства.

Объем пены, рассчитанный по выражению (5), образуется при бесконечно долгой работе пеногенератора. Для снижения длительности подачи пены до приемлемых уровней необходимо уменьшить зону обработки. Исследования показали, что с этой целью необходимо ввести поправочный коэффициент ( $A$ ), равный 0,6-0,7. Исходя из (5), радиус создаваемой пеной завесы в выработанном пространстве можно определить по выражению:

$$R = \left(\frac{3AqKC_V}{4\pi I}\right)^{1/3}. \quad (6)$$

Уравнение (4) показывает, что объем пенной завесы определяется произведением кратности на стойкость пены. Для определения параметров пены использовалась установка, позволяющая получать пену средней кратности, приведенная в ГОСТ Р 50588-2012 [11]. Согласно методике, используемой в ГОСТ, за устойчивость пены принималось время, необходимое для выделения из пены 50% используемого пенообразующего раствора. Кратность пены равнялась отношению объема образуемой пены к объему пенообразующей жидкости. В качестве основы пенообразующего раствора использовалась питьевая вода с добавкой различных поверхностно активных веществ (ПАВ). Результаты исследования стойкости и кратности пен, получаемых с использованием различных ПАВ, приведены в табл. 1.

Полученные результаты показали, что наиболее эффективным ПАВ для генерации пены является ПО-1НСВ. Для получения максимального объема пены достаточно 1% этого ПАВ. В ходе исследований также установлено, что с увеличением жесткости воды наблюдается снижение кратности пены.

Проведенные эксперименты показали, что для оценки изолирующего действия пены более приемлемым параметром пены является не устойчивость, определяемая по времени стекания 50% пенообразующей жидкости, а стойкость, равная времени существования пены. Так, пена сохраняла свой объем и после стекания половины пенообразующей жидкости. Замеры показали, что для разрушения 50% объема пены на основе ПО-1НСВ потребовалось семь минут.

Для оценки влияния пенной обработки на сорбционную активность угля по отношению к кислороду использовался метод В.С. Веселовского [12]. Получаемой пеной обрабатывалась проба угля с размером частиц 1-3 мм. Затем проба угля выдерживалась при темпе-



Таблица 1

## Параметры пены в зависимости от вида ПАВ

Используемое ПАВ	Концентрация ПАВ, %	Кратность пены	Устойчивость пены, с	$M=KC_V$
ПО-1НСВ	1	85	220	18700
ПО-6НСВ	6	80	230	18400
ПО «Эльфор»	6	61	190	11590
ПО-6ТС	6	60	189	11340
ПО-6ЦТ/АР	6	65	190	12350
ПО-6РЗ	6	40	160	6400

ратуре 20-25 °С в сорбционном сосуде. Для сравнения воздействия пены на уголь параллельно исследовали изменение сорбционной активности необработанного угля, а также влияние обработки питьевой водой. Величина сорбционной активности угля оценивалась по удельной скорости сорбции кислорода, рассчитываемой по формуле:

$$U = -\frac{V}{H \cdot \tau} \cdot \ln \frac{(1-C_0)C_a}{C_0(1-C_a)}, \text{ см}^3/\text{г}\cdot\text{ч}, \quad (7)$$

где:  $V$  – объем воздуха в сосуде, см<sup>3</sup>;  $H$  – масса навески, г;  $C_0$ ,  $C_a$  – начальная и конечная концентрации кислорода, доли единицы;  $\tau$  – время сорбции, ч.

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Анализ полученных результатов показывает, что обработка пеной снижает сорбционную активность угля по отношению к кислороду более чем в три раза, что позволяет применять пену в качестве антипирогена. Менее эффективно на уголь действует вода. По полученным результатам можно сделать вывод, что антипирогенное действие пены обусловлено покрытием поверхности угольных частиц пленкой воды. Причем наличие ПАВ увеличивает размер покрытой жидкостью поверхности за счет снижения поверхностного натяжения воды.

Оценка воздухопроницаемости скопления угля после обработки пеной проводилась на лабораторной установке, включающей емкость, наполненную углем фракцией 5-10 мм, баллон со сжатым воздухом, а также манометр и ротаметр для измерения перепада давления и скорости воздуха. В процессе эксперимента измеряли перепад давления воздуха на входе и выходе насыпки угля при постоянном расходе воздуха. Замеры показали, что пропитка скопления угля пеной делает ее практически непроницаемой для воздуха.

Для восстановления расхода воздуха потребовалось увеличить перепад давления газа более чем в 47 раз (с 59 Па в скоплении без пены до 2790 Па после подачи пены). Последующие исследования показали, что конкретный перепад давления воздуха, необходимый для разрушения пены, изменяется в зависимости от фракции угля, кратности пены. С течением времени избыточное давление воздуха, необходимое для разрушения пены, снижается. В

ходе экспериментов также установлено, что стойкость пены, поданной в скопление угля, больше, чем у пены, находящейся в емкости.

Исследования показали, что концентрация кислорода в выработанном пространстве действующих выемочных участков зависит от утечек воздуха, расхода подаваемого азота и интенсивности выделения метана из угля и вмещающих пород. Среднюю концентрацию кислорода при подаче азота можно определить из выражения:

$$C_K = \frac{Q_V C_{KV} + Q_A C_{KA}}{Q_V + Q_A + Q_M}, \quad (8)$$

где:  $Q_V$  – утечки воздуха в выработанное пространство, м<sup>3</sup>/с;  $C_{KV}$  – концентрация кислорода в поступающем воздухе, доли единицы;  $Q_A$  – расход азота, подаваемого в выработанное пространство, м<sup>3</sup>/с;  $C_{KA}$  – концентрация кислорода в подаваемом азоте, доли единицы;  $Q_M$  – интенсивность выделения метана в выработанном пространстве, м<sup>3</sup>/с.

Расчеты показывают, что создание пенных завес в выработанном пространстве позволяет существенно снизить опасность выноса азота и метана в действующие горные выработки. Одновременно происходит снижение концентрации кислорода в выработанном пространстве, что повышает эффективность борьбы с процессом самовозгорания угля на различных стадиях развития.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что опасность выноса азота, подаваемого в выработанное пространство действующего участка для предотвращения процессов самовозгорания угля и взрывов метана, в действующие горные выработки можно снизить путем создания пенных завес. Одновременно уменьшается вынос метана, что позволяет увеличить нагрузку на очистной забой. Подаваемая пена снижает сорбционную активность угля по отношению к кислороду и делает скопления угля и пород практически воздухопроницаемыми на время существования пены.

Пену целесообразно подавать в наиболее проницаемых зонах выработанного пространства – вдоль конвейерного, вентиляционного или одновременно обоих штреков в течение всего периода отработки запасов угля. Подачу пены можно осуществлять с поверхности по скважинам или из горных выработок по трубопроводам, укладываемым на почве пласта вдоль целиков с выходом в выработанное пространство. Для предотвращения выхода в действующие горные выработки точки выхода пены в выработанное пространство должны находиться от забоя на расстоянии не менее  $R$ , рассчитанного по формуле (6) с учетом свойств пены и производительности пеногенератора. Для поддержания изолирующей пенной завесы пену можно подавать периодически. Периодичность подачи пены

Таблица 2

Константа скорости сорбции кислорода углем, см<sup>3</sup>/г·ч

Время сорбции, ч	Вид обработки угля			
	Не обработан	Водой	1%-ный раствор ПО-1НСВ	6%-ный раствор ПО-6НСВ
24	0,0972	0,0387	0,0312	0,0302
72	0,0635	0,0268	0,0213	0,0218
120	0,0474	0,0196	0,0157	0,0149

можно установить путем измерения утечек воздуха в выработанное пространство перед первой подачей пены, в ходе ее нагнетания и после прекращения подачи. Интервал между подачами будет равен времени между прекращением нагнетания пены и началом восстановления утечек воздуха в выработанное пространство.

## Список литературы

1. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 375 с.
2. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition / Q. Lin, S. Wang, S. Song, Y. Liang, T. Ren // *Fuel Processing Technology*. 2017. N 159. Pp. 38-47.
3. Thermal behavior and microcharacterization analysis of second-oxidized coal / J. Deng, J.-Y. Zhao, Y.-N. Zhang, C.-P. Wang, A.-C. Huang, C.-M. Shu // *Journal of Thermal Analysis & amp.* 2017. N 127 (1). Pp. 439-448.
4. Zhang L., Qin B. Rheological characteristics of foamed gel for mine fire control // *Fire and Materials*. 2016. N 40 (2). Pp. 246-260.
5. Portola V.A. Assessment of the effect of some factors on spontaneous coal combustion // *Journal of Mining Science*. 1996. N 32 (6). Pp. 536-541.
6. Rosema A., Guan Y., Veld H. Simulation of spontaneous combustion, to study the causes of coal fires in the Rujigou Basin // *Article in Fuel*. 2001. N 80 (1). Pp. 7-16.
7. Wang Q.S., Guo D., Sun J.H. Spontaneous Combustion Prediction of Coal by C80 and ARC Techniques // *Energy and Fuels*. 2009. N 23 (10). Pp. 4871-4876.
8. Игишев В.Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. М.: Недра, 1987. 176 с.
9. Портола В.А. Обоснование и разработка способов обнаружения, локации и контроля за ходом тушения очагов самовозгорания угля в шахтах: дис. ... доктора техн. наук. Кемерово, 2002. 317 с.
10. Син С.А. Защита выемочных полей шахт Кузбасса от самовозгорания угля способом инертизации выработанных пространств // *Уголь*. 2010. № 6. С. 16–19. URL: <http://www.ugolino.ru/Free/062010.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
11. ГОСТ Р 50588-2012 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний» (Утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 мая 2012 г. N 66-ст).
12. Самовозгорания промышленных материалов / В.С. Веселовский, Н.Д. Алексеева, Л.Н. Виноградова и др. М.: Наука, 1964. 246 с.

UDC 622.822.82.22 © S.A. Sin, V.A. Portola, V.G. Igishev, 2019  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 11-14

SAFETY

## Title

IMPROVING SAFETY AND NITROGEN INJECTION EFFICIENCY TO PREVENT SPONTANEOUS COMBUSTION OF COAL IN COAL MINE GOAF

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-11-14>

## Authors

Sin S.A.<sup>1</sup>, Portola V.A.<sup>2</sup>, Igishev V.G.<sup>3</sup><sup>1</sup> "Egida Service" LLC, Kemerovo, 650000, Russian Federation<sup>2</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation<sup>3</sup> "Scientific Centre "VostNII" for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry" JSC, Kemerovo, 650002, Russian Federation

## Authors' Information

Sin S.A., General Director, tel.: +7 (913) 280-11-11,  
e-mail: [egidaservice@mail.ru](mailto:egidaservice@mail.ru)Portola V.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Professor of the Department of Aerology, Labor Protection and Nature,  
tel.: +7 (905) 913-74-29, e-mail: [portola2@yandex.ru](mailto:portola2@yandex.ru)Igishev V.G., Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Member of the Academy of Mining Sciences, Scientific Consultant,  
tel.: +7 (3842) 64-30-99, e-mail: [main@nc-vostnii.ru](mailto:main@nc-vostnii.ru)

## Abstract

Nitrogen injection into the coal mine goaf helps prevent the occurrence of spontaneous combustion of coal accumulations and explosion of combustible gases. However, inerting in the goaf creates the danger of nitrogen carryover into the active mine workings. To preserve the inert gas atmosphere in the active mine working goafs, it is advisable to generate a foam plug along the coalface. The studies made have shown that coal treated with foam has more than three times lower oxygen sorption activity. The most important parameters of the foam are foam expansion ratio and foam consistency, the product of these two values is proportional to the retained foam volume. Research has shown that filling coal with foam makes the coal accumulations almost impermeable to air. Foam plug created in the goaf reduces nitrogen consumption and prevents the inert gas and methane from being carried over to the active mine workings.

## Keywords

Spontaneous combustion of coal, Mine, Goaf, Oxygen sorption activity of coal, Foam, Foam expansion, Foam consistency.

## References

1. Skochinskiy A.A. & Ogievskiy V.M. Rudnichnye pozhary [Miner fires]. Moscow, "Gornoye Delo" Publ., "Kimmeriyskiy Tsentr" LLC, 2011, 375 p.
2. Lin Q., Wang S., Song S., Liang Y. & Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition. *Fuel Processing Technology*, 2017, No. 159, pp. 38-47.
3. Deng J., Zhao J.-Y., Zhang Y.-N., Wang C.-R., Huang A.-C., Shu C.-M. Thermal behavior and microcharacterization analysis of second-oxidized coal. *Journal of Thermal Analysis & amp.*, 2017, No. 127(1), pp. 439-448.
4. Zhang L. & Qin B. Rheological characteristics of foamed gel for mine fire control. *Fire and Materials*, 2016, No. 40(2), pp. 246-260.
5. Portola V.A. Assessment of the effect of some factors on spontaneous coal combustion. *Journal of Mining Science*, 1996, No. 32(6), pp. 536-541.
6. Rosema A., Guan Y. & Veld H. Simulation of spontaneous combustion, to study the causes of coal fires in the Rujigou Basin. *Article in Fuel*, 2001, No. 80(1), pp. 7-16.
7. Wang Q.S., Guo D. & Sun J.H. Spontaneous Combustion Prediction of Coal by C80 and ARC Techniques. *Energy and Fuels*, 2009, No. 23(10), pp. 4871-4876.
8. Igishev V.G. *Borba s samovozgoraniem uglya v shahtah* [Combating spontaneous combustion in coal mining]. Moscow, Nedra Publ., 1987, 176 p.
9. Portola V.A. *Obosnovanie i razrabotka sposobov obnaruzheniya lokatsii i kontrolya za hodom tusheniya ochagov samovozgoraniya uglya v shahtah*. Diss. dokt. techn. nauk [Justification and development of methods for detecting, locating and monitoring the progress of extinguishing spontaneous combustion spots in coal mines. Dr. eng. sci. diss.]. Kemerovo, 2002. 317 p.
10. Sin S.A. *Zashchita vyemochnyh polej shaht Kuzbassa ot samovozgoraniya uglya sposobom inertizatsii vyrabotannyh prostranstv* [Protection mine sites layers of mine Kuzbass from self-ignition of coal by way covering an inert dust the developed spaces]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2010, No. 6, pp. 16-19. Available at: <http://www.ugolino.ru/Free/062010.pdf> (accessed 15.01.2019).
11. GOST R 50588-2012 "Penoobrazovateli dlya tusheniya pozharov Obschie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy" [Foaming agents for extinguishing fires. General technical requirements and test methods]. Approved by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dd. May 14, 2012, No. 66-st.
12. Veselovskiy V.S., Alekseeva N.D., Vinogradova L.N. et al. *Samovozgoraniya promyshlennykh materialov* [Spontaneous combustion of industrial materials]. Moscow, Nauka Publ., 1964, 246 p.



# Определение вероятности взрывов метана в очистных забоях сверхкатегорных угольных шахт в условиях радикального увеличения нагрузок – превентивная мера безопасности

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-15-18>

В статье раскрыты проблемные моменты определения вероятности взрыва метана на опасных производственных объектах – сверхкатегорных угольных шахтах. На основе анализа аварий взрывов метана на угольных шахтах России за долгосрочный период определены вероятности наступления взрывов метана при различных причинах. Показана графическая модель формирования аварии – взрыва метана. Определены вероятности взрывов метана по методам Пуассона, Бернулли и Лапласа. Для управления безопасностью рекомендуется создание «градации рисков» в рабочей зоне лавы, и на основе их – разработка превентивных мероприятий для повышения безопасности выемочного участка. Определены основные причины взрыва метана и возможные комбинации их совпадений. Приведен анализ вероятностей наступления взрыва в очистном забое при различных комбинациях и вероятностях совпадения причин, инициирующих взрыв. Приведены примерная структура и логика проведения исследования по определению интегральной опасности/(безопасности) в очистном забое. Даны рекомендации построения карты рисков в очистных забоях, предложен основной принцип превентивной ликвидации причин аварий на начальной стадии.

**Ключевые слова:** вероятность взрыва, графическая модель взрыва метана, градации рисков, интегральная опасность и безопасность, карта рисков, принцип превентивности.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие научно-технического прогресса требует постоянной модернизации производства. Однако развитие технологий вступает в противоречие с экологией и безопасностью. При перманентном развитии техники и роботизации человек может стать заложником технической системы с повышенными психологическими нагрузками, тем более, если эта система даст сбой.

Известно, что системные аварии, связанные со взрывами газа метана, наиболее опасны и весьма ущербны. Основная проблема в том, что управлять и локализовать последствия таких аварий сложно. Абсолютно невозможно точно спрогнозировать место, момент и уровень риска взрыва метана, так как это иррациональный процесс. Но вот рассчитать вероятность появления **причин взрыва и закономерности их развития** по отдельности мы можем, так как эти события протека-



**НОВОСЕЛОВ Сергей Вениаминович**  
Канд. экон. наук,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории «Горноспасательного  
дела» АО «НИИГД»,  
академик Международной  
академии наук экологии  
и безопасности жизнедеятельности,  
650002, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: nowosyolow.sergej@yandex.ru



**ГОЛИК Анатолий Степанович**  
Доктор техн. наук, профессор,  
академик Международной академии наук  
экологии и безопасности  
жизнедеятельности, академик АГН,  
650002, г. Кемерово, Россия



**ПОПОВ Валерий Борисович**  
Доктор тех. наук, профессор,  
академик Международной академии наук  
экологии и безопасности  
жизнедеятельности,  
650002, г. Кемерово, Россия

ют в достаточно длительном интервале времени, повторяются периодически и могут исправляться и регулироваться человеком. Ликвидация данных причин обеспечивается постоянным мониторингом диспетчерской службой шахты в режиме онлайн и сменным надзором шахты – производственных коммуникаций и участков при эффективно организованной системе планово-предупредительных ремонтов.

Взрыв же метана происходит внезапно и почти мгновенно (доли секунды), и им управлять человек не может. Как только взрывоопасная концентрация метана и температура инициирования пересеклись – мы можем вести только «плачевную» статистику, и в большинстве случаев со смертельным исхо-

дом. Поэтому необходимо изучать и предотвращать причины (в математической статистике – события) возникновения взрыва метана и применять превентивные методы.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВЗРЫВОВ МЕТАНА В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ СВЕРХКАТЕГОРНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ РОССИИ:**

– события (А) приводят к созданию взрывоопасной концентрации в очистном забое (повышенное метановыделение из пласта, нарушение проветривания, повышенное метановыделение из завала, внезапный выброс газа);

– события (В) приводят к возникновению температуры инициирования взрыва порядка 650-750°C в очистном забое, (нарушение взрывобезопасности электрооборудования, повреждение комбайнового кабеля, возникновение фрикционной искры, эндогенные пожары, человеческий фактор).

Вероятность совместного появления двух независимых событий определяется по теореме умножения событий:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B). \tag{1}$$

Тогда можно определить элементарные причины, входящие в группы А и В, и, соответственно, вероятности этих двух групп будут  $p_1$  и  $p_2$ :

$p_1$  – **вероятность создания взрывоопасной концентрации в очистном забое** ( $p_{11}$  – повышенное метановыделение из пласта,  $p_{12}$  – нарушение проветривания,  $p_{13}$  – повышенное метановыделение из завала,  $p_{14}$  – внезапный выброс газа метана);

$p_2$  – **вероятность возникновения температуры инициирования взрыва порядка 650-750°C в очистном забое**, ( $p_{21}$  – нарушение взрывобезопасности электрооборудования,  $p_{22}$  – повреждение комбайнового кабеля,  $p_{23}$  – возникновение фрикционной искры,  $p_{24}$  – эндогенные пожары,  $p_{25}$  – человеческий фактор).

Модель инициирования взрыва метана приведена на рисунке.

Согласно модели (см. рисунок) «блуждающие риски» присутствуют во всем технологическом процессе добычи угля, но их величина или направление, или и то, и другое не совпадают или ничтожно малы для инициирования аварии. В критической точке вероятность совместного появления двух независимых событий (причин аварии) равны 1 и по температуре, и по концентрации, поэтому взрыв неизбежен. Следует учесть, что возможно снижение предельных границ взрыва (запыленность и другие причины).

Число сочетаний по двум группам причин, при совпадении по паре двух независимых причин, которые отли-

чаются хотя бы одной причиной, определится по формуле комбинаторики:

$$C_n^m = n!/(m!(n-m)!), \tag{2}$$

всего причин  $n = 9$ , а число совместных причин  $m = 2$ :

$$C_9^2 = \frac{9!}{2!(9-2)!} = 36.$$

Следовательно, всего мы можем иметь как минимум 36 вариантов сочетаний различных комбинаций причин взрыва метана (это очень много). Рассчитаем вероятность наступления взрыва на основе выявленных официально причин и их статистической вероятности согласно источнику [1, с. 34], табл. 1.

Как следует из табл. 1, вероятность наступления взрыва определилась в широких диапазонах от 1,5 месяца до 10000 лет, но это математическая статистика.

Приведем ориентировочный расчет вероятности наступления аварийного события при одних и тех же причинах, но различными методами по Пуассону, Бернулли и Лапласу (табл. 2).

Но нельзя забывать практику и такие катастрофы, как на шахте «Северная» (Воркута), взрывы метана 25.02.2016 и 28.02.2016, т.е. два взрыва в течение трех суток (повторный взрыв метана). Можно сделать следующий вывод: спрогнозировать такие катастрофы невозможно, необходимы только превентивные меры – недопущение или ликвидация возникших причин аварий в «зародыше», на начальной стадии.

В настоящее время вопросам повышения безопасности в угольной промышленности уделяется первостепенное значение, что подтверждают практика и ряд публикаций специалистов ведущей компании России – АО «СУЭК» [2, 3, 4], а также проведение в последнее время на постоянной основе Международной научно-практической конференции в Кузбассе (г. Ленинск-Кузнецкий) «Подземная угледобыча XXI век» на секции «Промышленная безопасность и охрана труда», при представительстве АО «СУЭК», АО «СУЭК-Кузбасс», ИПКОН РАН, СО РАН, ГУ КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева и представителей зарубежных компаний.

При обилии методов и приборов автоматизированного контроля безопасности должно уделяться достаточное внимание организационным вопросам, нарядной системе, аттестации рабочих мест, профобучению персонала и т.п.

Важным резервом и элементом повышения безопасности является проведение научных исследований в аспекте фиксации, анализа и изучения причин аварий различными методами – не только методами телеметрии и автоматического контроля, но и на базе проведения натурных, инструментальных исследований, хронометражей, экспертных

оценок, аналитическо-расчетных исследований, математического моделирования. При этом принимаются решения, основанные на комплексе методов, тем самым повышаются надежность и достоверность принятия решений.

Предлагается, используя математический аппарат, определять закономерности возникновения причин, приводящих к взрыву метана, строить карты рисков и их градации, определять наиболее опасные зоны, разрабаты-

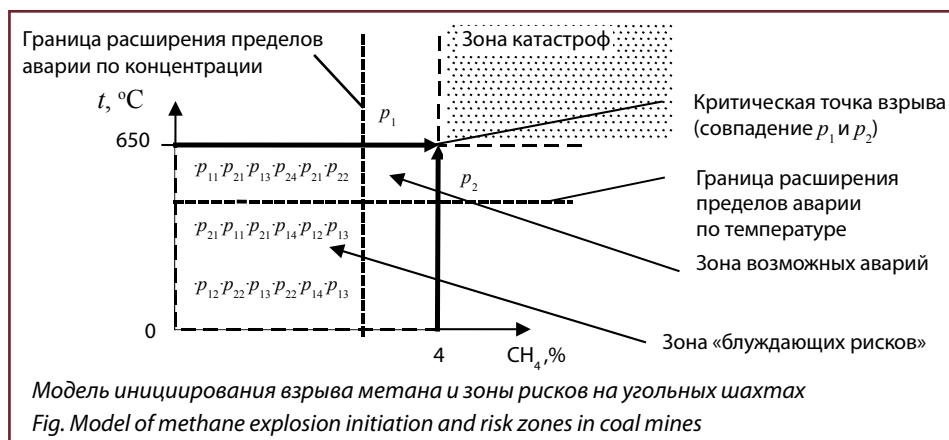




Таблица 1

**Вероятность совместного появления двух независимых причин взрыва метана**

Комбинационный индекс причины и ее название ( $p_1$ )	Статистическая вероятность наступления аварийного случая за смену	Комбинационный индекс причины и ее название ( $p_2$ )	Статистическая вероятность наступления аварийного случая за смену	Вероятность совместного появления $p_1$ и $p_2$	Временная характеристика, авария в год (1460 смен)
$p_{11}$ - повышенное метановыделение из пласта	0,16	$p_{25}$ - нарушение взрывобезопасности электрооборудования	0,0001	0,000016	1 раз в 42,8 года
$p_{12}$ - нарушение проветривания	0,05	$p_{25}$ - повреждение комбайнового кабеля	0,0005	0,000025	1 раз в 27,4 года
$p_{13}$ -повышенное метановыделение из завала	0,01	$p_{23}$ - возникновение фрикционной искры	0,5	0,005	1 раз в 1,5 месяца
$p_{14}$ - внезапный выброс газа метана	0,0001	$p_{24}$ - эндогенные пожары	0,000074	0,00000074	1 раз в 9255 лет
$p_{11}$ - повышенное метановыделение из пласта	0,16	$p_{25}$ - человеческий фактор	0,000054	0,0000086	1 раз в 79,6 лет

вать превентивные методы ликвидации причин аварий на начальной стадии [5].

Предлагается следующая логика определения интегральной опасности в «условном» очистном забое, табл. 3.

Ввиду интенсификации добычи в очистных забоях сверхкатегорных шахт при росте среднесуточных нагрузок на комплексно-механизированный забой по России в 2017 г. до 5105 т/сут. [6, с. 63; 7] и при радикальном росте нагрузки у рекордсменов (шахта В.Д. Ялевского) более чем 50000 т/сут. [8] возникает необходимость определения интегральной оценки опасности как выемочного участка (выемочного столба), так и очистного забоя (лавы) и зон с повышенным риском в самом очистном забое и возможных причин их создания.

**ВЫВОДЫ**

При детализации и конкретизации задач исследования, используя апостериорные данные телеметрии (за дли-

тельный период) и/или данные исследовательской базы, на математико-аналитической основе априори (прогноз) можно определять закономерности возникновения причин, приводящих к взрывам метана, строить детальные карты вероятностей аварий (рисков) и их градацию для определения наиболее опасных зон, разрабатывать превентивные методы ликвидации причин аварий на начальной стадии.

Таблица 2

**Сравнительные данные по вероятностям наступления взрыва метана на основе статистических методов**

Условия наступления взрыва	Формулы расчета		
	Пуассона $P_n(m) = \lambda^m / m! \cdot e^{-\lambda}$ $n = 1460$ смен	$P_9(4) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{n-k}$ $n = 5$ лет	Лапласа $P_n(k) \approx \frac{1}{\sqrt{npq}} \cdot \varphi(x)$ $n = 1825$ дней
$p = 0,0005$ ; $\lambda = 0,73$ ; $\varphi(x) = 0,4$	0,352 или 1 взрыв в 2,8 года	$3,12 \cdot 10^{-13}$ ничтожно мала	0,36 1 взрыв в 1,58 года
Эмпирическая вероятность	от 0,0005 (1 раз в 5 лет) до 0,000054 (1 раз в 57 лет) [1]		

Таблица 3

**Определение интегральной опасности в очистном забое**

Место в очистном забое	Объект исследования	Предмет исследования	Метод исследования	Уровень риска
Сопряжение с конвейерным штреком	Кровля, почва, крепь сопряжения	Конвергенция почвы и кровли, опорное давление, пучение пород, давление в гидростойках	Телеметрия, аналитическо-расчетный, инструментальный, показания манометров	Параметр опасности; вероятность аварии, инцидента
Лава секция №1-10	Воздушная струя; комбайн	Скорость движения воздушной струи, концентрация метана в воздушной струе; объемы метановыделения $CH_4$ из пласта, скорость работы комбайна	Телеметрия, приборный замер	Параметр опасности; вероятность аварии, инцидента
Лава секция №11-20	Прослойка кремния в пласте	Температура, создаваемая при ударном контакте зубка шнека и прослойка	Телеметрия, приборный метод, аналитический расчет	Параметр опасности; вероятность аварии, инцидента
...	...	...	...	...
Лава секция № $m-n$	Воздушная струя; комбайн	Количество воздуха в районе секций $m-n$ ; запыленность воздуха в районе секций $m-n$ ; температура рабочих частей комбайна, имеющих фрикционное трение	Телеметрия, индикаторный метод (пробы)	Параметр опасности; вероятность превышения норм
Сопряжение с вентиляционным штреком	Кровля, почва, крепь сопряжения	Конвергенция почвы и кровли, опорное давление, пучение пород, давление в гидростойках	Телеметрия, аналитическо-расчетный, инструментальный, показания манометров	Параметр опасности; вероятность аварии, инцидента
Интегральная оценка опасности очистного забоя	---			Средняя сумма вероятностей наступления аварии, инцидента

## Список литературы

1. Новоселов С.В., Панихидников С.А. Травматизм на угольных шахтах России и проблема прогноза определения вероятности наступления аварийной ситуации – взрыва метана в очистном забое сверхкатегорной шахты // Уголь. 2017. № 9. С. 32-35. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/092017.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

2. Баскаков В.П. Организационно-техническое обеспечение снижения риска аварий травм на угольных шахтах. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня «Безопасность угледобычи». 2007. № 17. С. 35-47.

3. Логинов А.К. Развитие системы управления промышленной безопасностью в угольной промышленности. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня «Безопасность угледобычи». 2007. № 17. С. 48-58.

4. Освоение контроля опасных производственных ситуаций – новый этап в повышении безопасности и эффективности производства в АО «СУЭК» / В.Б. Артемьев, В.В. Лисовский, А.А. Сальников и др. // Уголь. 2016. № 12. С. 46-50.

URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/122016.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

5. Новоселов С.В., Панихидников С.А. Основной путь ликвидации взрывов метана в высоконагруженных очистных забоях угольных шахт, опасных по газу, – предупреждение создания взрывоопасной метановоздушной смеси // Уголь. 2018. № 4. С. 31-35. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

6. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3. С. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

7. Яновский А.Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России // Уголь. 2017. № 8. С. 10-14. doi: 10.18796/0041-5790-2017-8-10-14. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

8. АО «СУЭК» Бригада Евгения Космина шахты имени В.Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс» установила мировой рекорд добычи угля // Уголь. 2018. № 10. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

## SAFETY

UDC 622.831.322:622.232.063.54.002.235 © S.V. Novoselov, A.S. Golik, V.B. Popov, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 15-18

## Title

**DETERMINATION OF THE PROBABILITY OF METHANE EXPLOSIONS IN THE COAL FACES OF VERY GASSY MINES UNDER CONDITIONS OF A RADICAL INCREASE IN LOADS - A PREVENTIVE SAFETY MEASURE**

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-15-18>

## Authors

Novoselov S.V.<sup>1,2</sup>, Golik A.S.<sup>2</sup>, Popov V.B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Mine-rescue Business" JSC, Kemerovo, 650002, Russian Federation

<sup>2</sup>International Academy of Ecology and Life Protection Sciences (IAELPS), Kemerovo, 650002, Russian Federation

## Authors' Information

**Novoselov S.V.**, PhD (Economic), Leading Researcher of Laboratory "Mine-rescue business", Academician, e-mail: [nowosyolow.sergej@yandex.ru](mailto:nowosyolow.sergej@yandex.ru)

**Golik A.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician

**Popov V.B.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician

## Abstract

In the paper the problem issues of determining the probability of a methane explosion at hazardous production facilities – sverhkategorijnye coal mines. Based on the analysis of accidents of methane explosions in coal mines of Russia in the long term, the probability of methane explosions for various reasons is determined. Shows the graphical model of the formation of the accident of explosion of methane. Determined the probability of explosions of methane on the methods of Poisson, Bernoulli and Laplace. For safety management, it is recommended to create a "risk gradation" in the working area of lava, and on the basis of them - the development of preventive measures to improve the safety of the excavation site. The main reason for the explosion of methane and the possible combination of matches. The analysis of the probability of occurrence of an explosion in a breakage face at different combinations and the probability of coincidence of the reasons for initiating the explosion. The approximate structure and logic of the study to determine the integrated hazard / (safety) in the treatment face are given. The recommendations of the risk map in the treatment faces are given, the basic principle of preventive elimination of the causes of accidents at the initial stage is proposed.

## Figures:

Fig. Model of methane explosion initiation and risk zones in coal mines

## Keywords

Probability of an explosion, Graphical model of a methane explosion, Gradation of risk, Integrated risk / safety, Risk map, Principle of prevention.

## References

1. Novoselov S.V. & Panihidnikov S.A. Travmatizm na ugod'nykh shakhtakh Rossii i problema prognoza opredeleniya veroyatnosti nastupleniya avarijnoj situatsii - vzryva metana v ochistnom zaboe sverkhkategornoj shakhty [Injury rate in the coal industry of Russia and prediction of methane explosion risk in the hazardous production facility – working face of the extreme explosion category mine]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 9, pp. 32-35. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/092017.pdf> (accessed 15.01.2019).

2. Baskakov V.P. Organizatsionno-tekhicheskoe obespechenie snizheniya riska avariiv travm na ugod'nykh shahtah [Organizational and technical support for emergency and injury rate decrease in coal mines]. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' – Mining Information and Analytical Bulletin*, special issue: Coal production safety, 2007, Separate No. 17, pp. 35-47.

3. Loginov A.K. Razvitie sistemy upravleniya promyshlennoy bezopasnostyu v ugod'noy promyshlennosti [Industrial safety management system development in coal industry]. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' – Mining Information and Analytical Bulletin*, special issue: Coal production safety, 2007, Separate No. 17, pp. 48-58.

4. Artemiev V.B., Lisovskiy V.V., Salnikov A.A., Yutyayev E.P., Ivanov Yu.M. & Kravchuk I.L. Osvoenie kontrolya opasnykh proizvodstvennykh situatsiy – novyy etap v povyshenii bezopasnosti i effektivnosti proizvodstva v AO "SUEK" [Hazardous production situations management is a new stage in "SUEK", JSC production safety and efficiency improvement]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2016, No. 12, pp. 46-50. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/122016.pdf> (accessed 15.01.2019).

5. Novoselov S.V. & Panihidnikov S.A. Osnovnoy put' likvidatsii vzryvov metana v vysokonagruzhennykh ochistnykh zaboyakh ugod'nykh shakht, opasnykh po gazu – preduprezhdenie sozdaniya vzryvoopasnoj metanovozdushnoj smesi [The primary pathway for elimination of methane explosions in highly long-wall face of coal mines dangerous on gas – hazardous minings is to prevent the creation of an explosive methane-air mixture]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 4, pp. 31-35. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042018.pdf> (accessed 15.01.2019).

6. Tarazanov I.G. Itogy raboty ugod'noy promishlennosti Rossii za yanvar – dekabr 2017 [Russia's coal industry performance for January – December, 2017]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 3, pp. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (accessed 15.01.2019).

7. Yanovsky A.B. Osnovnye tendentsii i perspektivy razvitiya ugod'noy promyshlennosti Rossii [Main trends and prospects of the coal industry development in Russia]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 8, pp. 10-14. doi: 10.18796/0041-5790-2017-8-10-14. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (accessed 15.01.2019).

8. "SUEK" JSC. The crew led by Evgeny Kosmin from "SUEK-Kuzbass" JSC V.D. Yalvskiy coal mine has set a world record of coal production. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 10. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102018.pdf> (accessed 15.01.2019).

## Бородинский ремонтно-механический завод СУЭК вошел в ТОП-10 российских предприятий по охране труда

**ООО «Бородинский ремонтно-механический завод», сервисное подразделение Сибирской угольной энергетической компании в Красноярском крае, вошло в ТОП-10 российских предприятий по охране труда. Таковы итоги Всероссийского конкурса для сотрудников служб охраны труда «Мы защищаем профессионалов», которые были подведены в конце декабря 2018 г.**



Авторитетное жюри, в состав которого вошли представители Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Межрегиональной ассоциации содействия обеспечению безопасных условий труда «Эталон» и бизнес-группы «ЗМ Россия», которая специализируется на производстве спецодежды и средств защиты, отметило Бородинский РМЗ за программу автоматизации процессов в охране труда. Заводчане презентовали экспертам пилотный проект внедрения вендингового аппарата по выдаче средств индивидуальной защиты, который был реализован в 2018 г. Машина повышает доступность и качество обеспечения средствами защиты – необходимую номенклатуру сотрудники теперь получают практически без отрыва от производства.

Оценка каждой конкурсной работы производилась по таким критериям, как оригинальность идеи, эффективность, влияние на повышение осознанности среди сотрудников в отношении использования средств защиты, применимость

в других организациях и ряду других. Как подчеркнул президент Ассоциации «Эталон» **Олег Косырев**, «конкурс «Мы защищаем профессионалов» позволяет специалистам по охране труда со всей России делиться профессиональным опытом с коллегами, совершенствовать свою деятельность и внедрять эффективные практики по защите работников на предприятиях, воспитывать соревновательный дух. Проведение такого конкурса — это будущее охраны труда, так как те, кто сейчас находится на острие тенденций в отрасли, стимулируют наше будущее и будущее охраны труда».

Конкурс «Мы защищаем профессионалов» в 2018 г. проводился во второй раз. Свои работы представили специалисты более чем из 100 городов России. Кроме выявления лучших, конкурс стал еще и образовательным проектом: все участники получили доступ к экспертным статьям, мотивационным плакатам для размещения на предприятиях, участию в вебинарах, где есть возможность задать вопросы эксперту и пообщаться с коллегами.

## ЕВРАЗ запустил новую лаву на шахте «Усковская»

Бригада Никиты Горюнова под руководством начальника участка по добыче угля № 5 Ярослава Ерченко в декабре 2018 г. начала добывать уголь из лавы 50-20. Это первая лавы, расположенная по пласту 50 в западном крыле шахты «Усковская». Запасы выемочного участка составляют более 1,9 млн т коксующегося угля марки ГЖ.

В первую лаву западного крыла горняки доставили добычное оборудование с отработанного участка восточного крыла, преодолев под землей расстояние более 4,2 км. Несмотря на длинное транспортное плечо, лаву 50-20 вовремя запустили в работу. Особый вклад в проведение быстрого перемонтажа внесли коллективы участков: по добыче угля № 5, шахтного транспорта шахты «Усковская» и участков № 1 и № 7 Управления по монтажу и перемонтажу горношахтного оборудования.

Добывать уголь в западном крыле горняки будут до конца 2020 года. За это время они извлекут из трех лав около 5 млн т угля. Далее перейдут на новый пласт 48.

Напомним, для продолжения угледобычи на шахте «Усковская» ЕВРАЗ купил лицензию на новый угольный участок «Усковский-2» (пласт 48). Реализация инвестиционного проекта по вскрытию и освоению 48-го пласта обеспечит горняков стабильной работой, а металлургов – высококачественным сырьем в течение 20 лет.

РЕКЛАМА



**НПП ЗАВОД МДУ**

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
**«ЗАВОД МОДУЛЬНЫХ  
ДЕГАЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК»**

**ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ  
МЕТАНА**

**МЕТАН ПОД КОНТРОЛЕМ!**

РОССИЯ  
Г. НОВОКУЗНЕЦК  
ШОССЕ СЕВЕРНОЕ, 8

WWW.ZAVODMDU.RU  
INFO@ZAVODMDU.RU  
ТЕЛ.: +7 (3843) 991-991



# Опыт формирования отвальных массивов во внутренних контурах крупных угольных месторождений

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-20-21>

**ЛЕВЧЕНКО Ярослав Викторович**  
Канд. техн. наук,  
доцент Горного  
института НИТУ «МИСИС»,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: levchenko.mggu@mail.ru

*В статье рассмотрены основные принципы формирования отвальных массивов при отработке крупных угольных месторождений, представленных брахисинклинальными структурами. Приведены примеры из практики открытых горных работ.*  
**Ключевые слова:** отвальный массив, угольное месторождение, вскрышная порода, брахисинклиналь, карьер.

## ВВЕДЕНИЕ

Типизацию отвальных массивов при отработке крупных угольных брахисинклиналей можно выполнить по ряду наиболее значимых факторов. Первым здесь является классический тип внутренних отвалов, в которых складываются вскрышные породы, удаляемые при производстве горных работ. Однако для их создания требуется ряд условий: значительная мощность пластов, благоприятные морфологические условия их залегания и относительно невысокие коэффициенты вскрыши. Данные предпосылки имеет ограниченное число угольных месторождений (Бородинское, Назаровское, Березовское и др.).

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Для большинства угольных месторождений, представленных брахисинклинальными структурами, с определенного этапа их развития объем вскрышных пород, извлекаемых с рабочих горизонтов карьера, начинает превышать приемную способность выработанного карьерного пространства. Последнее приводит к тому, что высота внутренних отвалов начинает превышать уровень рельефа, существовавшего до разработки месторождения, а их контуры выходят за границы карьерных полей [1].

В результате формируется отвал, располагаемый частично в выработанном карьерном пространстве (внутренняя часть отвала), частично за контурами карьерного поля (внешняя часть отвала). Примерами здесь могут служить разрезы, отрабатывающие Кедровско-Крохалевское, Талдинское, Шубаркольское, Борлинское, Нерюнгринское, Соколовское и другие месторождения.

Развитие внешней части отвала в большинстве случаев направлено в сторону, противоположную ведению горных работ, что ведет к увеличению расстояний перемещения вскрышных пород (транспортной работы карьера). Последнее предопределяет поиск альтернативных решений по компоновке отвальных полей и схемам вскрытия, обеспечивающих стабилизацию и снижение транспортной работы карьера [2].

Одним из таких решений являются формирование временных и стационарных отвалов во внутренних контурах крупных угольных месторождений и создание вскрывающих трасс со стороны рабочих бортов для выхода на вышесказанные отвалы.

На ряде крупных угольных месторождений существуют зоны, которые нецелесообразно вовлекать в отработку открытым способом. Данные зоны планируются для отработки подземным способом. В большинстве случаев вышесказанные зоны можно использовать для формирования отвальных массивов. Примерами здесь являются Кедровско-Крохалевское, Соколовское, Шоптыкольское и другие угольные месторождения.

Создание отвалов во внутренних контурах угольных брахисинклиналей возможно также в случаях, когда на месторождениях имеются обширные безугольные зоны или зоны с некондиционным полезным ископаемым (в ряде случаев выделение данных зон обусловлено повышенным уровнем радиоактивности).

Помимо стационарных отвальных массивов во внутреннем контуре крупных угольных месторождений могут быть сформированы временные отвалы, перенос которых возможен на поздних этапах эксплуатации месторождения (обычно через 10–15 лет). Примерами здесь являются временные отвальные массивы, сформированные в периоды горно-капитальных работ на ряде угольных и рудных месторождений. Условия размещения временных отвалов во внутренних контурах месторождений полезных ископаемых исследовались В.С. Хохряковым в работе [3].

В широком масштабе использование временных внутренних отвалов реализовано на разрезе «Северный» (Экибастузский угольный бассейн). Данное решение было предопределено снижением потребности в энергетических углях и связанным с этим выводом из эксплуатации карьерного поля № 3 [4].

Создание временных отвалов обосновано минимизацией текущих затрат, имеющих приоритет над затратами будущих периодов. Расходы на перенос временных отвалов, как правило, меньше за счет использования для этих целей более совершенных комплексов оборудования и инженерных решений. Формирование временных отвалов в контурах угольных брахисинклиналей в значительной

степени определяется расположением основного продуктивного пласта и пластов-спутников.

Примером создания временного отвала с последующим его переносом является разрез «Тугнуйский» (Олонь-Шибирское месторождение). Формирование временных отвалов внутри контура брахисинклинали выполняется при эксплуатации Соколовского угольного месторождения (Кузнецкий бассейн).

Иными факторами продиктовано расположение отвального массива во внутреннем контуре Экибастузского каменноугольного месторождения. Этот случай является «уникальным» в горной практике. Над запасами, которые целесообразно обрабатывать открытым способом, формируется отвальный массив объемом более 500 млн м<sup>3</sup> [5].

Такое решение продиктовано тем, что запасы данной зоны месторождения планируются к отработке в дальней перспективе (через 30–40 лет). За столь значительный временной интервал возможно освоение альтернативных источников энергии, которые сделают разработку запасов к моменту их ввода в эксплуатацию проблематичной.

При отработке крупных брахисинклиналей имеется опыт создания прибортовых (внешних) отвалов. Целесообразность их использования появляется при подходе горных работ к конечному контуру карьера, когда расстояния перемещения вскрышных пород в прибортовой отвал становятся меньше, чем во внутренние отвалы. Использование прибортовых отвальных массивов при отработке разреза «Тугнуйский» (Олонь-Шибирское месторождение) рассмотрено в работе [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во внутренних контурах многих крупных угольных месторождений существуют площади, в которых возможно создание отвальных массивов. По условиям формирования они разделяются на отвальные массивы, размещаемые в контурах подземной отработки, в безугольных зонах место-

рождений, на площадях, планируемых к отработке в дальней перспективе, а также на временные отвалы. Возможность формирования отвальных массивов во внутренних контурах брахисинклиналей является одним из значимых способов регулирования транспортной работы карьера.

Технические решения по размещению отвальных массивов во внутренних контурах брахисинклиналей реализованы и планируются к реализации на ряде крупных угольных месторождений (Экибастузское, Кедровско-Крохалевское, Соколовское, Ерковецкое и др.).

## Список литературы

1. Закономерности формирования отвальных массивов при отработке крупных угольных месторождений / Супрун В.И., Радченко С.А., Левченко Я.В. и др. // Уголь. 2017. № 7. С. 32–38. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/072017.pdf> (дата обращения 15.01.2019).
2. Левченко Я.В. Обоснование схем вскрытия верхней группы рабочих горизонтов угольных карьеров: дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 156 с.
3. Хохряков В.С. Проектирование карьеров. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1992. 382 с.
4. Щукин В.К., Мелехов Д.П. Трансформация технологий добычи угля на разрезах Экибастузского месторождения, новые решения – путь к мировым стандартам // Уголь. 2015. № 6. С. 12–17. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/062015.pdf> (дата обращения 15.01.2019).
5. Вскрытие карьерных полей / В.И. Супрун, В.Б. Артемьев, П.И. Опанасенко и др. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2016. 248 с.
6. Вскрытие и отработка карьерных полей Олонь-Шибирского месторождения каменного угля / Супрун В.И., Пастихин Д.В., Радченко С.А. и др. // Уголь. 2012. № 12. С. 10–13. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/122012.pdf> (дата обращения 15.01.2019).

## SURFACE MINING

UDC 622.271 © Ya.V. Levchenko, 2019

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 20-21

### Title

**PRACTICE OF DUMPING MASSES FORMATION IN THE INNER CIRCUITS DURING LARGE COAL DEPOSITS WORKINGS**

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-20-21>

### Authors

Levchenko Ya.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

### Authors' Information

**Levchenko Ya.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor Mining Institute, e-mail: [levchenko.mggu@mail.ru](mailto:levchenko.mggu@mail.ru)

### Abstract

The paper discusses the basic principles of the formation of dump massifs during the development of large coal deposits, which are represented by brachysyncline structures. Examples are given from surface mining practices.

### Keywords

Dump array, Coal deposit, Overburden rock, Brachysyncline, Open-pit mines.

### References

1. Супрун В.И., Радченко С.А., Левченко Я.В., Voroshilin K.S., Minibaev R.R. & Morozova T.A. Zakonomernosti formirovaniya otval'nykh massivov pri otrabotke krupnykh ugol'nykh mestorozhdeniy [Logic of dumping masses formation during large coal deposits workings]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 7, pp. 32-38. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/072017.pdf> (accessed 15.01.2019).

2. Levchenko Ya.V. *Obosnovanie skhem vskrytiya verkhney gruppy rabochih gorizontov ugolnyh kar'erov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Substantiation of coal opencasts top producing levels opening up model. PhD (Engineering) diss.]. Moscow, 2016, 156 p.
3. Khokhryakov V.S. *Proektirovanie kar'erov* [Designing of open-pit mines]. 3-th updated and revised edition. Moscow, Nedra Publ., 1992, 382 p.
4. Shchukin V.K. & Melekhov D.P. Transformatsiya tekhnologiy dobychi uglya na razrezah Ekibastuzskogo mestorozhdeniya, novye resheniya – put k mirovym standartam [Transformation of coal mining technologies on the open-pit mines of Ekibastuz fields opening up]. Moscow, "Gornoye Delo" Publ., "Kimmeriysky Tsentr" LLC, 2016, 248 p.
5. Супрун В.И., Артемьев В.Б., Опанасенко П.И. et al. Vskrytie kar'ernykh poley [Opencast fields opening up]. Moscow, "Gornoye Delo" Publ., "Kimmeriysky Tsentr" LLC, 2016, 248 p.
6. Супрун В.И., Пастихин Д.В., Радченко С.А., Voroshilin K.S. & Panchenko O.L. Vskrytie i otrabotka kar'ernykh poley Olon'-Shibirskogo mestorozhdeniya kamennogo uglya [Opening and working of quarry fields at the Olon-Shabirsky coal field]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2012, No. 12, pp. 10-13. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/122012.pdf> (accessed 15.01.2019).



## Мировым рекордом производительности труда завершили год горняки разреза «Черниговец»

**По итогам 2018 года бригада экскаватора P&H 2800 № 52 АО «Черниговец» (АО ХК «СДС-Уголь») под руководством Руслана Федякина установила очередной мировой рекорд по отгрузке горной массы на данном типе оборудования.**

Согласно результатам анализа производительности горного оборудования, проведенного компанией Joy Global (Komatsu Mining Corp.) при помощи системы мониторинга PreVail, годовая производительность экскаватора P&H 2800 № 52 (с вместимостью ковша 33,6 куб. м) 13 738 тыс. куб. м, достигнутая в 2018 г., является наивысшим достижением за всю историю эксплуатации данного типа карьерных экскаваторов. Официальное уведомление об этом и благодарность за безопасный высокопроизводительный труд поступили в АО ХК «СДС-Уголь» от компании-производителя в январе 2019 г.

По словам генерального директора АО «Черниговец» **Юрия Дерябина**, 2018 год стал для бригады Руслана Федякина продуктивным на рекорды: *«В течение года бригада дважды устанавливала мировые достижения по месячному объему отгруженной горной массы, превосходя свои же собственные достижения. Сейчас их наивысший показатель составляет 1 626 000 куб. м горной массы в месяц. Таких успехов экипаж достиг благодаря грамотной организации рабочего процесса инженерно-техническими работниками, а также высокому командному духу бригады, сплоченной годами совместной работы».*

Напомним, что на предприятиях АО ХК «СДС-Уголь» в течение 2018 года было установлено семь мировых рекордов. Проходческая бригада Павла Михеева (участок № 5 ООО «Шахта Листвяжная») установила мировой рекорд, пройдя за 31 день июля 1 650 м горных выработок на про-

ходческом комплексе Continuous Bolter Miner MB670 производства Sandvik.

По итогам месяца безопасного высокопроизводительного труда в июле 2018 г. бригада экскаватора P&H 2800 № 52 под руководством Руслана Федякина (АО «Черниговец») отгрузила 1 415 тыс. куб. м горных пород, установив мировой рекорд по отгрузке горной массы на данном типе оборудования. В ноябре бригада превзошла собственный рекорд, отгрузив 1 626 тыс. куб. м горной массы.

Бригада экскаватора Liebherr R 9200 № 15 (вместимость ковша - 12,5 куб. м) бригадира Алексея Бреева (ООО «Шахтоуправление «Майское») установила мировой рекорд по отгрузке горной массы на данном типе оборудования, отгрузив в июле 502 тыс. куб. м горной массы и побила собственный рекорд в сентябре, увеличив объемы отгрузки до 510 тыс. куб. м.

30 октября бригада машинистов экскаватора P&H 2800 № 201 горного участка № 2 (ООО «Шахтоуправление «Майское») под руководством Андрея Лаптева показала максимальный суточный результат по отгрузке горной массы – 66 783 куб. м, что является лучшим в мире, по оценке производителя P&H.

*«Череды мировых достижений – яркое подтверждение тому, что установленные рекорды не разовые события, а результат ежедневной планомерной и ритмичной работы всего трудового коллектива холдинговой компании «СДС-Уголь». Грамотное планирование, качественная подготовка взорванной горной массы, слаженность производственных и вспомогательных служб, подготовка персонала, оперативная работа линейного надзора и многое другое – вот слагаемые успеха!»* - отметил генеральный директор АО ХК «СДС-Уголь» **Геннадий Алексеев**.

Бригада Руслана Федякина с разреза «Черниговец»





## СУЭК презентовала свои предприятия в Забайкалье на Дне карьеры в ЗабГУ

*В Чите на базе горного факультета Забайкальского государственного университета (ЗабГУ) впервые прошел День карьеры. На мероприятии презентовали себя ведущие компании в сфере горной отрасли: ОК РУСАЛ, ПАО «ГМК «Норильский никель», АО «Сибирская угольная энергетическая компания» (СУЭК) и др.*

СУЭК представила четыре предприятия, которые работают на территории Забайкальского края. Это АО «Разрез Харанорский», разрез «Апсатский», разрез «Восточный» ООО «Читауголь» и ООО «Черновский РМЗ».

День карьеры открылся с обзорных лекций от каждой компании. Затем студенты смогли познакомиться с деятельностью предприятий более близко уже на их тематических площадках. Представители СУЭК рассказали о технологии и особенностях ведения горных работ на производстве, а также о перспективах развития. Так, апсатские горняки разрабатывают второе по величине в России месторождение ценных коксующихся углей. На разрезе «Восточный» добычу вести приходится в условиях сильной обводненности – месторождение находится в долине реки Ингода. Разрез «Харанорский» – одно из крупнейших угледобывающих предприятий в Забайкалье и основной поставщик твердого топлива для региональных теплоэнергетических компаний. Уголь к потребителям отправляется в вагонах сразу из забоя.



Интересовали будущих горняков также вопросы, касающиеся прохождения практики, возможности трудоустройства и социальные гарантии.

*«СУЭК создает хорошие условия для своих сотрудников... Кроме того, у нас хорошие перспективы для молодых сотрудников. Самые активные у нас участвуют в научно-практических конференциях, представляя свои инновационные проекты. Авторы рационализаторских идей получают возможность пройти обучение по Президентской программе в Москве, Санкт-Петербурге и за рубежом», – рассказала заместитель генерального директора по подбору персонала АО «Разрез Харанорский» Ирина Иванова.*

В Дне карьеры приняли участие около 300 учащихся горного факультета. Это будущие маркшейдеры, геофизики, гидрогеологи, обогатители полезных ископаемых, специалисты по открытым и горным работам.

В подобном формате забайкальские предприятия СУЭК участвовали впервые. Однако, как отметили представители ЗабГУ и СУЭК этот опыт был положительный и совместные мероприятия будут проводиться в дальнейшем. Кроме того, уже в 2019 г. для будущих горняков на горном факультете будет оборудована аудитория в корпоративном стиле СУЭК с информационными материалами о забайкальских предприятиях компании.

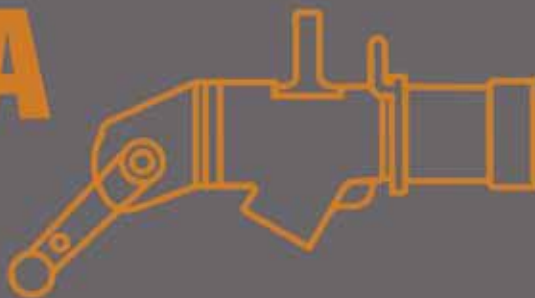
## МУФТА ПРО

### Мы предлагаем:

- Краны топливозаправочные
- Заправочные клапаны
- Вентиляционные клапаны
- Системы FFS PITBOSS для заправки карьерной техники
- Системы учёта топлива SAMPI S.p.A.
- Стационарные, мобильные и автотопливозаправщики со скоростью до 1500 л/минуту

### Контакты:

ООО «МУФТА ПРО»  
тел.: +7 (499) 394 6660  
e-mail: mufapro@gmail.com  
www.mufapro.ru/  
www.mufapro.com



FAST FILL  
SYSTEMS



WIGGINS



FLOMAX

СИСТЕМЫ БЫСТРОЙ ЗАПРАВКИ



## Бригада экскаватора на Восточно-Бейском разрезе установила мировой рекорд годовой производительности

*В 2018 г. на Восточно-Бейском разрезе экипаж экскаватора Komatsu PC-3000 № 3, возглавляемый полным кавалером знака «Шахтерская слава» бригадиром Виктором Бычковым, впервые отгрузил в автосамосвалы 7,4 млн куб. м горной массы. В январе 2019 г. производитель техники официально подтвердил, что достигнутый горняками СУЭК результат является «мировым рекордом производительности экскаваторов данного класса».*

«Существенной деталью этого достижения является то, что экскаватор Komatsu PC-3000 № 3 эксплуатируется бригадой Виктора Бычкова уже 5 лет, - отметил генеральный директор ООО «СУЭК-Хакасия» **Алексей Килин**. - Это говорит о том, что весь экипаж относится к технике рачительно, ответственно, профессионально. Безусловно, такой подход укрепит добрую славу коллектива «Восточно-Бейского разреза», авторитет предприятия в угольной отрасли».

Чтобы обеспечить максимальную заинтересованность горняков в достижении высоких производственных результатов, на Восточно-Бейском разрезе экипажи экскаваторов, автосамосвалов и дорожной техники объединены в производственные комплексы. В составе комплекса, основой которого является экскаватор Komatsu PC-3000 № 3, входят также пять автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 130 т и другая техника. Для ритмичной работы комплекса, как и предприятия в целом, необходим максимально сбалансированный план ведения горных работ, который учтет все существенные возможности производственного коллектива. Очередной рекорд – это свидетельство того, что на Восточно-Бейском разрезе управляют техникой и производством специалисты высокого уровня.

«Хочется назвать поименно весь экипаж рекордсменов, - говорит исполнительный директор ООО «Восточно-Бейский разрез» **Денис Попов**. - Это машинисты экскаватора Бычков Виктор Алексеевич, Дыскин Кирилл Викторович, Панков Владимир Васильевич, Васюков Константин Николаевич, Бычков Андрей Владимирович и помощники машиниста Непомниций Дмитрий Владимирович, Гоппе Владимир Богданович, Денисов Максим Дмитриевич, Шемякин Кирилл Анатольевич. Помимо весомого вклада в производственные достижения предприятия этот экипаж вносит неоценимый вклад в формирование трудовых традиций предприятия. Здесь прошли школу горняцкого братства и профессионализма многие работники Восточно-Бейского разреза, включая машинистов нашего первого экскаватора Komatsu PC-4000 № 7, который приступил к работе в ноябре 2018 г.».

На Восточно-Бейском разрезе созданы условия для роста объемов производства в 2019 г. Знаковым событием для долгосрочной стабильности предприятия должно стать начало строительства обогатительной фабрики.





# Опыт комплексной изоляции горных выработок шахт Распадской угольной компании. Шахта «Распадская-Коксовая» – часть I

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-25-30>

## НУРГАЛИЕВ Евгений Илдарович

Генеральный директор  
научно-производственной компании  
ООО «УГМ-Сервис»,  
650014, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: [ugm\\_kuz@mail.ru](mailto:ugm_kuz@mail.ru)

## МАЙОРОВ Александр Евгеньевич

Доктор техн. наук, профессор РАН,  
заведующий лабораторией геомеханики  
и геометризации  
угольных месторождений ФИЦ УУХ СО РАН,  
профессор кафедры теоретической  
и геотехнической механики КузГТУ,  
650065, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: [majorov-ae@mail.ru](mailto:majorov-ae@mail.ru)

## ЧЕРЕПОВ Андрей Александрович

Технический директор  
ООО «Распадская угольная компания»,  
652877, г. Междуреченск, Россия,  
e-mail: [Andrey.Cherepov@evraz.com](mailto:Andrey.Cherepov@evraz.com)

*В статье рассмотрен опыт внедрения технологии комплексной изоляции пластовых горных выработок в шахте «Распадская-Коксовая». Технология включает возведение монолитных перемычек с инъекционной цементацией прилегающей нарушенной приконтурной зоны массива пород. Показан опыт применения специализированных цементных смесей УГМ и УГМ-П. Доказана работоспособность элементов системы «перемычка – тампонажная завеса». Подтверждено качество выполненной изоляции горных выработок в условиях пласта III. Обоснована эффективность консолидирующих изоляционных систем, которые способствуют снижению концентрации метана и кислорода в отработанном пространстве, стабилизации температуры и эндогенных процессов в угольных пластах.*

**Ключевые слова:** безопасность, изоляция, перемычка, приконтурный массив, трещины, фильтрация, инъекция, упрочнение, уплотнение.

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Обеспечение эффективной и безопасной отработки запасов – основная задача подземной добычи угля.

Некоторые важные особенности современной угледобычи:

– обеспечение эффективной вентиляции выработанного пространства (один из основных факторов, сдерживающих темпы проходки и добычи угля);

– управление газовыделением и физическим состоянием массива при достигнутом уровне нагрузок на очистные забои;

– формирование колоссальных объемов полостей: в завальной части при отработке пласта с обрушением кровли, при камерно-столбовой системе разработки и других вариантах (накладываются более жесткие требования к качеству изоляции выработанного пространства, содержанию кислорода и метана в атмосфере);

– наличие охранных целиков и участков приконтурной зоны угольного пласта с повышенной трещиноватостью (активная фильтрация воздуха с развитием эндогенных окислительных процессов) и т.д.

В каждом из указанных случаев возможно присутствие общей проблемы: повышение концентрации кислорода и/или метана в выработанном пространстве при наличии системы трещин в массиве способствует как нарушению режимов проветривания и качества изоляции горных выработок, так и возникновению очагов самонагревания угля, эндогенных пожаров.

Любой из известных подходов к решению указанной проблемы должен учитывать технологии возведения изоляционных взрывоустойчивых перемычек, без которых в настоящее время практически невозможна подземная добыча угля. В Кузбассе эксплуатируются сотни подобных сооружений, при возведении основной части которых полностью или частично не было учтено реальное физическое состояние прилегающего массива пород в изолируемой горной выработке.

Возникает актуальность развития технологий оперативной качественной комплексной изоляции выработанного пространства.

Безвзрывовые монолитные технологии – одно из перспективных, широко применяемых направлений, обеспечивающих технологичность, оперативность и заданную надежность подземного сооружения. Возведение и эксплуатация изоляционных перемычек без соответствующего упрочнения и уплотнения (консолидации) нарушенной приконтурной зоны приводят к значительным перетокам газовой среды через изолирующее сооружение, нарушению требований промышленной безопасности к устойчивости и долговечности конструкции. При этом широкое применение составов именно на основе цемента обусловлено совокупностью факто-



ров: их физико-механическими характеристиками, долговечностью, относительно низкой стоимостью и, что не менее важно, их термостойкостью.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Научно-производственной компанией ООО «УГМ-Сервис» при научном сопровождении специалистов Института угля СО РАН (структурное подразделение ФИЦ УУХ СО РАН), опираясь на значительный опыт решения задач управления физико-механическим состоянием массива горных пород и изоляции горных выработок, в том числе [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19], разработана технология комплексной изоляции горных выработок с нарушенной приконтурной зоной консолидирующей системой «перемычка – тампонажная завеса». Технология учитывает необходимое совмещение процессов возведения монолитной перемычки с инъекционным упрочнением и уплотнением, изменяющих физико-механические характеристики нарушенных пород и создающих несущие структурные связи в процессе интеграции сооружения во вмещающий массив. При этом возникают взаимоисключающие условия: высокая проникающая способность цементной смеси и необходимость качественного заполнения трещин горных пород при малом времени потери ее текучести и минимизации протечек состава в горную выработку.

Учитывая поставленные задачи, специалистами ООО «УГМ-Сервис» созданы специализированные взаимодополняющие импортозамещающие составы на основе активированного цемента, минеральных наполнителей, твердых техногенных отходов ТЭЦ и металлургического производства: УГМ для инъекционного тампонажа нарушенных горных пород в сложных условиях и УГМ-П для возведения монолитных безврубовых перемычек с тампонажем крупных трещин приконтурной зоны пород. Исследованы их реологические и физико-механические характеристики, запущено промышленное производство мощностью более 2,5 тыс. т в месяц.

Для реализации разработанных технологий апробированы и приняты к исполнению на шахтах Распадской угольной компании (Евраз) инструкции по применению указанных цементных смесей, методические указания по неразрушающему контролю состояния перемычек в шахтах и рудниках, методические указания по оценке трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород.

Физическим объектом исследований являются горные выработки, прилегающие к участку КСО 1-2 мощного пологого угольного пласта III шахты «Распадская-Коксовая». На шахте успешно внедрена камерно-столбовая система разработки (КСО) запасов [20]. Неиспользуемые горные выработки и выработанные пространства традиционно изолируют безврубовыми монолитными взрывоустойчивыми перемычками.

**Цель исследования:** обоснование параметров технологии изоляции пластовых выработок безврубовыми монолитными перемычками с консолидированной приконтурной зоной пород, обеспечивающей безопасность ведения горных работ при ресурсосберегающих строительстве и эксплуатации угольных шахт.

**Основная задача исследования:** исследовать работоспособность элементов консолидирующей системы «пе-

ремычка – тампонажная завеса» из цементных смесей серии УГМ с оценкой качества и эффективности изоляции в условиях горных выработок пласта III шахты «Распадская-Коксовая».

### РЕЗУЛЬТАТЫ

**Этап 1.** Задача этапа: оценить влияние толщины перемычки на ее герметичность в условиях нарушенной приконтурной зоны горной выработки.

При ведении горных работ, повлекших изменение напряженно-деформированного состояния вмещающего массива пород, произошла частичная разгерметизация взрывоустойчивой монолитной перемычки № 7410 (сечение – 6,5 м на 3,6 м и толщина – 4,1 м), ранее возведенной в конвейерном бремсберге пласта III при изоляции участка КСО 1-2. Обнаружено нарушение сплошности прилегающего приконтурного массива пород с образованием системы трещин раскрытием до 5 мм. Фиксировались избыточное давление и переток метана – пробы воздушной смеси около перемычки показали уровень, близкий к ПДК.

Для исправления ситуации службами шахты были разработаны дополнительные мероприятия по усилению изоляции – к указанной перемычке возведен прилив толщиной 4,1 м из смеси УГМ-П, перекрывающий основную площадь прилегающего контура выработки с раскрытыми устьями трещин. Далее, проведена оценка трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород, концентрации метана около перемычки. При этом отмечены частичный пропитывающий тампонаж крупных трещин смесью УГМ-П и практически неизменное состояние более мелких трещин приконтурной зоны прилегающей горной выработки. Несмотря на частичное снижение фильтрации газов, подтверждены низкая эффективность и высокая материалоемкость примененного способа герметизации нарушений и повышения устойчивости сооружения.

Для возможности реализации комплексного подхода к изоляции горных выработок консолидирующими системами предложено опробовать базовый элемент технологии – инъекционную тампонажную завесу из специализированной смеси в нарушенном массиве пород вокруг перемычек.

**Этап 2.** Учитывая непрерывность процесса добычи угля и существующую горнотехническую ситуацию, исследование технологии возведения консолидирующей системы «перемычка – тампонажная завеса» проведено в условиях предварительного возведения безврубовых монолитных изолирующих перемычек, а через некоторое время – последующего возведения тампонажных завес способом инъекционной цементации прилегающего нарушенного приконтурного массива пород горной выработки.

#### Задачи этапа:

- оценить качество возведения тел безврубовых монолитных перемычек из смеси УГМ-П;
- оценить проникающую способность смеси УГМ-П в трещины прилегающих горных пород при безнапорном опалубочном возведении тела безврубовых перемычек;
- отработать технологию инъекционной цементации прилегающего приконтурного массива пород горной выработки смесью УГМ с применением разработанной смесительно-нагнетательной установки АСА-1 на базе облегченного мембранного растворонасоса СО-49С, оценить при этом эффективность различных схем подклю-



Рис. 1. Выкопировка из плана горных работ пласта III участка КСО 1-2 на поле № 2 (отмечена взрывоустойчивая перемычка № 7416)

Fig. 1. Extract from official copy of the mining plan of Seam III, Room-and-Pillar Mining area 1-2 in field No. 2 (explosion-proof dam No. 7416 is marked)

чения нагнетательных шпуров к растворунаосу и режимов нагнетания смеси;

- оценить рациональную область инъекционной обработки нарушенного массива пород и качество тампонажной завесы из смеси УГМ вокруг перемычек;
- разработать рекомендации по повышению эффективности технологии изоляции горных выработок.

Для оценки качества изоляции горной выработки принят комплексный критерий, учитывающий данные о техническом состоянии подземного сооружения и приконтурной зоны пород горной выработки, фильтрационных характеристиках нарушений (трещин). Соответственно, развивая направление оперативной диагностики и контроля технического состояния изоляционных сооружений, апробированы следующие методы контроля, проводимые на различных этапах реализации технологии:

- неразрушающий (визуально-измерительный), с оценкой качества наружной поверхности контура горной выработки, тела перемычки, стенок диагностических шпуров в приконтурной зоне пород, размеров нарушений;
- реометрический, с оценкой проницаемости приконтурной зоны пород (используются закономерности изменения параметров фильтрации сжатого воздуха через раскрытые трещины массива) и тела перемычки (используются закономерности изменения параметров фильтрации воды через поры и капилляры цементного камня);
- разрушающий, с оценкой физико-механических характеристик – контактной прочности пород стенок диагностических шпуров эндоскопическим зондом пинометра и тела перемычки молотком Шмидта, прочности на одноосное сжатие и изгиб образцов смесей.

Так, с применением общепринятого в настоящее время опалубочного монолитного безврубного способа возведены три взрывоустойчивые изолирующие перемычки из смеси УГМ-П для изоляции участка КСО 1-2 пласта III: – перемычка № 7416 возведена в транспортном бремсберге, в 6 м от сопряжения со сбойкой № 10. На примере данной перемычки место ведения работ показано на рис. 1.

Фактическое сечение выработки вчерне в месте возведения составляет  $27,3 \text{ м}^2$  (высота – 4,2 м, ширина – 6,5 м) – перемычка № 7424 возведена в сбойке № 10, в 6 м от сопряжения с транспортным бремсбергом. Фактическое сечение выработки вчерне в месте возведения состав-

ляет  $20,3 \text{ м}^2$  (высота – 3,5 м, ширина – 5,8 м) – перемычка № 7425 возведена в вентиляционном бремсберге, в 6 м от сопряжения с промежуточным штреком. Фактическое сечение выработки вчерне в месте возведения составляет  $33,6 \text{ м}^2$  (высота – 5,8 м, ширина – 5,8 м).

Далее, проведена промежуточная оценка качества изоляции горных выработок сразу после возведения перемычек. При визуально-измерительном контроле наружная поверхность всех перемычек сухая, шероховатая, серого цвета, с редко расположенными кавернами и выбоинами размером до 10-15 мм, следами от опалубки. Прилегающие к перемычке горные породы непосредственной кровли сухие, с крупными зонами напластований, видны выходы на поверхность сетки трещин раскрытием до 4 мм. Пласт угля (борта и почва) перемят. Для обследования состояния приконтурной зоны рядом с перемычками пробурено по три диагностических шпура глубиной около 3 м – один вертикально в кровлю, и два в борта, под углом  $45-60^\circ$  к горизонту. В процессе эндоскопического контроля определено, что на расстоянии до 1,5 м в кровле и до 2 м в бортах обследуемых выработок залегают нарушенные породы с сильной трещиноватостью и распределенной системой трещин. В зоне возведенных перемычек в правом борту выработок на глубине от 0,2 до 2,6 м максимальное раскрытие трещин составляет 6-9 мм, а в левом борту 9-10 мм. Пример нарушений левого борта горной выработки рядом с взрывоустойчивой перемычкой № 7416 представлен на рис. 2. В области контакта приконтурного массива горных пород с телом перемычек нарушений не выявлено.

При заполнении опалубки зафиксировано безнапорное распространение смеси УГМ-П по трещинам прилегающих нарушенных горных пород: до 0,2 м (в горизонтальной плоскости) – при раскрытии трещин от 0,1 до 2,0 мм; до 0,5 м – при раскрытии трещин от 2,0 до 5,0 мм; до 1,0 м – при раскрытии трещин от 5,0 до 8,0 мм. Выявлен случай распространения смеси до 1,5 м по одиночной трещине раскрытием 8,0-12,0 мм.

Ориентируясь на многолетний опыт исследований Кузниишахтостроя, КузГТУ и Кольского научного центра [2, 3, 5, 21, 22], по разработанным методическим указаниям проведена оперативная оценка фактической трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород приконтурной зоны. Применен реометрический метод, в котором используются закономерности изменения пара-



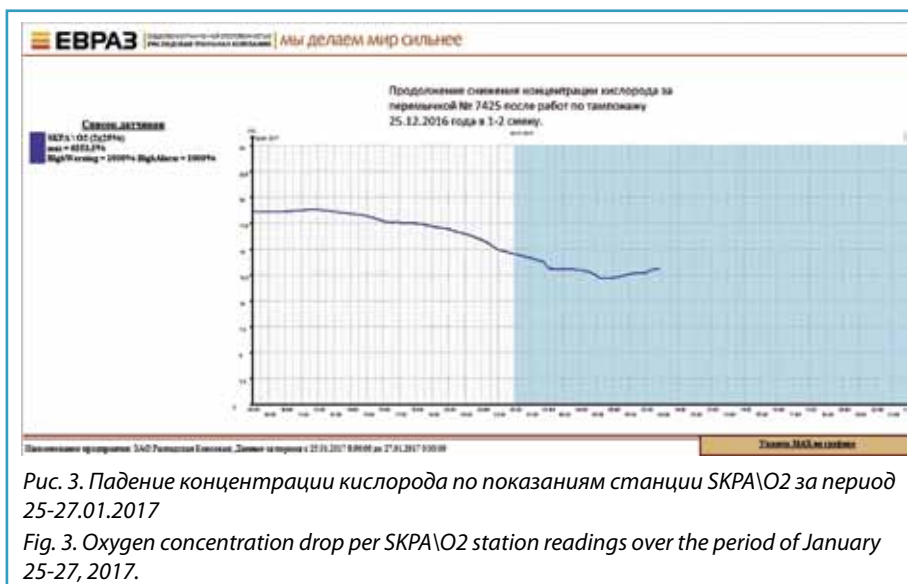
Рис. 2. Пример нарушений левого борта взрывоустойчивой перемычки № 7416 на глубине 1,0 м в шпуре № 4  
Fig. 2. Example of the explosion-proof dam No. 7416 left side distortion at a depth of 1.0 m in hole No. 4

метров фильтрации сжатого воздуха через раскрытые трещины. Базовым прибором контроля в специально разработанной мобильной установке является автономный портативный цифровой манометр-регистратор Crystal XP2i с даталоггером, термокомпенсацией, в искробезопасном исполнении (Ex), пылевлагонепроницаемом корпусе (IP67). В процессе замера показаний давления в аккумуляторной емкости, подключенной к устью диагностического шпура через шланг с пакером, манометр-регистратор автоматически фиксирует четыре показания в секунду, рассчитывая среднее значение, по которому выстраивает график изменения давления.

Качество тампонажа массива горных пород следует считать удовлетворительным, если коэффициент остаточной трещиноватости составляет менее 0,002, а совокупное раскрытие трещин не превышает 1 мм на метр длины диагностического шпура. Соответственно, учитывая, что полученные коэффициенты трещиноватости на порядок превосходят указанное значение, а среднее раскрытие трещин находится в диапазоне от 6 до 10 мм, нарушение приконтурной зоны перемычек относится к третьему типу – с высокой стадией. Очевидна необходимость применения дополнительных мероприятий по инъекционному упрочнению и уплотнению (тампонажу) приконтурной зоны горных пород указанных перемычек минеральными смесями.

Для дальнейшего выполнения поставленных задач вокруг каждой перемычки веерно, с наклоном на нее, пробурены нагнетательные шпуры диаметром 30 мм и длиной 3 м, с расстоянием между устьями около 1 м (по 4 в борта и 5 в кровлю). Нагнетание смеси УГМ в каждый шпур проводилось в среднем за три цикла (этапа) при постоянном давлении до 1 МПа с расходом до 4 м<sup>3</sup>/ч. Смесь УГМ применена двухкомпонентная, с расходом на один цикл 80 кг (два мешка сухой смеси компонента А и одна канистра жидкого компонента Б). Всего для проведения работ по тампонажу приконтурных зон перемычек № 7416, № 7424 и № 7425 было израсходовано соответственно 1,5; 1,6 и 1,8 т сухой смеси. В процессе возведения тампонажных завес в радиусе 1-1,5 м от устья шпуров наблюдался выход смеси УГМ на поверхность контура горной выработки.

Последующий визуально-измерительный и реометрический контроль показали высокое качество выполненной изоляции с допустимым минимумом остаточной трещиноватости приконтурной зоны при раскрытии трещин менее 0,1 мм. Положительный результат тампонажа также подтвержден данными общешахтной системы контроля, которой было зарегистрировано падение концентрации кислорода в изолированном пространстве за перемычками № 7410, № 7416 и № 7424 с 19 до 12%. Регистрационные данные показали, что снижение концентрации кислорода произошло одновременно с началом и активно продолжалось после завершения работ по возведению тампонажных завес. Пример факта снижения концентрации кислорода в изолированном пространстве представлен на рис. 3. При



замере газоанализатором в непосредственной близости от взрывоустойчивых перемычек № 7416 и № 7424 было отмечено снижение концентрации CH<sub>4</sub> до допустимых значений (до проведения тампонажных работ составляла 2%).

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Доказана работоспособность элементов системы «перемычка – тампонажная завеса» из цементных смесей серии УГМ, подтверждены удовлетворительное качество и высокая эффективность изоляции в условиях горных выработок пласта III шахты «Распадская-Коксовая». Технология изоляции пластовых выработок безврубными монолитными перемычками с упрочненной и уплотненной приконтурной зоной пород способствует эффективной консолидации нарушенной приконтурной зоны, снижению концентрации метана и кислорода в отработанном пространстве. Снижение фильтрационных характеристик угольного пласта является важным мероприятием, непосредственно влияющим на стабилизацию эндогенных окислительных процессов.

2. Технология монолитного опалубочного возведения перемычек из смеси УГМ-П позволяет обеспечить эффективное перекрытие горной выработки и качественный контакт с контуром, при частичном проникновении смеси в трещины вмещающих пород на глубину до 1,5 м. Эффект «прораствания» тела монолитного сооружения в массив является частью процесса его интеграции, снижая переток газа (метановоздушной смеси) через систему трещин вмещающих пород из изолируемого выработанного пространства.

3. Наиболее технологичной является коллекторная схема подключения инъекционных шпуров к нагнетательной магистрали, обеспечивающая регулируемую подачу смеси в зависимости от изменяющегося гидродинамического сопротивления обрабатываемой зоны массива трещиноватых пород. Рациональный радиус распространения инъекционной смеси в основном составляет около 1,5-2 м, что при веерном расположении инъекционных шпуров глубиной 2-3 метра позволяет сформировать качественную тампонажную завесу вокруг изолирующей перемычки. При этом базовым режимом нагнетания смеси УГМ в каждую скважину является: в начале «с постоянным расходом» около 4-5 м<sup>3</sup>/ч в течение 2-3 мин., далее «с постоянным давлением» около 0,5-1 МПа в течение времени по-



тери подвижности смеси (около 15 мин.). Качество применяемых цементных смесей и их заявленные характеристики гарантированы разработчиком при выполнении требований соответствующей инструкции по применению, где особо оговорены условия их приготовления с соблюдением водо-твердого соотношения и выполнения работ по возведению перемычек.

4. При выборе места возведения взрывоустойчивых изолирующих безвзрывовых перемычек рекомендуется проводить оценку физического состояния вмещающих горных пород, учитывая степень их нарушенности (трещиноватости) и фильтрационные свойства. При этом для более эффективной и оперативной организации работ необходимо проведение визуально-измерительного контроля зон нарушений эндоскопическим методом, а оценку степени проницаемости массива до и после инъекционной цементации – реометрическим методом, в котором используются закономерности изменения параметров фильтрации сжатого воздуха через трещины. При необходимости восстановления изоляционных свойств ранее возведенной перемычки необходимо проводить последующее инъекционное упрочнение и тампонаж нарушенных прилегающих горных пород специализированной смесью УГМ. У эксплуатируемых перемычек обращать особое внимание на зону контакта горных пород с телом перемычки.

5. Развитие экспресс-методов контроля технического состояния и оценки остаточного ресурса работы подземных изоляционных сооружений направлено на отработку комплексного критерия оценки. Также в настоящее время не оправдано забыты базовые экспресс-методы – визуально-измерительный и реометрический контроль, поставляющие прямые данные для принятия оперативных решений. В дальнейшем, необходимо создание общешахтной системы мониторинга и контроля технического состояния с паспортизацией изоляционных сооружений.

6. Для повышения эффективности технологии изоляции горных выработок необходимо объединение во времени и пространстве основных операций по возведению тела перемычки и тампонажной завесы в единый комплекс работ, что позволит получить синергетический эффект повышения качества возведения ответственного подземного сооружения при целевой направленности применяемых технологических решений на единый результат.

7. Внедряемый на шахтах РУК (Евраз) комплексный подход к вопросам изоляции выработанного пространства позволяет оперативно и эффективно решать задачи повышения безопасности ведения горных работ. При этом такой немаловажный фактор, как высокий уровень подготовки технических служб, способствует пониманию важности внедрения новых технологий, принятию оперативных решений, качественно влияющих на эффективность добычи угля.

### Список литературы

1. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И. Клишин, Л.В. Зворыгин, А.В. Лебедев, А.В. Савченко. Новосибирск: Издательский дом «Новосибирский писатель», 2011. 524 с.

2. Хмяляйнен В.А., Бурков Ю.В., Сыркин П.С. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок. М.: Недра, 1994. 400 с.

3. Хмяляйнен В.А., Митраков В.И., Сыркин П.С. Физико-химическое укрепление пород при сооружении выработок. М.: Недра, 1996. 352 с.

4. Майоров А.Е., Хмяляйнен В.А. Консолидирующее крепление горных выработок. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 260 с.

5. Возведение противодиффузионных завес вокруг водоупорных перемычек / В.А. Хмяляйнен, Г.С. Франкевич, В.А. Жеребцов и др. Кемерово, 2000. 119 с.

6. Майоров А.Е., Хмяляйнен В.А. Фильтрационное течение и приливы плотности дисперсной фазы при заполнении трещин горных пород цементным раствором // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2010. №4. С. 105–110.

7. Хмяляйнен В.А. Развитие инъекционных способов уплотнения массивов горных пород в Кузбассе // Вестник КузГТУ. 2015. №5. С. 25-32.

8. Заславский Ю.З., Лопухин Б.А., Дружко Е.Б. Инъекционное упрочнение горных пород. М.: Недра, 1984. 176 с.

9. Хмяляйнен В.А., Баев М.А. Оценка влияния отходов углеобогащения на физико-механические свойства тампонажных растворов и параметры технологии цементации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №4. С. 247-253.

10. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт / Э.Я. Кипко, Ю.А. Полозов, О.Ю. Лушникова, В.А. Лагунов. М.: Недра, 1984. 280 с.

11. Хмяляйнен В.А., Баев М.А. Экспериментальные исследования физико-механических свойств тампонажных растворов на основе цемента и отходов углеобогащения // Вестник КузГТУ. 2013. №6. С. 12-19.

12. Угляница А.В., Першин В.В. Цементация трещиноватых пород в условиях подготовительных горных выработок. Кемерово, 1998. 220 с.

13. Разрушение и тампонаж пород в сейсмически активных условиях метаноугольных месторождений / В.А. Хмяляйнен, В.В. Иванов, В.И. Мурко и др. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2014. 256 с.

14. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 37-2017 Добыча и обогащение угля. Москва: Бюро НДТ, 2017. 294 с.

15. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса. Кемерово, 2007. 77 с.

16. Глузберг Е.И. Теоретические основы прогноза и профилактики шахтных эндогенных пожаров. М.: Недра, 1989. 160 с.

17. Егшин В.В., Кухаренко Е.В., Александрович И.Ф. Предупреждение и тушение эндогенных пожаров на шахтах Кузбасса. Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1994. 355 с.

18. Парфенов А.П. Строительство гидроизоляционных перемычек в калийных рудниках Прикарпатья // Шахтное строительство. 1989. №7. С. 24-25.

19. Нургалиев Е.И., Майоров А.Е., Роут Г.Н. Технология скоростного возведения высокопрочных безвзрывовых перемычек с использованием специализированных цементных смесей // Уголь. 2014. №6. С. 20-23. URL: <http://www.ugolino.ru/Free/062014.pdf> (дата обращения 15.01.2019).

20. Черепов А.А., Ширяев С.Н., Кулак В.Ю. Исследование распределения напряжений и деформаций геомассива при камерно-столбовой системе разработки мощного пологого угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №9. С. 170–178.

21. Турчанинов И.А., Козырев А.А., Каспарьян З.В. Руководство по определению нарушенности пород вокруг выработок реометрическим методом. Апатиты: Издательство Кольского филиала АН СССР, 1971. 44 с.

22. Дианов В.М., Катков Ю.Р. Поддержание горных выработок в скальных породах на больших глубинах. Апатиты: Издательство КНЦ АН СССР, 1990. 112 с.

UDC 622.455:622.822.3:624.136.6 © E.I. Nurgaliev, A.E. Mayorov, A.A. Cherepov, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 25-30

## Title

EXPERIENCE OF COMPLEX ISOLATION OF EXCAVATIONS "RASPADSKAYA COAL COMPANY" MINES. "RASPADSKAYA-KOKSOVAYA" MINE – PART I

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-25-30>

## Authors

Nurgaliev E.I.<sup>1</sup>, Mayorov A.E.<sup>2,3</sup>, Cherepov A.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Scientific research and production Company "UGM-Service" LLC, Kemerovo, 650014, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo, 650065, Russian Federation

<sup>3</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>4</sup> "Raspidskaya Coal Company" LLC, Mezhdurechensk, 652877, Russian Federation

## Authors' Information

**Nurgaliev E.I.**, General Director, e-mail: [ugm\\_kuz@mail.ru](mailto:ugm_kuz@mail.ru)

**Mayorov A.E.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor of RAS, Head of geomechanics and geometrization of coal fields laboratory, Professor of chair of theoretical and geotechnical mechanics, e-mail: [mayorov-ae@mail.ru](mailto:mayorov-ae@mail.ru)

**Cherepov A.A.**, Technical Director, e-mail: [Andrey.Cherepov@evraz.com](mailto:Andrey.Cherepov@evraz.com)

## Abstract

This paper describes the experience of implementing the technology of complex isolation of seam excavation in the "Raspidskaya-Koksovaya" mine. The technology includes the construction of monolithic bridges with injection cementation of the destroyed rock mass. The experience of application of specialized cement mixtures UGM and UGM-P is shown. The efficiency of the elements of the isolating «bridge - plugging screen» systems is proved. The quality of the performed isolation of mine excavations in the coal seam №III is confirmed. There is justification of efficiency of consolidated isolating systems, which help to reduce the concentration of methane and oxygen in the waste space, temperature stabilization and endogenous processes in coal seams. *Figures:*

*Fig. 1. Extract from official copy of the mining plan of Seam III, Room-and-Pillar Mining area 1-2 in field No. 2 (explosion-proof dam No. 7416 is marked)*

*Fig. 2. Example of the explosion-proof dam No. 7416 left side distortion at a depth of 1.0 m in hole No. 4*

*Fig. 3. Oxygen concentration drop per SKPA/O2 station readings over the period of January 25-27, 2017.*

## Keywords

Safety, Isolation, Bridge, Border rock massif, Fractures, Filtering, Injection, Hardening, Compacting.

## References

1. Klishin V.I., Zvorigin L.V., Lebedev A.V. & Savchenko A.V. *Problemy bezopasnosti i novye tekhnologii podzemnoj razrabotki ugol'nyh mestorozhdenij* [Tasks of safety and new technologies of underground development of coal fields]. Novosibirsk, "Novosibirskiy pisatel" Publishing, 2011, 524 p.
2. Khyamyalyainen V.A., Burkov Yu.V. & Syrkin P.S. *Formirovanie cementacionnyh zaves vokrug kapital'nyh gornyh vyrabotok* [Cement-grout screen formation around permanent mine excavations]. Moscow, Nedra Publ., 1994, 400 p.
3. Khyamyalyainen V.A., Mitrakov V.I. & Syrkin P.S. *Fiziko-himicheskoe ukreplenie porod pri sooruzhenii treshchin gornyh porod cementnym rastvorom* [Physical and chemical rocks hardening with excavation construction]. Moscow, Nedra Publ., 1996, 352 p.
4. Mayorov A.E. & Khyamyalyainen V.A. *Konsolidiruyushchee kreplenie gornyh vyrabotok* [Consolidating bracing of mining excavations]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2009, 260 p.
5. Khyamyalyainen V.A., Frankivich G.S., Zhrebtsov V.A., et al. *Vozvedenie protivofil'tracionnyh zaves vokrug vodoupornyh peremychek* [Antifiltration screens creation around water-resistant bridges]. Kemerovo, KuzSTU Publ., 2000, 119 p.
6. Mayorov A.E. & Khyamyalyainen V.A. *Fil'tracionnoe technenie i prilivy plotnosti dispersnoj fazy pri zapolnenii treshchin gornyh porod cementnym rastvorom* [Filtering flow and density increasing in dispersed phase with rock fractures filling by cement grout]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyy Zhurnal – News of higher educational institutions. Mining journal*, 2010, No. 4, pp. 105-110.
7. Khyamyalyainen V.A. *Razvitiye in'ekcionnyh sposobov uplotneniya massivov gornyh porod v Kuzbasse* [Development of injection methods of compacting of rock massif in Kuzbass]. // *Vestnik KuzSTU*, 2015, No. 5(111), pp. 25-32.
8. Zaslavskiy Yu.Z., Lopukhin B.A. & Druzhko E.B. *Inekcionnoe uprochnenie gornyh porod* [Rock massif injection hardening]. Moscow, Nedra Publ., 1984, 176 p.
9. Khyamyalyainen V.A. & Baev M.A. *Ocenka vliyaniya othodov ugleobo-*

*gashcheniya na fiziko-mekhanicheskie svoystva tamponaznyh rastvorov i parametry tekhnologii cementatsii* [Evaluating of influence of coal preparation wastes on physical and mechanical properties of plugging grouts and parameters of cementation technology]. *Gornyi Informatsionno-Analicheskii Byulleten' – Mining Information and Analytical Bulletin*, 2014, No. 4, pp. 247-253.

10. Kipko E.Ya., Polozov Ya.A., Lushnikova O.Yu. & Lagunov V.A. *Kompleksnyy metod tamponazha pri stroitel'stve shaht* [Complex method of plugging in mine building]. Moscow, Nedra Publ., 1984, 280 p.

11. Khyamyalyainen V.A. & Baev M.A. *Ehksperimental'nye issledovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv tamponaznyh rastvorov na osnove cementa i othodov ugleobogashcheniya* [Experimental researches of physical and mechanical properties of plugging grouts based on cement and coal preparation wastes]. *Vestnik KuzSTU*, 2013, No. 6, pp. 12-19.

12. Uglyanitsa A.V. & Pershin V.V. *Cementatsiya treshchinovykh porod v usloviyah podgotovitel'nykh gornyh vyrabotok* [Fractured rocks grouting in conditions of pre-excavations]. Kemerovo, KuzSTU Publ., 1998, 220 p.

13. Khyamyalyainen V.A., Ivanov V.V., Murko V.I., et al. *Razrushenie i tamponazha porod v seismicheskii aktivnykh usloviyakh metanougol'nykh mestorozhdenij* [Deconstruction and plugging of rock at seismic active conditions of methane-coal fields] Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 2014, 256 p.

14. *Informatsionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnykh tekhnologiyam* [Information-technical directory to the best available technologies]. ITD 37-2017 Coal mining and enrichment. Moscow, Bureau BAT, 2017, 294 p.

15. *Instruktsiya po preduprezhdeniyu i tusheniyu podzemnykh ehndogennykh pozharov v shahtah Kuzbassa* [Instruction for prevention and firefighting of underground breeding fire on Kuzbass coal mines]. Kemerovo, 2007, 77 p.

16. Glauzberg E.I. *Teoreticheskie osnovy prognoza i profilaktiki shahtnykh ehndogennykh pozharov* [Theoretical basics of prognosis and prevention of breeding fire]. Moscow, Nedra Publ., 1989, 160 p.

17. Egoshin V.V., Kukhareno E.V. & Alexandrovich I.F. *Preduprezhdenie i tushenie ehndogennykh pozharov na shahtah Kuzbassa* [Prevention and firefighting of underground breeding fire on Kuzbass coal mines]. Kemerovo, Kemerovo book publishing, 1994, 355 p.

18. Parfenov A.P. *Stroitel'stvo gidrozolitsionnykh peremychek v kalijnykh rudnikah Prikarpat'ya* [Hydroisolating bridges constructing in potassium mines of Prikarpatye]. *Shahtnoe stroitel'stvo – Mining construction*, 1989, No. 7, pp. 24-25.

19. Nurgaliev E.I., Mayorov A.E. & Rout G.N. *Tekhnologiya skorostnogo vozvedeniya vysokoprochnykh bezvrubovykh peremychek s ispol'zovaniem specializirovannykh cementnykh smesey* [The technology of fast construction of extra strength bridges with using of special cement mixtures]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2014, No. 6, pp. 20-23. Available at: <http://www.ugolino.ru/Free/062014.pdf> (accessed 15.01.2019).

20. Cherepov A.A., Shiryaev S.N. & Kulak V.Yu. *Issledovanie raspredeleniya napryazhenij i deformatsij geomassiva pri kamerno-stolbovoy sisteme razrabotki moshchnogo pologogo ugol'nogo plasta* [Stress and strain distribution in geomass under room-and-pillar mining of a thick gently dipping coal bed]. *Gornyi Informatsionno-Analicheskii Byulleten' – Mining Information and Analytical Bulletin*, 2017, No. 9, pp. 170-178.

21. Turchaninov I.A., Kozыrev A.A., Z.V. Kasparyan *Rukovodstvo po opredeleniyu narushennosti porod vokrug vyrabotok reometricheskim metodom* [Guidance for determination of disintegration of rocks around the workings of the rheometric method]. Apatity, Kola branch USSR Academy of sciences publishing, 1971, 44 p.

22. Dianov V.M. & Katkov Yu.R. *Podderzhanie gornyh vyrabotok v skal'nykh porodah na bol'shikh glubinah* [Preservation of mine workings in rocks at great depths]. Apatity: Kola science center USSR Academy of Sciences publishing, 1990, 112 p.

# Управление состоянием массива у круговых выработок с учетом нелинейно-упругого поведения горных пород

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-31-36>

## ВВЕДЕНИЕ

Изменение геомеханического состояния углепородного массива при ведении горных работ зачастую вытягивает за собой цепочку главных опасностей, провоцирующих в том числе обрушения, вывалы, внезапные выбросы угля и газа, вспышки и возгорания рудничных газов.

Предотвращению негативных проявлений способствует профессиональное управление механическим состоянием массива пород. В свою очередь управление состоянием горного массива, по сути, является управлением его напряженно-деформированным состоянием.

## УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА У КРУГОВЫХ ВЫРАБОТОК

Результаты фундаментальных экспериментальных исследований физико-механических свойств горных пород показывают, что в условиях объемных напряженных состояний практически все горные породы в той или иной степени проявляют пластические свойства – полные диаграммы деформирования включают линейные и нелинейные участки связи интенсивности напряжений с интенсивностью деформаций в областях как допределного, так и запределного деформирования [1, 2, 3, 4].

Исследованиями Г.А. Смирнова-Аляева [5] и В.В. Новожилова [6] показано, что зависимости между напряжениями и деформациями для произвольного нелинейно-упругого тела следует искать в форме, аналогичной соответствующим соотношениям теории пластичности.

Из исследований А.А. Ильюшина следует, что при деформировании материалов в области малых упругопластических деформаций при существовании простых нагружений все основные теории пластичности приводятся к деформационной теории – к теории малых упругопластических деформаций [7].

Границы применения теории малых упругопластических деформаций для корректного описания напряженно-деформированного состояния массива пород ограничиваются необходимостью существования простых нагружений, условием существования активных нагружений  $\partial\sigma_i/\partial\varepsilon_i > 0$  (где  $\sigma_i, \varepsilon_i$  – интенсивность напряжений и интенсивность деформаций соответственно). Условие существования простых нагружений следует из теоремы А.А. Ильюшина [8]: если диаграмма деформирования – зависимость интенсивности напряжений от интенсивности деформаций, описывается степенной функцией вида  $\sigma_i = A\varepsilon_i^n$ , то нагружение будет простым во всех точках тела, нагруженно-го внешними силами, возрастающими пропорционально некоторому параметру.



## БОТВЕНКО Денис Вячеславович

Канд. техн. наук,  
заведующий лабораторией  
АО «НЦ ВостНИИ»,  
650002, г. Кемерово, Россия,  
тел.: +7 (3842) 64-30-99,  
e-mail: 642935@rambler.ru



## КАЗАНЦЕВ Владимир Георгиевич

Доктор техн. наук,  
профессор ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»,  
656038, г. Барнаул, Россия,  
тел.: +7 (3854) 43-22-85,  
e-mail: wts-01@mail.ru



## ЛИ Хи Ун

Доктор техн. наук, профессор,  
ученый секретарь  
АО «НЦ ВостНИИ»,  
650002, г. Кемерово, Россия,  
тел.: +7 (950) 579-59-96,  
e-mail: leeanatoly@mail.ru

Получено аналитическое решение задачи о нелинейно упругом поведении горных пород у горизонтальной круговой выработки, находящейся под действием гидростатического давления и распора крепи. Для описания физически нелинейного поведения горных пород использована деформационная теория малых упругопластических деформаций. Физико-механическая модель массива представляется произвольного вида диаграммами деформирования – от диаграммы Грандтля, диаграмм с упрочнением до диаграмм линейной упругости. Полученные общего вида закономерности распределения напряжений могут быть использованы для управления состоянием массива горных пород у круговой выработки, проведенной на различных глубинах. В качестве приложения рассмотрены решения частных задач о влиянии распора крепи на напряженное состояние массива горных пород у выработки для случая физически нелинейно упругого поведения материала с линейно-степенной диаграммой деформирования.

**Ключевые слова:** круговая выработка, напряжения, диаграмма деформирования, физическая нелинейность, распор крепи, гидростатическое давление.



Из анализа многочисленных экспериментов с образцами горных пород можно видеть, что диаграммы деформирования угля и вмещающих пород в допредельной области деформирования приближенно удовлетворяют вышеперечисленным условиям корректности и могут быть описаны с помощью соотношений теории малых упругопластических деформаций.

В запредельной области деформирования МГП имеет место пассивная деформация ( $\partial\sigma_i/\partial\varepsilon_i < 0$ ), напряженное состояние становится сложным, и для использования деформационной теории пластичности при деформировании массива в этой области требуется дополнительное обоснование.

Для решения некоторых частных задач в работе [2] на базе деформационной теории пластичности с использованием степенной диаграммы деформирования получено аналитическое решение, а в работе [9] на этой основе исследовано напряженно-деформированное состояние вокруг одиночной круговой выработки, проведенной в физически нелинейном изотропном массиве. В работе [8] с использованием деформационной теории пластичности получено аналитическое решение похожей задачи – задачи о толстостенной трубе, находящейся под действием внутреннего давления для случая диаграммы деформирования с линейным упрочнением.

В отличие от цитированных выше источников рассмотрим общее решение задачи о деформировании изотропного массива с круговой выработкой, обладающего физическими свойствами, формально описываемыми произвольными диаграммами деформирования, имеющими как упругие, так и нелинейные участки – от диаграммы Прандтля, диаграмм с упрочнением до диаграмм линейной упругости, рис. 1.

При выделении расчетной схемы задачи будем учитывать результаты работы [10], авторы которой приходят к выводу о том, что в пределах верхнего слоя литосферы в широком диапазоне горно-геологических условий напряжения в нетронутом породном массиве распределены гидростатическим образом, то есть коэффициент бокового распора равен единице.

Решение сформулированной задачи с расчетной схемой (см. рис. 1) проведем с использованием теории малых упругопластических деформаций.

Пусть круговая выработка радиуса 'а' находится под действием распорного давления  $q_1$  и внешней радиальной (гидростатической) нагрузки  $q_2$ , приложенной на расстоянии  $b$  от контура выработки.

Анализ распределения напряжений в рамках упругого деформирования массива у выработки, являющейся своего рода концентратором напряжений, позволяет сделать вывод о том, что под действием внешней нагрузки породный материал переходит за пределы упругости в первую очередь на контуре выработки. При увеличении нагрузки происходит увеличение области пластического деформирования материала в виде кольца с радиусом раздела  $R_t$  упругой и пластической областей (см. рис. 1).

На рис. 1 введены следующие обозначения:  $q_1$  – распор крепи;  $q_2 = \gamma H$  – гидростатическое давление, действующее на глубине  $H$  заложения выработки;  $G_T$  – модуль пластического сдвига материала массива,  $G$  – модуль упругого

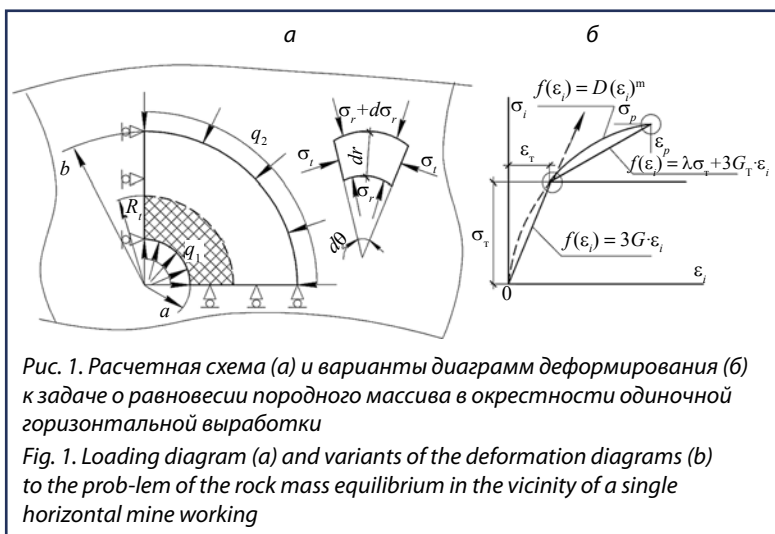


Рис. 1. Расчетная схема (а) и варианты диаграмм деформирования (б) к задаче о равновесии породного массива в окрестности одиночной горизонтальной выработки

Fig. 1. Loading diagram (a) and variants of the deformation diagrams (b) to the problem of the rock mass equilibrium in the vicinity of a single horizontal mine working

сдвига материала;  $\sigma_r, \varepsilon_r$  – пределы упругости материала по напряжениям и деформациям соответственно;  $\sigma_p, \varepsilon_p$  – пределы прочности массива по напряжениям и деформациям соответственно;  $\lambda = 1 - G_T/G$  – параметр упрочнения,  $r$  – текущий радиус.

Рассмотрим случай протяженной выработки, находящейся в условиях плоской деформации ( $\varepsilon_z = 0$  – осевая деформация), полагая, с целью упрощения выкладок, материал массива несжимаемым ( $\varepsilon_0 = 0$  – объемная деформация) с некоторой известной, но достаточно произвольной диаграммой деформирования:

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_r + \varepsilon_t + \varepsilon_z}{3} = 0, \text{ или } \varepsilon_t = -\varepsilon_r. \quad (1)$$

$$\sigma_t = f(\varepsilon_t). \quad (2)$$

Здесь  $\varepsilon_r, \varepsilon_t$  – радиальные и окружные деформации в полярной системе координат, соответственно.

Строго говоря, предположение о несжимаемости горных пород справедливо лишь в критической перед разрушением зоне деформирования массива. Однако в работе [8] на основании расчетов показано, что предположение о несжимаемости материала приводит к незначительной погрешности при расчетах радиальных или окружных напряжений и более высокая погрешность получается при расчетах осевых напряжений и радиальных перемещений. Вместе с тем в работе [11] показано, что для случая сжимаемых материалов ( $\mu < 0,5$ ) решение задачи может быть получено, если в выражение для осевых напряжений ввести корректирующий множитель, равный  $k_{\sigma_z} = 2\mu$ , а для радиальных перемещений – множитель  $k_u = 2(1 - \mu)$ . Причем коэффициент поперечной деформации  $\mu$  тот же, что и в пределах упругости.

Для решения задачи рассмотрим силовую ее составляющую – уравнение равновесия элементарного объема массива в полярных координатах:

$$r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \sigma_r - \sigma_t = 0. \quad (3)$$

Интегрируя это уравнение, получим:

$$\int d\sigma_r = \int (\sigma_t - \sigma_r) \frac{dr}{r}, \quad \sigma_r = \int (\sigma_t - \sigma_r) \frac{dr}{r}. \quad (4)$$

Далее, из уравнения, связывающего осевые деформации с напряжениями, с учетом (1), найдем:

$$\sigma_z = \sigma_0 = \frac{\sigma_r + \sigma_t + \sigma_z}{3} \text{ и } \sigma_z = \frac{\sigma_r + \sigma_t}{2}. \quad (5)$$

Интенсивность напряжений для условий плоского деформирования в полярных координатах с учетом выражений (5) примет вид:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_i - \sigma_r)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_z - \sigma_i)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_i - \sigma_r). \quad (6)$$

При помощи формулы (6) приведем соотношение (4) к виду:

$$\sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \int \sigma_i \frac{dr}{r}. \quad (7)$$

Для связи силовой (7) и деформационной составляющих задачи оценим закон изменения интенсивности деформаций. Примем во внимание, что геометрические соотношения Коши справедливы как в условиях линейно-упругого деформирования материала, так и за его пределами. В полярных координатах соотношения Коши имеют следующие представления:

$$\varepsilon_i = \frac{u}{r}, \quad \varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad (8)$$

где  $u$  – радиальные перемещения.

Дифференциальное уравнение для радиальных перемещений получим, используя зависимости (5):

$$\frac{du}{dr} + \frac{u}{r} = 0.$$

Интеграл этого уравнения известен, имеет вид:

$$u = \frac{C}{r}, \quad (9)$$

где  $C$  – постоянная интегрирования.

В полярных координатах выражение для интенсивности деформаций в условиях плоской деформации с учетом соотношений (1) примет вид:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{(\varepsilon_i - \varepsilon_r)^2 + \varepsilon_r^2 + \varepsilon_i^2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_i. \quad (10)$$

Со ссылкой на зависимости (8) и (9) из уравнения (10) найдем:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{C}{r^2}. \quad (11)$$

Дифференцируя соотношение (11), получим:

$$\frac{\partial \varepsilon_i}{dr} = -\frac{2}{r^3} \varepsilon_i,$$

$$\text{или } \frac{dr}{r} = -\frac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon_i}{\varepsilon_i}. \quad (12)$$

Возвращаясь к соотношению (7), используя соотношение (12), для радиальных напряжений найдем:

$$\sigma_r = -\frac{1}{\sqrt{3}} \int \sigma_i \frac{\partial \varepsilon_i}{\varepsilon_i},$$

или, с учетом (2), определим окончательно:

$$\sigma_r = -\frac{1}{\sqrt{3}} \int f(\varepsilon_i) \frac{\partial \varepsilon_i}{\varepsilon_i}. \quad (13)$$

Окружные (тангенциальные) напряжения получим из соотношений (6) и (13):

$$\sigma_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_i + \sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} f(\varepsilon_i) - \frac{1}{\sqrt{3}} \int f(\varepsilon_i) \frac{\partial \varepsilon_i}{\varepsilon_i}. \quad (14)$$

При помощи выражения (5) найдем осевое напряжение:

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[ f(\varepsilon_i) + \int f(\varepsilon_i) \frac{\partial \varepsilon_i}{\varepsilon_i} \right]. \quad (15)$$

Таким образом, напряженное состояние МГП в окрестности круговой выработки в области за пределами упругости ( $a \leq r \leq R_r$ , см. рис. 1) при заданной диаграмме деформирования массива (6) определяется соотношениями (13), (14), (15).

В области упругого деформирования ( $R_i \leq r \leq b$ ) распределения радиальных, окружных и осевых напряжений могут быть представлены зависимостями [12, 13]:

$$\sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_m \left( A - \frac{B}{r^2} \right); \quad \sigma_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_m \left( A + \frac{B}{r^2} \right); \quad (16)$$

$$\sigma_z = \frac{2A\sigma_m}{\sqrt{3}},$$

где  $A$  и  $B$  – константы, подлежащие определению.

Рассмотрим напряженное состояние массива горных пород у подкрепленной круговой выработки, находящейся под действием гидростатического давления, для некоторых вариантов схематизации диаграмм деформирования – в виде линейного закона с линейным упрочнением и линейного закона со степенным упрочнением.

Задача 1. Поведение массива горных пород с линейным упрочнением.

В этом случае диаграмма деформирования (2) описывается выражением (см. рис. 1):

$$\text{при } a \leq r \leq R_r, \text{ то есть при } \varepsilon_i \geq \varepsilon_T \text{ или } \sigma_i \geq \sigma_T$$

$$f(\varepsilon_i) = \lambda \sigma_T + 3G_T \varepsilon_i, \quad (17)$$

$$\text{при } R_i \leq r \leq b, \text{ то есть при } \varepsilon_i \leq \varepsilon_T \text{ или } \sigma_i \leq \sigma_T$$

$$f(\varepsilon_i) = 3G_T \varepsilon_i, \quad (18)$$

где  $G$ ,  $G_T$  – постоянные материала массива, определяемые по диаграмме деформирования (см. рис. 1).

Подставляя выражение (17) в зависимости (13), (14) и (15), после интегрирования получим:

$$\sigma_r = -\frac{1}{\sqrt{3}} (\lambda \sigma_T \ln \varepsilon_i + 3G_T \varepsilon_i + C_1),$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{3}} [\lambda \sigma_T (2 - \ln \varepsilon_i) + 3G_T \varepsilon_i - C_1], \quad (19)$$

$$\sigma_z = -\frac{\lambda \sigma_T}{\sqrt{3}} \left( 1 - \ln \varepsilon_i - \frac{C_1}{\lambda \sigma_T} \right),$$

где  $C_1$  – константа, подлежащая определению.

В области упругого деформирования ( $R_i \leq r \leq b$ ) распределения радиальных, окружных и осевых напряжений представляются зависимостями (16).

Постоянные задачи  $C_1$ ,  $A$  и  $B$  найдем из следующих краевых условий:

$$\begin{aligned} &\text{– при } r = a \quad \sigma_r = q_1; \\ &\text{– при } r = b \quad \sigma_r = q_2; \\ &\text{– при } r = R_i \quad \sigma_r^p = \sigma_r^e, \quad \varepsilon_i = \varepsilon_T = \frac{\sigma_T}{3G}, \quad \sigma_i = \sigma_T; \end{aligned} \quad (20)$$

– при  $r = R_i$   $\sigma_r^p = \sigma_r^e$ , где индексами ‘ $p$ ’ и ‘ $e$ ’ отмечены напряжения в пластической и упругой областях соответственно.

Из второго краевого условия при помощи первого из соотношений (16) найдем связь между константами  $A$  и  $B$ :

$$A = \frac{B}{b^2} + \frac{\sqrt{3}}{2\sigma_T} q_2. \quad (21)$$

Из третьего краевого условия и соотношения (15) определим неизвестную константу  $C$ :

$$C = \varepsilon_m \frac{\sqrt{3}}{2} R_i^2. \quad (22)$$

Тогда выражение для интенсивности деформаций примет вид:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_T \frac{R_i^2}{r^2} \text{ или } \varepsilon_i = \frac{\sigma_T R_i^2}{3G r^2}. \quad (23)$$

Далее, с учетом третьего и четвертого краевых условий, приравнявая соответствующие выражения для напряжений из соотношений (20) и (26), получим систему уравнений:

$$-\lambda \sigma_T \ln \varepsilon_T - 3G \varepsilon_T - C_1 = 2\sigma_T \left( A - \frac{B}{R_i^2} \right);$$

$$\lambda \sigma_T + 3G_1 \varepsilon_T - \lambda \sigma_T \ln \varepsilon_T - C_1 = 2\sigma_T \left( A + \frac{B}{R_i^2} \right).$$

Решая эту систему уравнений относительно неизвестных  $A$ ,  $B$  и  $C_1$ , с учетом связи (21), найдем:

$$A = \frac{R_i^2}{2b^2} + \frac{\sqrt{3}}{2\sigma_T} q_2; \quad B = \frac{R_i^2}{2};$$

$$C_1 = \lambda \sigma_T \left( 1 - \ln \varepsilon_T - \frac{R_i^2}{\lambda b^2} \right) + \sqrt{3} q_2.$$

Подставляя величины найденных постоянных в соотношения (16) и (19) получим, после преобразований, распределение напряжений в массиве у круговой выработки в виде:

– в области массива за пределами упругости  $a \leq r \leq R_i$ :

$$\sigma_r = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left[ 2\lambda \ln \frac{R_i}{r} + (1-\lambda) \frac{R_i^2}{r^2} + \lambda - \frac{R_i^2}{b^2} \right] + q_2;$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left[ 2\lambda \ln \frac{R_i}{r} - (1-\lambda) \frac{R_i^2}{r^2} - \lambda - \frac{R_i^2}{b^2} \right] + q_2; \quad (24)$$

$$\sigma_z = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left( 2\lambda \ln \frac{R_i}{r} - \frac{R_i^2}{b^2} \right) + q_2;$$

– в области массива в пределах упругости ( $R_i \leq r \leq b$ ):

$$\sigma_r = \frac{\sigma_T}{b^2 \sqrt{3}} R_i^2 \left[ 1 - \frac{b^2}{r^2} \right] + q_2;$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_T}{b^2 \sqrt{3}} R_i^2 \left[ 1 + \frac{b^2}{r^2} \right] + q_2; \quad (25)$$

$$\sigma_z = \frac{\sigma_T}{b^2 \sqrt{3}} R_i^2 + q_2.$$

Из решения задачи можно видеть, что радиус раздела упругой и пластической областей массива находится в прямой зависимости от величины распора крепи  $q_1$  и от глубины заложения выработки.

Соотношение, связывающее радиус раздела  $R_i$  с величиной распора крепи и от глубины заложения выработки, получим из первого краевого условия с использованием первого из уравнений (25):

$$q_1 = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left[ 2\lambda \ln \frac{R_i}{a} + (1-\lambda) \frac{R_i^2}{a^2} + \lambda - \frac{R_i^2}{b^2} \right] + q_2. \quad (26)$$

При заданных значениях глубины разработки массива  $H$  и величины распора крепи  $q_1$  уравнение (26) решается графически или численно, например методом последовательного перебора величины  $R_i$  или методом половинного деления.

Теперь заметим, что если в соотношениях (24) положить  $\lambda = 1$  ( $G_T = 0$ ), получим выражения для оценки напряжений в случае упругопластического состояния массива для диаграммы Прандтля (отсутствие упрочнения):

$$\sigma_r = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left[ 2\lambda \ln \frac{R_i}{r} + 1 - \frac{R_i^2}{b^2} \right] + q_2;$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left[ 2\lambda \ln \frac{R_i}{r} - 1 - \frac{R_i^2}{b^2} \right] + q_2;$$

$$\sigma_z = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left( 2\lambda \ln \frac{R_i}{r} - \frac{R_i^2}{b^2} \right) + q_2.$$

Задача 2. Упругопластическое поведение массива горных пород со степенным упрочнением.

Пусть упругопластическое поведение горных пород схематизируется диаграммой деформирования в виде (см. рис. 1):

при  $a \leq r \leq R_i$ , то есть при  $\varepsilon_i \geq \varepsilon_T$  или  $\sigma_i \geq \sigma_T$

$$f(\varepsilon_i) = D \varepsilon_i^m, \quad (27)$$

при  $R_i \leq r \leq b$ , то есть при  $\varepsilon_i \leq \varepsilon_T$  или  $\sigma_i \leq \sigma_T$

$$f(\varepsilon_i) = 3G \varepsilon_i, \quad (28)$$

где  $D$ ,  $m$ ,  $G$  – постоянные материала массива, определяемые по диаграмме деформирования (см. рис. 1).

Решение задачи о распределении напряжений в зоне пластичности получим, подставляя аппроксимацию диаграммы деформирования (27) в соотношения (13), (14) и (15).

В результате интегрирования получаемых соотношений придем:

$$\sigma_r = -\frac{D}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{m} \varepsilon_i^m + C_1 \right);$$

$$\sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}} D \varepsilon_i^m - \frac{D}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{m} \varepsilon_i^m + C_1 \right); \quad (29)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{3}} D \left( \varepsilon_i^m \frac{m-1}{m} - C_1 \right),$$

где  $C_1$  – постоянная интегрирования.

В области упругого деформирования ( $R_i \leq r \leq b$ ) распределения радиальных, окружных и осевых напряжений представляются зависимостями (16).

Постоянные задачи  $C_1$ ,  $A$  и  $B$  найдем из краевых условий (20). Учитывая, что постоянные  $A$  и  $B$  связаны соотношением (21) из третьего и четвертого краевых условий (20), с использованием соотношений (13), (14) и (23) получим следующую систему уравнений относительно неизвестных постоянных  $B$  и  $C_1$ :

$$\frac{1}{m} \varepsilon_T^m + C_1 = 2B \varepsilon_T^m \left( \frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{b^2} \right) - \frac{\sqrt{3}}{D} q_2;$$

$$2\varepsilon_T^m - \frac{1}{m} \varepsilon_T^m - C_1 = 2B \varepsilon_T^m \left( \frac{1}{R_i^2} + \frac{1}{b^2} \right) + \frac{\sqrt{3}}{D} q_2.$$

В результате решения этой системы уравнений найдем:

$$A = \frac{R_i^2}{2b^2} + \frac{\sqrt{3}}{2\sigma_T} q_2; \quad B = \frac{R_i^2}{2};$$

$$C_1 = \varepsilon_T^m \left( 1 - \frac{R_i^2}{b^2} - \frac{1}{m} \right) - \frac{\sqrt{3}}{D} q_2.$$

Подставляя значения найденных констант в соотношения (29), с учетом соотношений (23), получим распределение напряжений в массиве у круговой выработки.

Связь радиуса раздела упругой и пластической областей массива с величиной распора крепи получим из первого краевого условия (20) и первого из уравнений (29):



$$q_1 = -\frac{D}{\sqrt{3}} \left( \frac{1}{m} \varepsilon_T^m \frac{R_i^{2m}}{a^{2m}} + C_1 \right). \quad (30)$$

Как и в предыдущем случае, уравнение (30) относительно радиуса  $R_i$  решается графически или численно.

Заметим, что если в выражении (30) положить  $m = 1$  (случай упругого нагружения,  $D = 3G$ ) и принять  $R_i = a$ , получим выражение для величины распора крепи  $q_{10}$  при котором наступает предел упругого сопротивления массива у круговой выработки:

$$q_{10} = -\frac{D\varepsilon_T}{\sqrt{3}} \left( \frac{a^2}{b^2} - 1 \right) + q_2. \quad (31)$$

Для неподкрепленной выработки (отсутствие распора, то есть  $q_{10} = 0$ ) или для шпура, или дегазационной скважины с помощью выражения (31) можно дать оценку величине глубины разработки  $H = q_2/\gamma$ , при которой наступит предел упругого сопротивления массива у круговой выработки. Имея в виду, что  $\sigma_T = D\varepsilon_T$ , получим:

$$H = \frac{\sigma_T}{\gamma\sqrt{3}} \left( 1 - \frac{a^2}{b^2} \right). \quad (32)$$

При рассмотрении удаленной внешней границы ( $b \rightarrow \infty$ ) необходимо в полученных выше соотношениях для напряжений перейти к пределу  $\lim_{b \rightarrow \infty} f(\sigma)$ , где  $f(\sigma)$  – выражение для соответствующих напряжений.

Полученная выше аналитическая модель может служить для качественной оценки механического поведения массива горных пород у круговой выработки и, стало быть, использоваться для управления его состоянием.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние массива у горизонтальной круговой выработки, проведенной на глубине  $H = 400$  м.

Пусть диаграмма деформирования схематизируется линейно-степенной зависимостью (27), (28) (см. рис. 1). Физико-механические характеристики массива у выработки и ее геометрические параметры примем следующими:

$$a = 2 \text{ м}; b = 10 \text{ м}; q_1 = 1 \text{ МПа}; q_2 = 10 \text{ МПа}; \sigma_T = 5,5 \text{ МПа}; 3G = 550 \text{ МПа}; D = 21,9 \text{ МПа}; \varepsilon_T = 0,01; m = 0,3. \quad (33)$$

Решая уравнение (30) получим величину раздела нелинейной и упругой областей деформирования массива:  $R_i = 4,414$  м.

Распределение радиальных, окружных и осевых напряжений в глубину массива от контура выработки представлено на рис. 2, а.

Из анализа напряженного состояния массива горных пород у выработки установлено, что неучет реальных физических свойств может привести, по крайней мере, к завышенным требованиям по обеспечению прочности и устойчивости выработки и в ряде случаев к неоправданному отказу от проектирования коммуникаций с использованием круговых выработок.

Работа массива за пределами упругости может привести к резкому снижению уровня напряжений в массиве,

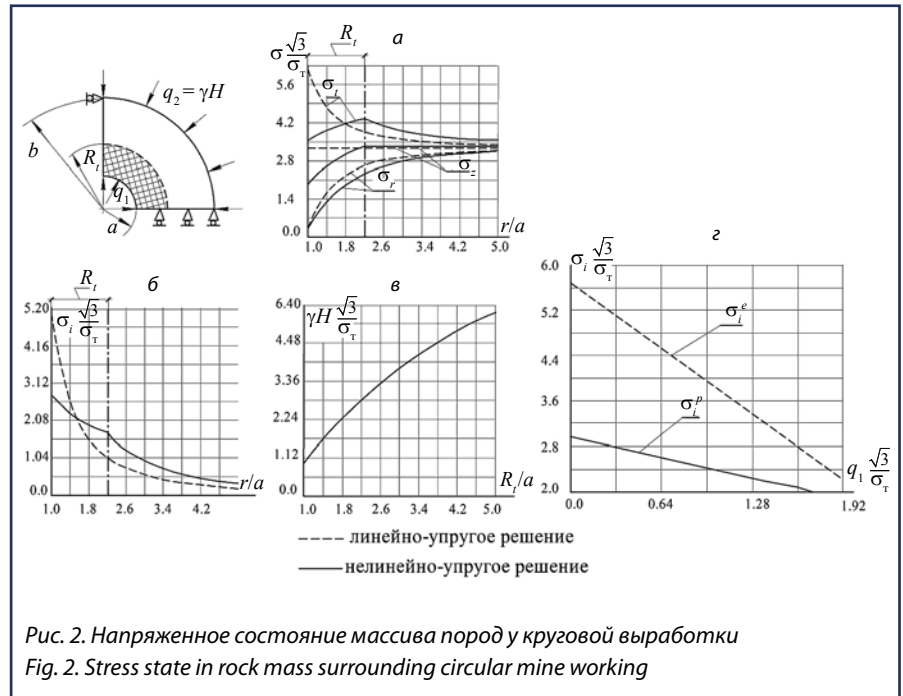


Рис. 2. Напряженное состояние массива пород у круговой выработки  
Fig. 2. Stress state in rock mass surrounding circular mine working

к «размазыванию» концентраций напряжений у выработки, увеличивая работоспособность такого конструктивного элемента.

Предельные значения интенсивности напряжений  $\sigma_i^p = \sigma_p$  из диаграммы деформирования (см. рис. 1), в соответствии с выражением (6) –  $\sigma_i = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_1 - \sigma_r) \equiv \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)$

(где  $\sigma_1, \sigma_3$  – главные напряжения) и в сочетании с критерием прочности Кулона–Мора могут служить обоснованием условия прочности массива у круговой выработки:

$$\sigma_i \leq \sigma_i^p. \quad (34)$$

Из распределения интенсивности напряжений в массиве у выработки (см. рис. 2, б), полученного на базе решения задачи в нелинейно-упругой постановке, можно видеть, что оценка ее работоспособности по зависимости (34) может оказаться существенно выше, чем она следует из решения задачи в линейно-упругой постановке.

Решение задачи в нелинейно-упругой постановке дает возможность оценить протяженность зоны пластических деформаций в массиве у круговой выработки в зависимости от глубины ее разработки (см. рис. 2, в) и на этой основе разработать мероприятия по управлению состоянием массива горных пород. Решение задачи (см. рис. 2, в) получено при отсутствии распора крепи  $q_1 = 0$ .

Вместе с тем управление состоянием массива пород у выработки может быть связано с использованием крепи различной жесткости (см. рис. 2, г). Увеличение жесткости крепи приводит к уменьшению протяженности зоны пластических деформаций с одновременным уменьшением интенсивности напряжений на ее контуре и, стало быть, к увеличению ее работоспособности (см. формулу (34)). Однако следует иметь в виду, что наличие зоны пластических деформаций в приконтурной части круговой выработки приводит к увеличению ее работоспособности (см. рис. 2, б) по сравнению с работой массива по линейно-упругой схеме.

## Список литературы

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: Недра, 1979. 301 с.
2. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. М.: Недра, 1985. 271 с.
3. Tshibangu J.-P., Descamps F. The GPMs (UMons-Belgium) device for investigating the mechanical behavior of materials subjected to true triaxial compression. Geomechanics Research Series. Vol. 4. True triaxial testing of rocks. Editors: CRC Press / Balkema, Taylor&Francis Group. 2012. Pp. 51-60.
4. Mogi K. How I developed a true triaxial rock testing machine. Geomechanics Research Series Vol. 4. True triaxial testing of rocks. Editors: CRC Press / Balkema, Taylor&Francis Group. 2012. Pp. 139-157.
5. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Л.: Машиностроение, 1978. 368 с.
6. Новожилов В.В. Основы нелинейной теории упругости. М.: Гостехиздат, 1948. 287 с.

7. Ильюшин А.А. Пластичность. М.: Издательство АН СССР, 1963. 271 с.
8. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1968. 399 с.
9. Протосеня А.Г. Моделирование геомеханических процессов в рудном массиве с использованием модели физически нелинейного тела // Записки Горного института. 2015. Т. 214. С. 13-22.
10. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. Киев: Пульсары, 2001. 243 с.
11. Жуков А.М. Сложное нагружение и теория пластичности изотропных материалов // Известия АН СССР. Отдел технических наук. № 12. 1954.
12. Дэвис Е. Текучесть и разрушение стали со средним содержанием углерода при сложном напряженном состоянии. Статья в сборнике Теория пластичности. М.: ИЛ, 1948. С. 231-256.
13. Абрамов В.В. Остаточные напряжения в металлах. Расчеты методом расчленения тела. М.: Машгиз, 1963. 355 с.

UDC 622.831.232 © D.V. Botvenko, V.G. Kazantsev, Lee Hee Un, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 31-36

UNDERGROUND MINING

### Title CONTROLLING THE ROCK MASS STATE AROUND CIRCULAR MINE WORKINGS WITH CONSIDERATION OF NONLINEAR ELASTIC BEHAVIOR OF ROCKS

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-31-36>

## Authors

Botvenko D.V.<sup>1</sup>, Kazantsev V.G.<sup>2</sup>, Lee Hee Un<sup>1</sup>

<sup>1</sup>“Scientific Centre “VostNIIL” for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry” JSC, Kemerovo, 650002, Russian Federation

<sup>2</sup>Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, 656038, Russian Federation

## Authors' Information

**Botvenko D.V.**, PhD (Engineering), Head of Laboratory, tel.: +7 (3842) 64-30-99, e-mail: [main@nc-vostnii.ru](mailto:main@nc-vostnii.ru)

**Kazantsev V.G.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, tel.: +7 (3854) 43-22-85, e-mail: [wts-01@mail.ru](mailto:wts-01@mail.ru)

**Lee Hee Un**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academic Secretary, tel.: +7 (950) 579-59-96, e-mail: [leeanatoly@mail.ru](mailto:leeanatoly@mail.ru)

## Abstract

An analytical solution is obtained for the problem of the nonlinear elastic behavior of rocks surrounding a horizontal circular tunnel exposed to hydrostatic pressure and support thrust. To describe the physically nonlinear behavior of rocks, the deformation theory of small elastic-plastic deformations is used. Physico-mechanical model of the rock mass is represented by arbitrary type stress-deformation diagrams - from the Prandtl diagram, hardening diagrams to linear elastic diagrams. Obtained general stress distribution patterns can be used to manage the state of the rock mass around circular workings made at different depths. As an application, the paper suggests solutions of particular problems regarding the effect of support thrust on the stress state of rock mass surrounding the mine working for the case of a physically nonlinear elastic behavior of a material with a linear-power strain diagram.

## Figures:

Fig. 1. Loading diagram (a) and variants of the deformation diagrams (b) to the problem of the rock mass equilibrium in the vicinity of a single horizontal mine working

Fig. 2. Stress state in rock mass surrounding circular mine working

## Keywords

Circular mine working, Stress, Strain diagram, Physical nonlinearity, Support thrust, Hydrostatic pressure.

## References

1. Stavrogin A.N., Protosenya A.G. *Plastichnost gornyh porod* [Plasticity of rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1979, 301 p.
2. Stavrogin A.N., Protosenya A.G. *Prochnost gornyh porod i ustoychivost vyrabotok na bolshih glubinah* [Strength of rocks and stability of workings at great depths]. Moscow, Nedra Publ., 1985, 271 p.

3. Tshibangu J.-P. & Descamps F. The GPMs (UMons-Belgium) device for investigating the mechanical behavior of materials subjected to true triaxial compression. Geomechanics Research Series. Vol. 4. True triaxial testing of rocks. Editors: CRC Press. Balkema, Taylor&Francis Group., 2012, pp. 51-60.

4. Mogi K. How I developed a true triaxial rock testing machine. Geomechanics Research Series Vol. 4. True triaxial testing of rocks. Editors: CRC Press. Balkema, Taylor&Francis Group., 2012, pp. 139-157.

5. Smirnov-Alyaev G.A. *Soprotivlenie materialov plasticheskomu deformirovaniyu* [Resistance of materials to plastic deformation]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1978, 368 p.

6. Novozhilov V.V. *Osnovy nelineynoy teorii uprugosti* [Fundamentals of the nonlinear theory of elasticity]. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1948, 287 p.

7. Ilyushin A.A. *Plastichnost* [Plasticity]. Moscow, Izdatelstvo AN SSSR Publ., 1963, 271 p.

8. Malinin N.N. *Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti* [Applicable theory of plasticity and creep]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968, 399 p.

9. Protosenya A.G. Modelirovanie geomekhanicheskikh protsessov v rudnom massive s ispolzovaniem modeli fizicheskii nelineynogo tela [Simulation of geomechanical processes in the ore mass using the model of a physically nonlinear body]. *Zapiski Gornogo instituta – Notes of the Mining Institute*, 2015, Vol. 214, pp. 13-22.

10. Shashenko A.N., Tulub S.B. & Sdvizhkova E.A. *Nekotorye zadachi statisticheskoy geomekhaniki* [Some problems of statistical geomechanics]. Kiev, Pulsari Publ., 2001, 243 p.

11. Zhukov A.M. Slozhnoe nagruzhenie i teoriya plastichnosti izotropnykh materialov [Combined loading and theory of plasticity for isotropic materials]. *Izvestiya AN SSSR Otdel tekhnicheskikh nauk - News of the USSR Academy of Sciences. Department of Technical Sciences*, No. 12, 1954.

12. Davis E. *Tekuchest i razrushenie stali so srednim soderzhanie ugleroda pri slozhnom napryazhenom sostoyanii* [Yield and rupture of medium-carbon steel in a combined stress state]. An paper in the collection “Theory of Plasticity”. Moscow, Inostrannaya Literatura Publ., 1948, pp. 231-256.

13. Abramov V.V. *Ostatochnye napryazheniya v metallah. Raschety metodom raschleneniya tela* [Residual stresses in metals. Calculations by multi-partition method]. Moscow, Mashgiz Publ., 1963, 355 p.

# Способ безлюдной выемки полезных ископаемых

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-37-39>

*В статье идет речь о подземном способе извлечения полезных ископаемых, осуществляющемся очистным комплексом в автоматическом режиме или режиме адаптивной выемки, приспособляющемся к изменению гипсометрии пласта. При этом для определения зоны перехода полезного ископаемого в породу используются, во-первых, данные об изменении загруженности приводных двигателей резания, которая при указанном переходе произойдет скачкообразно из-за разности свойств полезного ископаемого и вмещающих пород, во-вторых, математическая 3D-модель залегания пласта полезного ископаемого. Описываемый способ проведения очистных работ вполне реализуем на практике, его внедрение позволит повысить безопасность ведения очистных работ, производительность и снизить себестоимость добычи полезного ископаемого.*

**Ключевые слова:** очистной комплекс, очистные работы, добычной комбайн, щитовые крепи, система управления комбайном, циклическая выемка, адаптивная выемка, математическая 3D-модель пласта.

## ВВЕДЕНИЕ

В данной статье речь пойдет о способе управления очистным комбайном двустороннего действия с поворотными барабанами, являющимся частью добычного комплекса, в состав которого входят, кроме комбайна, скребковый забойный конвейер и щитовые крепи (рис. 1).

## УПРАВЛЕНИЕ ОЧИСТНЫМ КОМБАЙНОМ

Управление таким комбайном осуществляют так, чтобы обеспечивать постоянное резание барабаном в пределах забойного пласта путем регулирования углового положения поворотных рукоятей. Опытные машинисты, наблюдающие за продвижением барабана и пластом, могут осуществлять управление вручную, но часто это становится затруднительным, так как образование пыли и распыление воды могут ухудшить видимость барабана машинистами. Кроме того, условия работы машиниста комбайна в забое являются опасными для его жизни и здоровья, поэтому обоснованно стоит задача убрать человека из забоя добычного участка и переложить выполняемые им функции по управлению комбайном на автоматизированную систему управления (далее АСУ). Переход от ручного управления очистным комбайном к автоматизированному даст возможность поднять его эксплуатационную производительность за счет увеличившейся скорости подачи комбайна, снижения простоев, а в купе с известными способами автоматизированного управления крепями комплекса позволит убрать человека из лавы, что серьезно улучшит безопасность подземной добычи угля. Безопасности работ будет способствовать и открывшаяся возможность повысить объемы пода-



## ЛУКЬЯНЕНКО

**Владислав Александрович**  
Инженер-конструктор ГШО,  
652055, г. Юрга, Россия,  
тел.: +7 (923) 510-00-34,  
e-mail: luk-vlads@mail.ru

ваемого в лаву воздуха за счет увеличения скорости потока воздуха, ограниченной сейчас для безопасности нахождения людей в лаве. Особенно это актуально для пластов толщиной 0,8-1,5 м. Здесь нужно отметить, что повышение нагрузки на лаву потребует увеличения объемов подаваемого в лаву воздуха из-за повышенной технической производительности добычного комбайна, а это возможно при условии отсутствия людей в лаве во время работы комбайна. Кроме того, по той же причине (увеличение технической производительности и, соответственно, нагрузки на лаву) необходимо будет повысить и мощность привода лавного скребкового конвейера, размещение которого на штреке потребует увеличить размер штрека и общую площадь его сечения. А это позволит не только разместить в нем увеличенные по мощности приводы конвейера, но и сохранить допустимую скорость потока воздуха в штреке за счет повышения общего объема прокачиваемого воздуха в единицу времени при допустимой величине скорости потока воздуха в штреке. Да и увеличенное сечение штрека позволит при сильном горном давлении снизить затраты на поддержание штрека, особенно при повторном его использовании в качестве вентиляционного.

Известен способ контроля и управления движением очистных комбайнов по гипсометрии пласта, включающий контрольный цикл прохода комбайна по всей длине очистного забоя с ручным регулированием углового положения поворотной рукояти с режущим барабаном при визуальном контроле движения по гипсометрии пласта с автоматической записью в электронном блоке фактических команд с привязкой их к местоположению комбайна по длине лавы и повторением этих команд при отработке второго и третьего циклов уже без присутствия человека в очистном забое, то есть в программном режиме под управлением АСУ комбайна. Такой способ принято называть циклической выемкой [1].

## ПРЕДЛАГАЕМЫЙ СПОСОБ ВЫЕМКИ

Предлагается улучшенный способ выемки полезного ископаемого в автоматическом режиме АСУ комбайна по



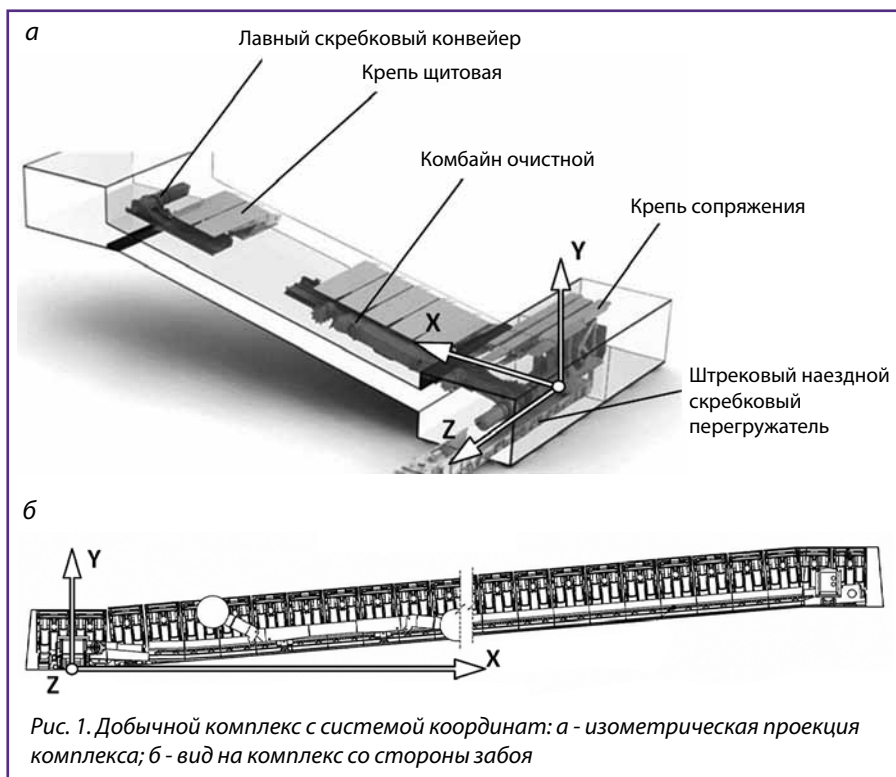


Рис. 1. Добычный комплекс с системой координат: а - изометрическая проекция комплекса; б - вид на комплекс со стороны забоя

контрольным точкам 3D-математической модели пласта полезного ископаемого [2], при котором также происходят распознавание кромки уголь/порода и приспособление АСУ комбайна к изменяющейся гипсометрии пласта непосредственно в момент работы комбайна в лаве, исключающий необходимость проведения уточняющих контрольных проходов в ручном режиме [3].

Способ предполагает несколько основных этапов. Первый этап - создание на основе данных горно-геологической разведки (бурения скважин с поверхности и анализа профиля залегания пласта с полезным ископаемым из штреков) 3D-математической модели пласта полезного ископаемого, например с помощью программ Micromine. Второй этап - внесение ее в память АСУ комбайна и привязка комплекса, его физического положения в лаве к коор-

динатной сетке 3D-математической модели пласта полезного ископаемого. Так как расстояние между штреками (транспортным и вентиляционным) выдержано достаточно точно, то в качестве исходных координат осей лучше всего принять координатные оси одного из штреков, к примеру транспортного (см. рис. 1). К координатам этих осей (Y по высоте и X по длине пласта и расположенных в плоскости сечения штрека и забоя лавы) и привязывать информацию с датчиков положения комбайна (инclinометры в остовах) и поворотных рукоятей (датчики на них или на осях их поворота), а соответственно, и связанных с ними режущих барабанов. Этой информации будет достаточно, чтобы полностью представить положение комбайна (в том числе поперечный и продольный крен) и режущих барабанов в пространстве этих координат X/Y/Z, а также определить относительно этих координат и положение лавного конвейера (положение которого определяется на основании информации с датчиков, установленных на комбайне) и крепей (положение последних определяется с помощью датчиков, установленных на самих крепях), входящих наравне с комбайном в состав добычного комплекса. Отслеживание изменения положения комбайна относительно крепей может осуществляться различными известными способами [4].

Третий этап - начало работы комбайна по программе АСУ, регулирующей положение поворотных рукоятей относительно кровли и почвы, согласно данным, заложенным в 3D-математической модели пласта, то есть один шнек повторяет виртуальный контур кровли, а другой шнек повторяет виртуальный контур почвы 3D-математической модели пласта. Учитывая, что 3D-математическая модель

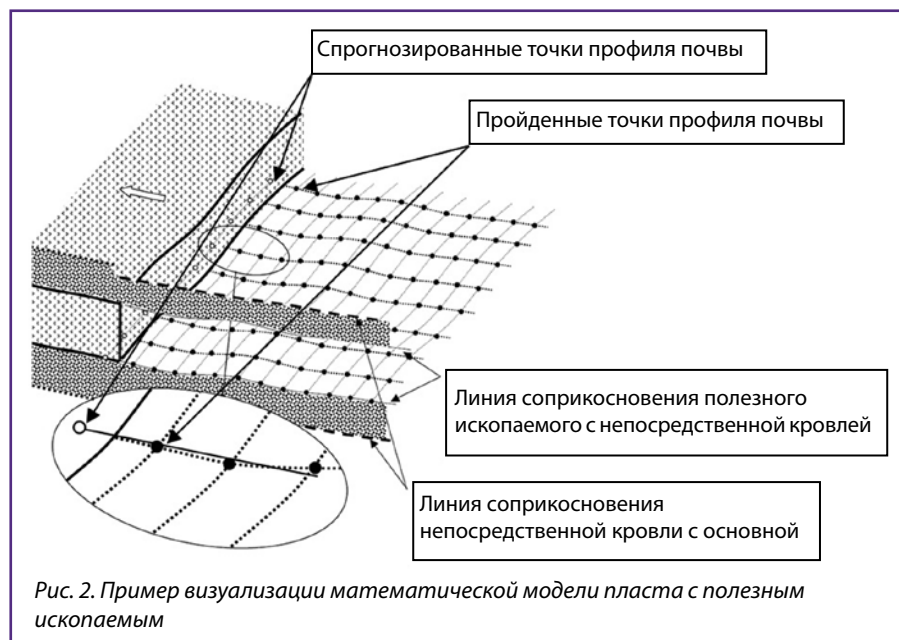


Рис. 2. Пример визуализации математической модели пласта с полезным ископаемым

пласта имеет определенную неточность описания контура профиля залегания фактического пласта с ископаемым и имеет с ним расхождения, очень важно отслеживать и фиксировать пройденную комбайном, а точнее, его шнеками траекторию, которая во время работы комбайна в режиме адаптивной выемки [3] может иметь отклонения от виртуальной кривой гипсометрии кровли и почвы, так как в режиме адаптивной выемки отслеживается загруженность электродвигателей приводов шнеков и корректируются по определенному алгоритму положения шнеков относительно вмещающих пород, избегая их перегрузки [3].

По факту в конце прохода комбайном «стружки» в лаве получаем запись пройденного комбайном пути

с профилем сформированной кровли и почвы, с привязанными к определенным координатам действиями, то есть картину фактической гипсометрии вмещающих пород. Четвертый этап - анализ АСУ комбайна данных, полученных и записанных при работе в режиме адаптивной выемки. Такой анализ необходим для уточнения на несколько стружек вперед 3D-математической модели пласта путем экстраполяции (рис. 2), с учетом обеспечения геометрической проходимости всего очистного комплекса, обусловленной конструкцией комплекса, в частности, щитовых крепей и лавного конвейера, а также преодоления прогнозируемых горно-геологических нарушений (рис. 3).

Пятый этап - начало новой «стружки» по уже уточненной 3D-математической модели пласта полезного ископаемого в режиме адаптивной выемки. Цикл повторяется.

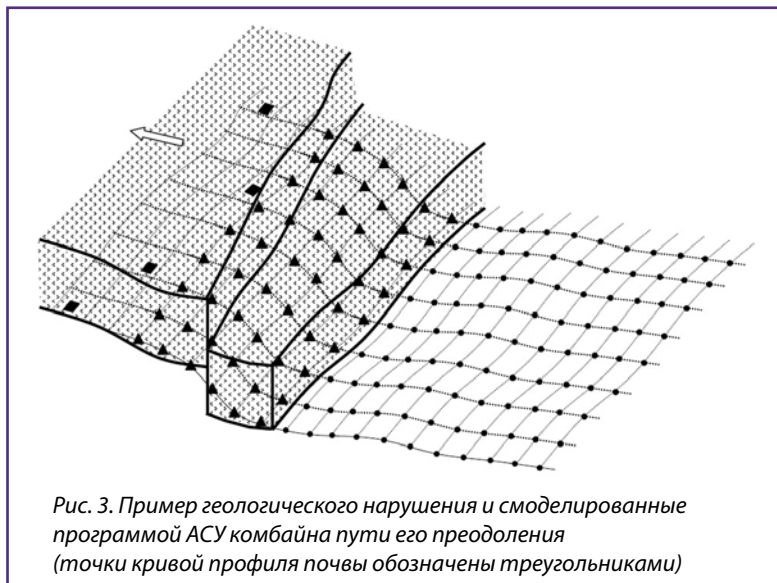


Рис. 3. Пример геологического нарушения и смоделированные программой АСУ комбайна пути его преодоления (точки кривой профиля почвы обозначены треугольниками)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможно, практика внедрения в жизнь описываемого способа потребует введения калибровочной «стружки», необходимой для выяснения предельных значений параметров, участвующих в алгоритмах работы программы АСУ под конкретные горно-геологические условия лавы (крепость полезного ископаемого и вмещающих пород, наличие прослоек и их характеристики и т.д.).

Описываемый способ проведения очистных работ вполне реализуем на практике, его внедрение позволит повысить безопасность ведения очистных работ, производительность и снизит себестоимость добычи полезного ископаемого.

### Список литературы

1. Стадник Н.И. Особенности и функциональная модель мехатронного очистного комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 5. С. 32-40.
2. Interconnection of Landmark Compliant Longwall Mining Equipment – Shearer Communication and Functional Specification for Enhanced Horizon Control // CSIRO Exploration & Mining Report P2004/6.
3. Лукьяненко В.А. Способ адаптивной выемки полезного ископаемого // Горный журнал Казахстана. 2017. № 5. 40-43 с.
4. Нинхаус К. Автоматика и связь очистного комбайна – путь к автономному оборудованию // Коул Интернэшнл. 2010. № 4. С. 22-25.

### COAL MINING EQUIPMENT

UDC 622.232.72.054 © V.A. Lukyanenko, 2019

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 37-39

#### Title

**THE METHOD OF UNPOPULATED EXTRACTION OF MINERALS**

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-37-39>

#### Author

Lukyanenko V.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yurga, 652055, Russian Federation

#### Authors' Information

**Lukyanenko V.A.**, Design Engineer Mining Equipment, tel.: +7 (923) 510-00-34, e-mail: luk-vlads@mail.ru

#### Abstract

The paper deals with the method of controlling the cutting of the Shearer on double-acting rotary drums with the ability to work is not functioning combine during minerals extraction in automatic mode or adaptive seizure, adjusting to the change of hypsometry formation. For the determination of the transition zone minerals in a rock are used to change load drive motors of the cutting, which is when the transition will occur abruptly because of the differences in properties of minerals and host rocks, as well as a mathematical 3D model of the bedding of the mineral. The described method of carrying out sewage works is quite feasible in practice, its implementation will improve the security of doing cleaning work, its performance and reduce the cost of mining.

#### Keywords

Treatment plant, Shearer, Sewage treatment works, Mining harvester, Shield roof supports, System control processor, Circular recess, Adaptive notch, Mathematical 3D model of layer.

#### References

1. Stadnik N.I. Osobennosti i funktsional'naya model' mekhatronnogo ochistnogo kompleksa [Mechatronic longwall complex specific features and functional model]. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika – Mining Equipment and Electromechanics*, 2008, no. 5, pp. 32-40.
2. Interconnection of Landmark Compliant Longwall Mining Equipment – Shearer Communication and Functional Specification for Enhanced Horizon Control. *CSIRO Exploration & Mining Report*, No. P2004/6.
3. Lukyanenko V.A. Sposob adaptivnoy vyemki poleznogo iskopaemogo [Adaptive methods of mineral resources production]. *Gornyy zhurnal Kazakhstana – Mining Journal of Kazakhstan*, 2017, no. 5, pp. 40-43.
4. Nienhouse K. Avtomatika i svyaz' ochistnogo kombayna – put' k avtonomnomu oborudovaniyu [Shearer automation and communication is a path to independent equipment]. *Coal International*, 2010, no. 4, pp. 22-25.

# Новые сценарии развития экономики России: оценка цен и финансово-экономических показателей развития угольной промышленности до 2025 года

(Окончание. Начало см. журнал «Уголь» № 5-2018, с. 66-71)

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-40-46>

## ПЛАКИТКИНА Людмила Семеновна

Канд. техн. наук, член-корр. РАЕН,  
руководитель Центра исследования  
угольной промышленности мира и России ИНЭИ РАН,  
113186, г. Москва, Россия,  
e-mail: luplak@rambler.ru

## ПЛАКИТКИН Юрий Анатольевич

Доктор экон. наук, профессор, академик РАЕН,  
заместитель директора по науке ИНЭИ РАН,  
113186, г. Москва, Россия,  
e-mail: uplak@mail.ru

В статье представлены результаты исследований авторов по оценке возможных уровней цен на уголь, которые могут быть достигнуты в прогнозном периоде (до 2025 г.). В исследовании авторов задействован механизм прогноза цен на уголь, учитывающий, с одной стороны, региональную дифференциацию усложнения условий отработки запасов, а с другой – уровень цен на мировом рынке нефти. Этот уровень цен обуславливался принимаемыми для расчетов вариантами сценарных условий, разработанных Минэкономразвития России (МЭР) в 2017 г. Полученные результаты по оценке прогнозных цен на уголь позволяют угольному бизнесу, соизмеряя их прогнозный уровень с уровнем планируемых эксплуатационных и инвестиционных затрат, формировать наиболее эффективные планы производства и поставок угольной продукции на внутренний и внешний рынки. На основе сформированного прогнозного ценового ряда авторы статьи осуществили моделирование и анализ основных финансово-экономических показателей работы угольной отрасли по трем сценарным вариантам. В соответствии с системой показателей в процессе исследования была проведена комплексная оценка этих сценарных вариантов. Полученные результаты позволили авторам сформулировать обобщающие выводы и рекомендации, в том числе учитывающие необходимость технологического обновления угольной отрасли путем реализации основных направлений программы «Индустрия-4.0».

**Ключевые слова:** прогноз цен угля до 2025 г., угольные месторождения, экспорт угля, финансово-экономические показатели угольной отрасли до 2025 г., сценарные варианты социально-экономического развития экономики России до 2025 г., прогнозные уровни показателей, эффективность, капитализация, налоги, система мер, программа «Индустрия-4.0».

## ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей статье [1] были представлены результаты модельных расчетов, связанных с определением вариантов добычи коксующихся и энергетических углей по регионам России в период до 2025 г. Эти объемы добычи явились основой для оценки прогнозных цен на уголь (коксующийся и энергетический) и системы финансово-экономических показателей, оценивающих эффективность развития угольной отрасли в пределах сценарных условий, принятых МЭР к рассмотрению.

В процессе исследования прогнозные варианты цен на уголь были определены на основе трех сценариев развития мировой экономики и энергетических рынков, а также соответствующих им вариантов добычи угля. Существенным фактором, учитываемым в прогнозных расчетах, являлась реальная мировая цена нефти (в дол. США, 2015 г.), прогнозная динамика которой, отражена в трех сценарных вариантах, актуализированных Минэкономразвития России в 2017 г. [2].

Методический подход, используемый при прогнозном обосновании цен на уголь, основан на учете их зависимости как от объемов отработанных запасов угля, так и мировых цен нефти. При этом динамика отработанных запасов угля учитывалась в модельных расчетах в виде накопленной добычи, осуществляемой за принятый к анализу ретроспективный период времени. В целом алгоритм модельных расчетов реальных цен на уголь предусматривает:

– установление зависимости номинальной цены угля (у предприятия) от объемов обрабатываемых запасов, что позволяет осуществить ее прогноз в зависимости от производственной программы развития отрасли;

– определение зависимости номинальной цены угля от номинальной цены нефти, на основе которой осуществляется оценка прогнозных уровней номинальной цены нефти;

\* Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-010-00467 «Разработка экономических индикаторов и технологических параметров развития угольной отрасли России до 2035 г. в условиях смены вектора мирового инновационно-технологического процесса, обусловленной реализацией программы «Индустрия-4.0».



– сопоставление прогнозной динамики реальной цены нефти, принятой в вариантах сценарного развития, и прогнозных уровней ее номинальной цены, обусловленной прогнозом номинальной цены угля, что позволяет проводить оценку дефляторов цен и на основе их значений осуществлять прогноз реальных цен на уголь.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗА ЦЕН НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И КОКСУЮЩИЕСЯ УГЛИ НА ПЕРИОД ДО 2025 г.**

В соответствии с вышеприведенным алгоритмом в процессе исследования были получены прогнозные оценки реальных цен у производителей угля (в дол. США 2015 г.) в региональном разрезе с дифференциацией их по видам: энергетические и коксующиеся угли. Эти оценки легли в основу расчетов средних отраслевых цен по сценарным вариантам добычи угля (табл. 1).

Среднеотраслевые цены на уголь (без НДС и железнодорожных тарифов), в соответствии с прогнозами, выполненными на период до 2020 г., будут повышаться среднегодовыми темпами прироста соответственно по следующим сценарным вариантам от 1,1% (консервативному) до 1,9% (базовому) и 2,9% (целевому) (рис. 1).

Последующий период (2020-2025 гг.) будет характеризоваться увеличением темпов роста цен. Так, среднегодовые темпы прироста цен, в соответствии с расчетами, в период с 2020 по 2025 г. составят 3,9% в целевом варианте, 3% и 2,3% соответственно в базовом и консервативном сценарном вариантах. Такое повышение цен определяется прогнозной динамикой реальных цен на энергетические и коксующиеся угли. Рост цен на энергетические угли объясняется как повышением затрат, обусловленным увеличением глубины ведения горных работ и, соответственно, усложнением условий отработки запасов, так и ростом мировых цен нефти, определяемым сценариями развития мировой экономики и глобальных рынков, принятыми Минэкономразвития России. Расчеты показывают, что в этих условиях среднегодовые темпы прироста цен на энергетические угли в период до 2025 г. составят 2,5% по целевому варианту, 1,9% и 1,2% соответственно по базовому и консервативному вариантам (рис. 2).

Средние реальные цены коксующихся углей (без НДС и железнодорожных та-

**Прогноз цен (в дол. США, 2015 г.) на уголь (без НДС и железнодорожных тарифов) на период до 2025 г. (2015 г. = 100 %)**

Бассейны и месторождения	2015 г., факт	2020 г., прогноз	2025 г., прогноз
Россия, в том числе:		114,6	136,8
	100	109,3	125,7
		105,6	117,6
– коксующиеся		128,1	146,2
	100	123,7	136,5
		119,6	128,3
– энергетические		102,8	125,6
	100	99,6	119,1
		95,9	111,8
Донецкий – энергетические	100	97,1	113,3
		93,5	107,6
		90,5	101,1
Печорский – энергетические (интинский)	100	84,1	88,5
		81,6	85,7
		78,8	80,4
Печорский – коксующиеся (воркутинский)	100	103,5	105,0
		100,5	99,8
		97,2	93,5
Кузнецкий – энергетические	100	96,3	123,4
		93,0	115,4
		89,7	108,4
Кузнецкий – коксующиеся	100	129,1	140,2
		124,9	130,7
		120,8	122,7
Канско-Ачинский	100	106,6	144,3
		103,3	139,3
		100,0	131,1
Восточно-Сибирские – прочие (коксующиеся и энергетические)	100	112,8	133,3
		109,4	129,3
		105,7	122,2
Дальневосточные – энергетические	100	96,2	123,7
		93,4	119,4
		90,0	112,8
Дальневосточные – коксующиеся	100	127,3	127,3
		123,7	121,8
		119,7	114,3

\* Числитель – целевой сценарий, первый знаменатель – базовый сценарий, второй знаменатель – консервативный сценарий.

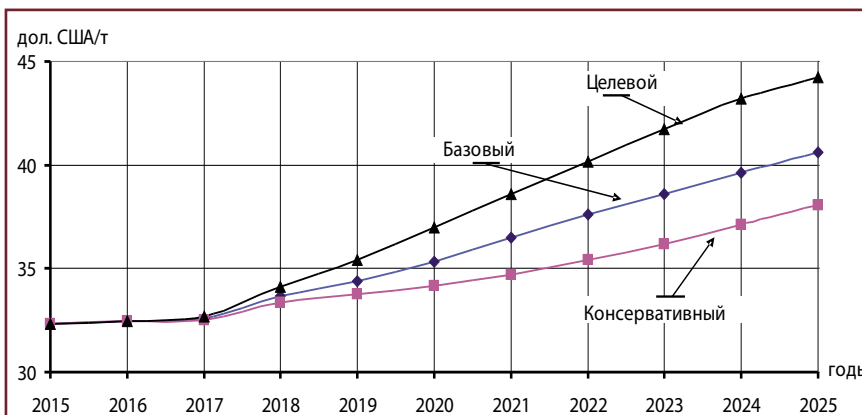


Рис. 1. Прогноз средних цен на уголь (без НДС и железнодорожных тарифов) на период до 2025 г., дол. США/т (дол. США, 2015 г., источник: ИНЭИ РАН)

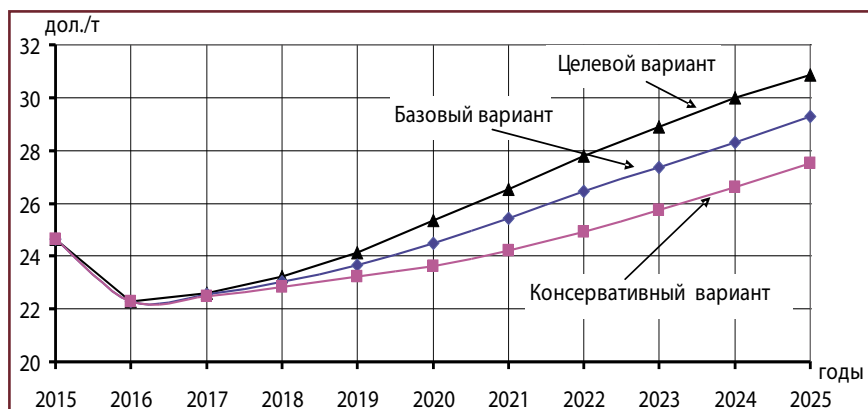


Рис. 2. Прогноз цен на российские энергетические угли (без НДС и железнодорожных тарифов) на период до 2025 г., дол. США/т (дол. США, 2015 г., источник: ИНЭИ РАН)

рифов) в целом по угольной отрасли России в период до 2025 г. будут расти быстрее, чем цены на энергетические угли. Так, в этот период среднегодовые темпы прироста цен на коксующиеся угли составят 2,5% в консервативном, 3,2% в базовом и 3,9% в целевом сценарном вариантах. Это обусловлено более значимым (по сравнению с энергетическими углями) воздействием мировой цены нефти на цены коксующихся углей. Действительно, за последние 20 лет рост номинальной мировой цены нефти на 10 дол. США/бар. вызывал повышение цен на энергетические угли всего на 2,7 дол. США/т, а на коксующиеся угли это воздействие было в 2,6 раза сильнее – прирост составил почти 7 дол. США/т (рис. 3).

Согласно выполненным расчетам, самый высокий уровень прогнозных цен на энергетические угли будет достигнут в Донецком бассейне. Соответственно, самый низкий их уровень традиционно будет приходиться на угли Канско-Ачинского бассейна.

Установленная в процессе исследования прогнозная динамика цен на энергетические угли позволяет выделить достаточно устойчивые региональные ценовые зоны. В целом, прогнозные уровни цен на энергетические угли формируют три достаточно устойчивых по времени кластера (рис. 4).

Это зоны: «высоких» цен; «средних» цен; «низких» цен. Зона «высоких» цен на энергетические угли (чукотские, донецкие, хакасские) характеризуется сравнительно



Рис. 3. Прогноз цен на российские коксующиеся угли (без НДС и железнодорожных тарифов) на период до 2025 г., дол. США/т (дол. США, 2015 г., источник: ИНЭИ РАН)

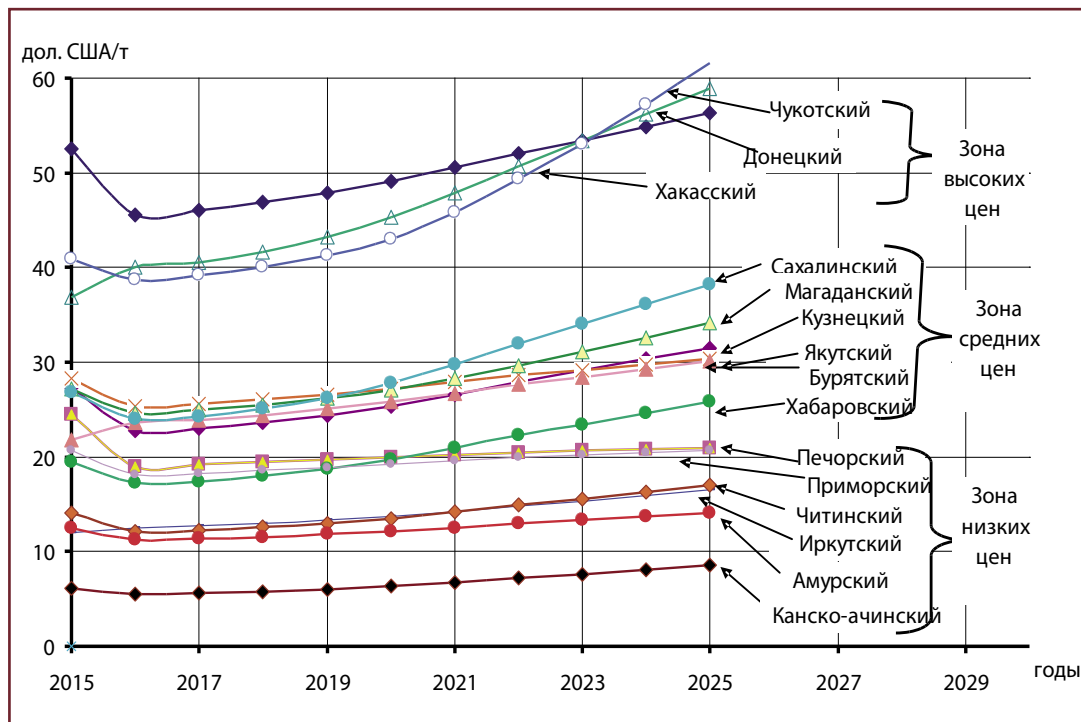


Рис. 4. Прогноз средних цен на энергетические угли по базовому варианту, дол. США/т (дол. США, 2015 г., источник: ИНЭИ РАН)

«низкой» экономической эффективностью добычи угля, обусловленной существенными затратами на их производство. Месторождения этой зоны имеют в основном местное значение; масштабы их разработки ограничиваются либо рядом экономико-географических факторов, либо существенной конкуренцией со стороны других энергоисточников.

Зона «средних» цен охватывает добычу сахалинских, магаданских, кузнецких, якутских, бурятских и хабаровских углей. Можно отметить, что угли этой ценовой зоны обладают самым большим экспортным потенциалом. Кроме того, они достаточно востребованы на внутреннем рынке – как в секторе энерго-теплоэнергетики, так и в коммунально-бытовой сфере. Зону «низких» цен составляют энергетические угли Канско-Ачинского и Печорского бассейнов, а также приморские, читинские, иркутские и амурские угли. Эта ценовая зона формирует область достаточно эффективной угольной энергетики. Сравнительно «низкие» цены дают возможность формирования достаточно конкурентных тарифов на электроэнергию и тепло.

Коксующиеся угли в прогнозном периоде будут занимать более высокие по сравнению с энергетическими углями ценовые уровни. При этом самый высокий прогнозный уровень цен будет у кузнецких углей. Печорские угли, по сравнению с другими коксующимися углями, будут обладать как более сдержанными темпами роста цен, так и более «низкими» их уровнями, достигаемыми к концу прогнозного периода (2025 г.).

**ПРОГНОЗ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ДО 2025 г.**

Полученная в исследовании прогнозная динамика реальных региональных цен на уголь позволила сформировать средние отраслевые цены на уголь по сценарным вариантам его добычи. Прогнозная ценовая линейка, дифференцированная по сценарным вариантам, была использована в имитационной модели «Финпромуголь», разработанной авторами настоящей статьи [3].

Таблица 2

**Основные финансово-экономические показатели (в руб. 2015 г.) развития угольной промышленности России по сценарным вариантам на период до 2025 г., % (2015 г. = 100%)**

Наименование показателей	Сценарные варианты	2015 г.	2016 г.	2020 г.	2025 г.
Валовая выручка (в ценах предприятия)	Целевой	100	104	130	165
	Базовый			111	125
	Консервативный			109	112
– в том числе экспортная	Целевой	100	155	258	393
	Базовый			171	189
	Консервативный			174	161
– на внутреннем рынке	Целевой	100	97	100	119
	Базовый			100	112
	Консервативный			96	105
Инвестиции в основной капитал	Целевой	100	119	149	185
	Базовый			127	141
	Консервативный			125	127
Налоги и платежи всех уровней	Целевой	100	93	108	151
	Базовый			87	102
	Консервативный			85	88
– в том числе НДС	Целевой	100	86	112	140
	Базовый			86	88
	Консервативный			85	76
Вклад в ВВП	Целевой	100	103	123	152
	Базовый			115	136
	Консервативный			112	126
Рентабельность продаж	Целевой	100	127	96	45
	Базовый			192	225
	Консервативный			178	257
EBIDTA	Целевой	100	106	93	86
	Базовый			117	141
	Консервативный			111	142
Добавленная стоимость на 1 т добычи	Целевой	100	117	130	129
	Базовый			161	196
	Консервативный			152	200
Капиталоотдача	Целевой	100	87	88	89
	Базовый			87	88
	Консервативный			87	88
Фондоотдача	Целевой	100	100	129	157
	Базовый			107	121
	Консервативный			107	107
Годовая выработка на одного работника	Целевой	100	106	160	260
	Базовый			154	244
	Консервативный			150	235



В процессе исследования модельные расчеты охватывали систему финансово-экономических показателей работы угольной отрасли, намечаемой в рамках принятых сценарных вариантов к реализации в период до 2025 г. [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Результаты проведенных расчетов представлены в табл. 2.

Комплексная оценка сценариев развития угольной отрасли по системе достигаемых прогнозных показателей позволяет сформулировать следующие выводы.

Темпы прироста валовой выручки к 2025 г., по сравнению с уровнем 2015 г., могут составить 65% в целевом, 25% в базовом и 12% в консервативном сценарных вариантах. Основной прирост валовой выручки будет получен за счет экспорта угля. Так, в целевом варианте экспортная выручка может увеличиться (по сравнению с 2015 г.) более чем в 3,5 раза, в базовом и консервативном вариантах соответственно почти на 90% и 70%. Уже к 2020 г. доля экспортной выручки в общем объеме валовой выручки может составить от 51 до 61% (61% – по целевому, 52% – по базовому и 53% – по консервативному сценарным вариантам).

Если будет реализован целевой вариант, то угольная отрасль может окончательно стать экспортно ориентированной. При этом к 2025 г. доля экспорта в выручке может составить около 70%.

Объемы инвестиций в основной капитал к 2025 г. по сравнению с уровнем 2015 г. должны увеличиться: на 85% – в целевом, на 42% – в базовом и на 27% – в консервативном сценарных вариантах. Важно отметить, что капиталотдача во всех трех вариантах после 2020 г. должна поменять свою тенденцию – с постоянно падающей на стабилизационную.

Общий объем налогов и платежей в 2025 г. по сравнению с уровнем 2015 г. возрастет в 1,5 раза по целевому варианту, незначительно повысится (на 2%) по базовому и снизится на 12% по консервативному сценарному вариантам. При этом один из основных налогов – налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ) – может возрасти на 40% в целевом сценарии, но снизится в среднем на 10-20% в базовом и консервативном вариантах.

Рентабельность продаж угля в среднем по России с 5,1% в 2015 г. может снизиться в 2020-2025 гг. до 2-5% в целевом и возрасти до 10-12% в базовом и до 9-13% в консервативном сценарных вариантах.

Показатель EBITDA относительно уровня 2015 г. уменьшится в 2025 г. на 14% в целевом и возрастет на 41-42% в базовом и консервативном сценарных вариантах.

Добавленная стоимость на 1 т добычи в 2025 г. по сравнению с уровнем 2015 г. может возрасти на 30% (в целевом сценарном варианте), на 96% – в базовом сценарном варианте и удвоится в консервативном сценарном варианте. Это связано с более высокими производственными затратами в целевом варианте и обусловленными высокими объемами добычи угля.

Фондоотдача может повыситься: в 1,5 раза – по целевому варианту и, соответственно, на 20% и 7% – по базовому и консервативному сценарным вариантам.

Во всех трех сценарных вариантах предусматривается достижение к 2025 г. высоких уровней производительности труда: по целевому варианту она должна возрасти в 2,6 раза, а по базовому и консервативному вариантам – в 2,4 раза.

Расчеты основных финансово-экономических показателей развития угольной промышленности России на период до 2025 г. позволили дать оценку сценарных вариантов развития угольной промышленности:

- несмотря на самые высокие уровни добычи угля в целевом сценарии, базовый и даже консервативный сценарии по ряду финансово-экономических показателей (рентабельность продаж, EBITDA, чистая прибыль, добавленная стоимость) являются более предпочтительными для реализации. Например, рост капитализации угольных компаний в них будет более значимым, а инвестиционные затраты – значительно меньшими;

- базовый сценарный вариант, при незначительных отличиях по финансово-экономическим показателям от консервативного варианта, является более эффективным. Для него характерны более высокие уровни производительности труда и фондоотдачи, что в большей мере соответствует целям реализации проекта «Индустрия-4.0» в угольной промышленности [10, 11, 12, 13, 14]. Наряду с этим базовый сценарный вариант генерирует больше добавленной стоимости, что потенциально определяет более «высокий» уровень инновационного развития угольной отрасли и позволяет в прогнозном периоде, не снижая размеры платежей в федеральный и региональные бюджеты, обеспечить значительный и повышающийся вклад в ВВП страны.

Для того чтобы обеспечить требуемый уровень эффективной работы угольной промышленности в период до 2025 г., от государственного регулятора потребуются выполнение комплекса мер, включая нижеследующие направления:

- разработка программных действий по обеспечению конкурентоспособности и сохранению экспортного потенциала отрасли в условиях неопределенности мировой ценовой конъюнктуры;

- переход к использованию прогрессивных технологий добычи угля – циклично-поточных, поточных, роботизированных и других, реализуемых в рамках осуществления проекта «Индустрия-4.0» по направлениям «Интернет вещей» и производственные киберфизические системы [15];

- внедрение и использование прогрессивных технологических и технических решений в области добычи и переработки угля, включая дальнейшее развитие инновационных проектов «Умная шахта» и «Умный разрез»;

- оснащение шахт и разрезов современным добычным, проходческим и транспортным оборудованием, отвечающим мировым стандартам, ориентирующим на применение в производственных процессах интеллектуальных киберфизических систем, а также обеспечивающим повышение надежности и значительный рост производительности труда в угольной отрасли;

- увеличение глубины и объемов переработки угля; применение эффективных технологий в области обогащения, обеспечивающих повышение качества добываемого угля; разработка и реализация «пилотных» проектов в области глубокой переработки угля;

- разработка новых технологий и оборудования для эффективной дегазации угольных пластов, оборудования и средств защиты от взрыва метана и угольной пыли;

- реализация «пилотных» проектов на базе российских

технологий глубокой переработки угля и добычи шахтного метана;

- продолжение создания производственных угольно-энергетических и горно-металлургических кластеров на базе инновационных технологий комплексного использования угольных ресурсов;

- предоставление субсидий бюджетам субъектов РФ на цели реализации мероприятий, предусмотренных программами развития инновационных территориальных кластеров в рамках федеральных целевых и государственных программ;

- снижение аварийности и травматизма на угледобывающих предприятиях;

- обеспечение финансирования разведки угольных ресурсов в освоенных бассейнах, где возможен открытый способ добычи, а также на новых площадях в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах в рамках государственной программы Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов»;

- строительство необходимой портовой инфраструктуры и модернизация действующих портов (Восточный, Ванино, Усть-Луга, Мурманск и другие), а также проработка вопросов необходимости строительства новых портов с высокопроизводительными угольными терминалами, в том числе в районе Амаамской бухты в Чукотском автономном округе и других.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в статье результаты финансово-экономических показателей дают возможность для оценки эффективности работы отрасли в конкретных прогнозных условиях. Расчетный диапазон их изменения достаточно представителен. Он охватывает, с одной стороны, вариант возможной будущей благоприятной конъюнктуры внешней торговли энергоресурсами, связанной с отменой части экономических санкций, тормозящих развитие экономики России и, соответственно, ее угольной промышленности; с другой стороны – вариант неблагоприятной конъюнктуры рынка энергоносителей, характеризующийся стремлением ряда стран к энергетической независимости и дальнейшим ужесточением экономических санкций. При этом вне зависимости от этих внешних условий в предстоящем периоде на развитие угольной отрасли будут оказывать существенное влияние новые технологии, внедряемые в различные секторы экономики. Они будут не только требовать технологического переоснащения отрасли на основе реализации направлений программы «Индустрия-4.0», но и существенным образом приведут к пересмотру объемов поставок угля и его цен на российском и внешнем рынках. В целом, представленные расчеты позволяют сформулировать достаточно широкий диапазон возможного развития угольной промышленности в предстоящем прогнозном периоде. Расчеты показали, что ставка на высокий уровень развития экспорта угля возможна лишь в достаточно благоприятных условиях, обусловленных целевым сценарием развития экономики страны. Но даже в этих условиях без технологической модернизации отрасли улучшение базовых финансово-экономических показателей работы отрасли может стать проблемным. Вероятнее всего, в ближай-

шем прогнозном периоде будет реализовываться вариант, приуроченный к базовому сценарию. Он является достаточно «сбалансированным» как по обеспечению роста капитализации угольных компаний, так и по достигаемому показателю работы отрасли на внешнем и внутреннем рынках.

Полученные результаты расчетов дают возможность для государственного регулятора оценить будущий «вклад» развития угольной отрасли в экономику России, а угольного бизнеса, на основе сопоставления заявляемых показателей развития с расчетными отраслевыми, сформировать выводы о дальнейшем потенциале развития угольных компаний.

## Список литературы

1. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А. Новые сценарии развития экономики России: актуализированные прогнозы развития добычи угля в период до 2025 года // Уголь. 2018. № 5. С. 66-72. doi: 10.18796/0041-5790-2018-1-51-57.
2. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2018 год и на плановый период 2019 и 2020 годов. М.: Министерство экономического развития Российской Федерации, сентябрь 2017 г.
3. SCANNER Модельно-информационный комплекс. Под ред. А.А. Макарова / А.А. Макаров, Ф.В. Веселов, О.А. Елисеева и др. М.: ИНЭИ РАН, 2011. 72 с.
4. Статистические и аналитические информационные материалы по основным показателям производственной деятельности организаций угольной отрасли России. М.: ЦДУ ТЭК, 2000-2017. [Web-Ресурс]. URL: <http://www.cdu.ru> (дата обращения: 15.09.2018).
5. Coal Information 2016 // International Energy Agency Statistics, OECD/IEA, 2017. [Web-Ресурс]. URL: <http://www.iea.org> (дата обращения: 15.09.2018).
6. BP Statistical Review of World Energy June 2017 // bp.com/statistical review, 2017. [Web-Ресурс]. URL: [www.bp.com](http://www.bp.com) (дата обращения: 15.09.2018).
7. Глинина О.И. Угольная промышленность в России: 295 лет истории и новые возможности // Уголь. 2017. № 10. С. 4-11. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102017.pdf> (дата обращения: 15.09.2018).
8. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3. С. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73.
9. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А. Угольная промышленность мира и России: анализ, тенденции и перспективы развития. М.: ИНЭИ РАН, 2017. 373 с.
10. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. 1. Программа «Индустрия-4.0» – новые подходы и решения // Уголь. 2017. № 10. С. 44-50. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102017.pdf> (дата обращения: 15.09.2018).
11. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. 2. Что «требует» от угольной отрасли четвертая промышленная революция? // Уголь. 2017. № 11. С. 46-53. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/112017.pdf> (дата обращения: 15.09.2018).
12. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности при-

менения в угольной отрасли России. 3. Систематизация основных элементов проекта «Индустрия – 4.0» по базовым процессам горного производства // Уголь». 2018. № 1. С. 51-57. doi: 10.18796/0041-5790-2018-1-51-57.

13. Machinery that repairs itself. URL: <http://www.phys.org/news/2017-09-machinery.html> (дата обращения: 15.09.2018).

14. Plattform «Industrie 4.0» – Startseite. URL: <http://www.plattform-i40.de/2017-09> (дата обращения: 15.09.2018).

15. Плакиткина Л.С. Систематизация основных направленных инновационных решений в угольной промышленности России. Основные инновационные решения в области добычи угля // Горная промышленность. 2015. № 3. С. 16-21.

ECONOMIC OF MINING

UDC 338.45:658.589:622.33(470) © L.S. Plakitkina, Yu.A. Plakitkin, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 40-46

**Title**  
**NEW SCENARIOS FOR RUSSIAN ECONOMY DEVELOPMENT: UPDATED FORECASTS OF COAL MINING DEVELOPMENT UNTIL 2025 (CONTINUED)**

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-40-46>

**Authors**

Plakitkina L.S.<sup>1</sup>, Plakitkin Yu.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ERI RAS, Moscow, 117186, Russian Federation

**Authors' Information**

**Plakitkina L.S.**, PhD (Engineering), Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of Center a Research of World and Russia of the Coal Industry, e-mail: [luplak@rambler.ru](mailto:luplak@rambler.ru)

**Plakitkin Yu.A.**, Doctor of Economic Sciences, Professor, RANS Member of RAS, Deputy Director, e-mail: [uplak@mail.ru](mailto:uplak@mail.ru)

**Abstract**

The paper presents the results of the authors' research on the evaluation of projected coal price levels that can be achieved in the forecast period (until 2025). The authors use in their study a coal price prediction mechanism that takes into account, on the one hand, regional difference in the complication of coal mining conditions, and on the other, the level of prices in the world oil market. The level of prices was based on price calculation scenarios developed by the Ministry of Economic Development of Russia (MED) in 2017. The resulting predicted coal price estimates enable coal businesses, by comparing predicted price level with the level of planned operational costs and capital expenditures, to form the most cost-effective plans of coal production and supply to domestic and foreign markets. Based on the defined price range forecast, the authors of the article carried out modeling and analysis of the coal industry key financial and economic indicators in three scenarios. In accordance with the system of indicators, a comprehensive evaluation of these scenarios was made. The results obtained allowed the authors to formulate general conclusions and recommendations, including those that consider the need for technological renewal of the coal industry by implementing major action items of the "Industry-4.0" program.

**Keywords**

Coal price forecast to 2025, Coal deposits, Export of coal, Financial and economic indicators of the coal industry to 2025, Scenarios for socio-economic development of the Russian economy until 2025, Predicted indicator levels, Efficiency, Capitalization, Taxes, System of measures, "Industry-4.0" program

**References**

1. Plakitkina L.S., Plakitkin Yu.A. Noveye stsennarii razvitiya ekonomiki Rossii: aktualizirovannye prognozy razvitiya dobychi uglya v period do 2025 goda [New scenarios for Russian economy development: updated forecasts of coal mining development until 2025]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 5, pp. 66-72. doi: 10.18796/0041-5790-2018-1-51-57.
2. *Prognoz sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na 2018 god i na planovyy period 2019 i 2020 godov* [Forecast of social and economic development of the Russian Federation for the period of 2018 and for the planned period of 2019 and 2020]. Moscow, Ministry of Economic Development of the Russian Federation, September 2017.
3. Makarov A.A., Veselov F.V., Eliseeva O.A., Kulagin V.A., Plakitkina L.S. et al. *SCANNER Model'no-informatsionnyy kompleks* [SCANNER Model and information complex]. Edited by A.A. Makarov. Moscow, ERI RAS Publ., 2011, 72 p.
4. *Statisticheskie i analiticheskie informatsionnye materialy po osnovnym pokazatelyam proizvodstvennoy deyatel'nosti organizatsiy ugol'noy otrasli Rossii* [Statistical and analytical information content concerning the key indicators of production activities of organizations of the coal industry in Russia]. Moscow, Central Control Administration of the Fuel and Energy Complex, from 2000 to 2017. [Web-Resource]. Available at: <http://www.cdu.ru> (accessed 15.09.2018).

5. Coal Information 2016. *International Energy Agency Statistics*, OECD/IEA, 2017. [Web-Resource]. Available at: <http://www.iea.org> (accessed 15.09.2018).
6. BP Statistical Review of World Energy June 2017. *bp.com/statistical review*, 2017. [Web-Resource]. Available at: [www.bp.com](http://www.bp.com) (accessed 15.09.2018).
7. Glinina O.I. Ugol'naya promyshlennost' v Rossii: 295 let istorii i novye vozmozhnosti [The coal industry in Russia: 295 year history and new opportunities]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 10, pp. 4-11. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102017.pdf> (accessed 15.09.2018).
8. Tarazanov I.G. Itogy raboty ugol'noy promishlennosti Rossii za yanvar – dekabr 2017 [Russia's coal industry performance for January – December, 2017]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 3, pp. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/bgdev/Jour/032018.pdf> (accessed 15.09.2018).
9. Plakitkina L.S. & Plakitkin Yu.A. *Ugol'naya promyshlennost' mira i Rossii. Analiz, tendentsii i perspektivy razvitiya* [The World's and Russia's Coal Industry. Analysis, trends and growth prospects]. Moscow, ERI RAS Publ., 2017, 373 p.
10. Plakitkin Yu.A. & Plakitkina L.S. Mirovoy innovatsionnyy proekt «Industriya – 4.0» – vozmozhnosti primeneniya v ugol'noy otrasli Rossii. 1. Programma «Industriya – 4.0» – novye podkhody i resheniya [The Industry-4.0 global innovation project's potential for the coal industry of Russia. 1. Industry-4.0 Program – new approaches and solutions]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 10, pp. 44-50. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/102017.pdf> (accessed 15.09.2018).
11. Plakitkin Yu.A. & Plakitkina L.S. Mirovoy innovatsionnyy proekt «Industriya – 4.0» – vozmozhnosti primeneniya v ugol'noy otrasli Rossii. 2. Chto «trebuet» ot ugol'noy otrasli chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya? [The Industry-4.0 global innovation project's potential for the coal industry of Russia. 2. What "requires" the fourth industrial revolution from the Russian coal industry?]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 11, pp. 46-53. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/112017.pdf> (accessed 15.09.2018).
12. Plakitkin Yu.A. & Plakitkina L.S. Mirovoy innovatsionnyy proekt «Industriya – 4.0» – vozmozhnosti primeneniya v ugol'noy otrasli Rossii. 3. Sistematizatsiya osnovnykh elementov proekta «Industriya – 4.0» po bazovym protsessam gornogo proizvodstva [The Industry-4.0 global innovation project's potential for the coal industry of Russia. 3. "Industry – 4.0" key components alignment in accordance with basic mining processes]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 1, pp. 51-57. doi: 10.18796/0041-5790-2018-1-51-57.
13. Machinery that repairs itself. Available at: <http://www.phys.org/news/2017-09-machinery.html> (accessed 15.09.2018).
14. Plattform «Industrie 4.0» – Startseite. Available at: <http://www.plattform-i40.de/2017-09> (accessed 15.09.2018).
15. Plakitkina L.S. Sistematizatsiya osnovnykh napravleniy innovatsionnykh resheniy v ugol'noy promyshlennosti Rossii. Osnovnye innovatsionnye resheniya v oblasti dobychi uglya [Systematization of the main directions of innovative solutions in the Russian coal industry. The main innovative solutions in the field of coal mining]. *Gornaya Promyshlennost' – Mining Industry*, 2015, No. 3, pp. 16-21.

**Acknowledgements**

The paper was prepared with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) as part of the research project No. 18-010-00467 "Development of economic indicators and technological parameters for the evolution of the coal industry in Russia until 2035 in the context of changing the vector of the global innovation-technological process, due to the implementation of the Industry-4.0 program."



# Криминологическая оценка потенциальных угроз безопасности объектов угольной промышленности в условиях цифровизации

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-47-48>

## СТЕПАНОВ Олег Анатольевич

Доктор юрид. наук, профессор,  
главный научный сотрудник отдела уголовного,  
уголовно-процессуального законодательства,  
судоустройства Института законодательства  
и сравнительного правоведения  
при Правительстве Российской Федерации,  
117218, г. Москва, Россия,  
e-mail: o\_stepanov28@mail.ru

Предлагается осуществление криминологической оценки возможных проявлений источников угроз, связанных с функционированием объектов угольной промышленности в условиях цифровизации на основе методологии, изложенной в международных стандартах.

**Ключевые слова:** источник угрозы, фактор уязвимости, угроза, последствия угрозы, метод оценки источников угроз.

## ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация общественной практики все в большей степени охватывает различные сферы жизни, в том числе связанные с функционированием объектов угольной промышленности [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

## КРИМИНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ

Это обстоятельство нацеливает на осуществление криминологической оценки потенциальных угроз безопасности для этих объектов. Такую оценку целесообразно проводить на основе следующей логической последовательности: *источник угрозы – фактор уязвимости – угроза – последствия угрозы*.

Под *источником угрозы* могут пониматься потенциальные носители угрозы безопасности объектов угольной промышленности.

Под *фактором уязвимости* могут пониматься причины, приводящие к нарушению безопасности, обусловленные недостатками функционирования системы безопасности таких объектов.

Под *угрозой* допустимо понимать возможную опасность совершения какого-либо деяния (действия или бездействия), наносящего ущерб такому объекту.

Под *последствиями угрозы* понимаются возможные негативные факторы реализации угрозы, связанные с источником угрозы.

Криминологическая оценка возможных проявлений реализации угроз предполагает выбор методов минимизации ущерба отдельным объектам угольной промышленности. Такой ущерб может быть причинен каким-либо субъектом, и в этом случае наличествует его вина, которая связана со злым умыслом (с прямым или косвенным умыслом) либо с неосторожностью (деянием, совершенным по легкомыслию, небрежности), а причиненный ущерб должен квалифицироваться как состав преступления, оговоренный уголовным правом.

Применительно к функционированию объектов угольной промышленности необходимо учитывать требования действующего уголовного права, связанные прежде всего:

- с *уничтожением* – внешним воздействием на имущество, в результате которого оно прекращает свое физическое существование либо приводится в полную непригодность для использования по целевому назначению;

- с *повреждением* – изменением свойств имущества, при котором существенно ухудшается его состояние, утрачивается значительная часть его полезных свойств, и оно становится полностью или частично непригодным для целевого использования;

- с *диверсией* – совершением взрыва, поджога или иных действий, направленных на разрушение или повреждение предприятий, сооружений, средств связи.

При выборе метода оценки источников угроз целесообразно использовать методологию, изложенную в международных стандартах, разработанных на основе первой части Стандарта Великобритании BS 7799-95 «Практические правила управления информационной безопасностью» [10].

Так как источники угроз имеют разную степень опасности ( $K_{оп}$ ), которую можно количественно оценить, провести их ранжирование с учетом международных стандартов вполне допустимо по следующим косвенным показателям:

- *возможности возникновения источника* ( $K_1$ ), которая определяется степенью доступности к анализируемому объекту;

- *готовности источника* ( $K_2$ ), которая определяется степенью возможности совершения противоправных действий со стороны источника угрозы или наличием необходимых условий для этого;

- *фатальности* ( $K_3$ ), которая предопределяется степенью неустранимости последствий реализации угрозы.

Каждый из трех показателей оценивается экспертно-аналитическим методом по пятибалльной системе. При этом цифра 1 соответствует минимальной степени влияния оцениваемого показателя на опасность использования источника угроз, а 5 – максимальной.

В таком случае ( $K_{on_i}$ ) для отдельного источника вполне определить как отношение произведения вышеприведенных показателей к некоторому максимальному значению (125), являющемуся результатом произведения указанных трех показателей при максимальной степени влияния каждого из них на опасность использования источника угроз:

$$(K_{on_i}) = \frac{(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)}{125}$$

Результаты проведенного ранжирования относительно конкретных угроз безопасности целесообразно свести в таблицу, позволяющую определить наиболее опасные источники угроз безопасности в диапазоне от 1 до 0,2.

Источники угроз, имеющие коэффициент ( $K_{on_i}$ ) менее 0,2, в соответствии с указанным международным стандартом отнесены к маловероятным.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осуществляемая, таким образом, криминологическая оценка потенциальных угроз безопасности объектов угольной промышленности в условиях цифровизации общественной практики позволяет не только оценивать опасность самих угроз, но и своевременно разрабатывать соответствующие предупредительные меры их локализации.

### Список литературы

1. Сидоренко Э.Л., Шайдуллина В.К., Киракосян С.А. Tokenization угольной промышленности: экономические и криминологические риски // Уголь. 2018. № 12. С.54-59.

URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/122018.pdf> (дата обращения 15.01.2019).

2. Захарова В.В. Перспективы и проблемы развития угольной промышленности в Хакасии // Научный журнал. 2017. № 2. С. 56-59.

3. Волокитина В.М., Гедич Т.Г. Инвестиционная составляющая в современном положении и развитии угольной промышленности России // Экономический анализ: теория и практика. 2017. Т. 16. № 7. С. 1260-1268.

4. Алмастьян Н.А., Ратнер С.В. Современный уровень развития эко-инноваций в энергоемких отраслях экономики (на примере электроэнергетики) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т. 14. № 6. С. 1135-1150.

5. Ricketts B. (ed.) Coal Industry across Europe. 6th edition. EUROCOAL: European Association for Coal and Lignite, 2017. P. 18.

6. Spencer T., Berghmans N., Sartor O. Coal transitions in China's power sector: A plant-level assessment of stranded assets and retirement pathways // Coal Transitions. 2017. N 12/17. P. 21.

7. Jiang S., Yang Ch. ARIMA forecasting of China's coal consumption, price and investment by 2030 // Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy. 2013. Vol. 3. Pp. 190-195. doi: 10.1080/15567249.2017.1423413.

8. Краснянский Г.Л. Уголь России: 20 лет спустя [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2015/09/28/promyshlennost.html> (дата обращения: 15.01.2019).

9. Market Series Report: Coal 2017. OECD/IEA, 2017. P. 67.

10. Международный стандарт ISO/IEC 17799:2000 (BS 7799-1:2000) «Управление информационной безопасностью – Информационные технологии» (Information technology – Information security management).

UDC 338.97:622.33 © O.A. Stepanov, 2019

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 47-48

### Title

#### CRIMINOLOGICAL ASSESSMENT OF POTENTIAL THREATS TO THE SECURITY OF COAL INDUSTRY FACILITIES IN DIGITALIZATION ENVIRONMENT

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-47-48>

### Author

Stepanov O.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Judicial System of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, 117218, Russian Federation

### Authors' Information

Stepanov O.A., Doctor of Law Sciences, Professor, Chief Researcher of the Department of Criminal Law, Criminal Procedure Legislation, e-mail: o\_stepanov28@mail.ru

### Abstract

The paper suggests conduct of criminological assessment of potential occurrence of the sources of threats related to the functioning of coal industry facilities in digitalization environment based on the methodology set forth in international standards.

### Keywords

Sources of the threat, Vulnerability factor, Threat, Consequences of the threat, Threat source assessment method.

### References

1. Sidorenko E.L., Shaydullina V.K. & Kirakosyan S.A. Tokenizatsiya ugol'noj promyshlennosti: ehkonomicheskie i kriminologicheskie riski [Tokenization of coal industry: economic and criminological risks]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, № 12, pp. 54-59. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/122018.pdf> (accessed 15.01.2019).

2. Zakharova V.V. Perspektivy i problemy razvitiya ugol'noy promyshlennosti v Khakassii [Prospects and problems of the development of the coal industry in Khakassia]. *Nauchnyy Zhurnal – Scientific Journal*, 2017, No. 2, pp. 56-59.

3. Volokitina V.M. & Gedich T.G. Investitsionnaya sostavlyayushchaya v sovremennom polozhenii i razvitiu ugol'noy promyshlennosti Rossii [Investment

component in the current situation and development of the coal industry in Russia]. *Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika – Economic analysis: theory and practice*, 2017, Vol. 16, No. 7, pp. 1260-1268.

4. Almastyan N.A. & Ratner S.V. Sovremennyy uroven' razvitiya eko-innovatsiy v energoyemkikh otraslyakh ekonomiki (na primere elektroenergetiki) [The current level of development of eco-innovation in energy-intensive sectors of the economy (by the example of the power industry)]. *Natsional'nyye interesy: priority i bezopasnost' – National interests: priorities and safety*, 2018, Vol. 14, No. 6, pp. 1135-1150.

5. Ricketts B. (ed.) Coal Industry across Europe. 6th edition. EUROCOAL: European Association for Coal and Lignite, 2017, pp. 18.

6. Spencer T., Berghmans N. & Sartor O. Coal transitions in China's power sector: A plant-level assessment of stranded assets and retirement pathways. *Coal Transitions*, 2017, No. 12/17, pp. 21.

7. Jiang S. & Yang Ch. ARIMA forecasting of China's coal consumption, price and investment by 2030. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 2013, Vol. 3, pp. 190-195. doi: 10.1080/15567249.2017.1423413.

8. Krasnyanskiy G.L. Ugol' Rossii: 20 let spustya [Coal of Russia: 20 years after]. [Electronic resource]. Available at: <https://rg.ru/2015/09/28/promyshlennost.html> (accessed 15.01.2019).

9. Market Series Report: Coal 2017. OECD/IEA, 2017, pp. 67.

10. International Standard ISO/IEC 17799:2000 (BS 7799-1:2000) "Upravlenie informatsionnoy bezopasnostyu – Informatsionnye tekhnologii" (Information technology – Information security management).

# Защита от коррозии и загрязнений поверхностей нагрева котла-утилизатора, входящего в энергетический комплекс малой мощности на основе бинарного ОРС-цикла Ренкина

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-49-52>

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня в малой распределенной энергетике преобладающими являются дизельные электростанции (ДЭС). Главными недостатками ДЭС являются высокая стоимость дизельного топлива и ограниченный срок службы. Энергетическая стратегия на период до 2030 г. предусматривает оптимизацию энергопотребления и реализацию комплексных мероприятий по экономии топливных ресурсов [1].

Выявлено, что выхлопной газ дизель-генераторов является потенциальным энергоресурсом с температурой около 400°C, который наиболее целесообразно использовать для производства дополнительной электроэнергии в органическом цикле Ренкина [2].

Было доказано, что интеграция органического цикла Ренкина в технологическую схему судовых дизелей позволяет обеспечивать экономию дизельного топлива на 10-15% [3].

Предлагается интегрировать в тракт отвода выхлопных газов дизель-генераторной установки дополнительный энергетический комплекс на основе органического цикла Ренкина и за счет этого добиться:

- снижения расхода дизельного топлива на 10-15%;
- повышения КПД дизель-генераторной установки.

Дополнительный энергетический комплекс состоит из четырех основных узлов:

- парогенератор (котел-утилизатор выхлопных газов);
- паровая микротурбина;
- генератор;
- конденсатор.

Несмотря на многолетние исследования в данной области и большой объем рынка для коммерциализации и внедрения установок на органическом цикле Ренкина [4], остаются проблемы, требующие нового инновационного подхода к их решению. Большая часть исследований посвящена разработке конструкций и оптимизации турбины, работающей на органическом паре [5, 6, 7 и другие], но в то же время не менее важной проблемой является то, что одним из основных и наиболее подверженных износу и загрязнению элементов вспомогательного энергетического комплекса дизель-генераторных установок

## ПРЯТКИНА Вера Сергеевна

Младший научный сотрудник  
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный  
Политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова»,  
346400, г. Новочеркасск, Россия,  
тел.: +7 (904) 341-55-08,  
e-mail: vera\_pryatkina@mail.ru

Предлагается интегрировать в тракт отвода выхлопных газов дизель-генераторной установки дополнительный энергетический комплекс на основе органического цикла Ренкина. Котел-утилизатор в технологической схеме бинарного ОРС-цикла Ренкина является наиболее уязвимым элементом с точки зрения надежности. Представлены способы и рекомендации по защите котла-утилизатора от коррозии и загрязнения поверхностей нагрева в бинарном ОРС-цикле Ренкина. Загрязнение внешних и внутренних поверхностей нагрева поведет за собой снижение номинальных показателей работы котла-утилизатора, снизит надежность и эффективность работы бинарного цикла в целом. Надежность работы котла-утилизатора в значительной степени обусловлена эффективной системой очистки. Для предотвращения коррозии металла поверхностей нагрева котла-утилизатора, контактирующих с рабочим телом, предлагается использовать вместо воды некоррозионно активные рабочие тела. Наиболее эффективным способом очистки котла-утилизатора от продуктов сгорания дизельного топлива является двухступенчатая система очистки, которая включает удаление масляной пленки и воздушную обдувку.

**Ключевые слова:** уголь, дизель-генераторные установки, продукты сгорания, котлы-утилизаторы, ОРС-цикл Ренкина, энергосбережение.



на основе утилизационного бинарного ORC-цикла является парогенератор (котел-утилизатор), в котором происходит процесс теплообмена между дымовыми газами и рабочим телом.

Загрязнение внешних и внутренних поверхностей нагрева поведет за собой снижение номинальных показателей работы котла-утилизатора, снизит надежность и эффективность работы бинарного цикла в целом. Надежность работы котла-утилизатора в значительной степени обусловлена эффективной системой очистки.

Задачей является: предусмотреть защиту от коррозии и загрязнения поверхностей нагрева котла-утилизатора в бинарном ORC-цикле Ренкина, таким образом, чтобы простои по вине системы очистки были минимальными.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА В БИНАРНОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ

Основные ограничения на проектирование энергетического комплекса на основе бинарного органического цикла и его принципиальная технологическая схема приведены в работе [8].

Котел-утилизатор, входящий в состав энергетического комплекса мощностью 210 кВт на основе бинарного органического цикла Ренкина, должен обеспечивать:

- возможность использования в качестве рабочего тела пентафторпропана (R245fa);
- давление пара на входе в микротурбину должно быть не менее 1,5 МПа;
- паропроизводительность – не менее 9,8 кг/с.

Разрабатываемый котел-утилизатор – жаротрубный, так как водотрубный барабанный котел с естественной циркуляцией рабочего тела не подходит для мобильного исполнения и имеет большие габаритные размеры.

Теплота  $Q_T$  выхлопных газов от дизель-генераторной установки передается через поверхность нагрева рабочему телу и равна:

$$Q_T = B_T(I_1 - I_2),$$

где:  $B_T$  – расход выхлопных газов дизель-генераторной установки, кг/с;  $I_1, I_2$  – энтальпии выхлопных газов на входе и выходе из котла утилизатора.

При этом греющая среда (выхлопной газ) течет внутри труб, а нагреваемая среда (рабочее тело) находится снаружи труб.

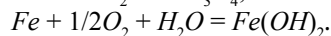
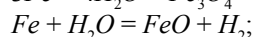
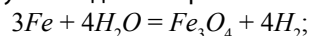
Загрязнение как внутренней, так и внешней поверхностей нагрева трубы приведет к снижению коэффициента теплопередачи:

$$k = \left( \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \right), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где:  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи соответственно от выхлопных газов к стенке трубы и от стенки к рабочему телу, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – толщина стенки трубы, толщина слоя накипи, толщина слоя зольных отложений соответственно, мм.

### КОРРОЗИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛА УТИЛИЗАТОРА В БИНАРНЫХ ЦИКЛАХ

Особенно интенсивно подвергаются электрохимической коррозии поверхности нагрева, которые контактирует с водой и паром:



Одним из наиболее распространенных видов поврежденных элементов котлов-утилизаторов является износ трубной системы, приводящий к преждевременному утончению металла и внезапному разрушению (см. рисунок).

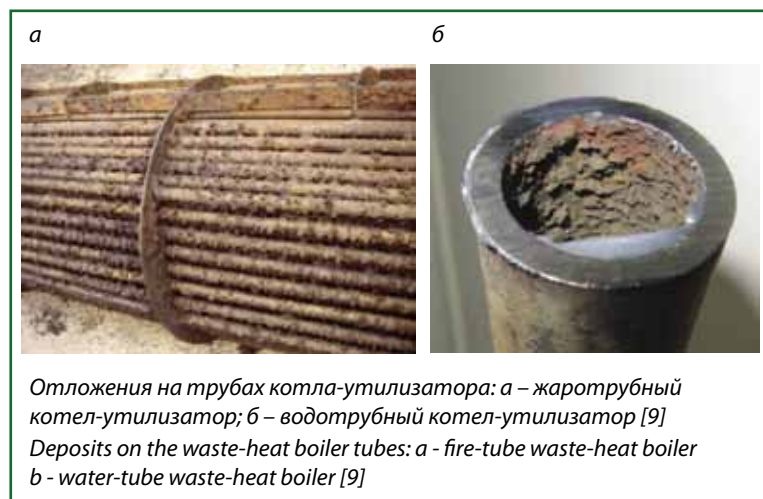
Для защиты металлических конструкций от коррозии в водных средах используются следующие приемы [10, 11]:

- применение устойчивых металлов и сплавов с повышенной термодинамической устойчивостью (обладающих положительным потенциалом), склонных к пассивированию, или покрывающихся защитными пленками вторичных, труднорастворимых продуктов коррозии. Применяют кислотостойкие металлы и сплавы, а также склонные к пассивированию в агрессивной среде;
- удаление из электролита деполяризатора-кислорода (деаэрация электролита, обескислороживание). Деаэрируют воду, используемую для охлаждения паровых котлов, турбин, систем охлаждения металлургических агрегатов, термических печей и т.д.;
- введение в электролит различных добавок, замедляющих течение коррозии. Причина торможения коррозионного процесса в этом случае – торможение анодного процесса за счет введения в электролит веществ-пассиваторов ( $K_2CrO_4, NaNO_2$  и других);

– создание на поверхности металлических материалов защитных покрытий: металлических, неметаллических.

Химическая коррозия может происходить за счет взаимодействия металла с газовой средой при отсутствии влаги, при помещении металлических материалов в атмосферу раскаленных газов или в жидкость, не являющуюся электролитом (нефть, бензин и т.д.). Продуктом коррозии являются оксиды металла.

Для предотвращения коррозии металла поверхностей нагрева котла-утилизатора, входящего в энергетический комплекс малой мощности на основе бинарного ORC-цикла Ренкина, предлагается использовать вместо воды некоррозионно активные рабочие тела.



Отложения на трубах котла-утилизатора: а – жаротрубный котел-утилизатор; б – водотрубный котел-утилизатор [9]  
Deposits on the waste-heat boiler tubes: a - fire-tube waste-heat boiler b - water-tube waste-heat boiler [9]

**Состав продуктов сгорания дизельного топлива**

Компоненты выхлопного газа	Содержание
Азот, %	74-78
Кислород, %	1-18
Пары воды, %	0,4-4
Диоксид углерода, %	1-10
Оксид углерода, %	0,01-5
Углеводороды, %	0,009-0,5
Сажа, г/м <sup>3</sup>	0,01-1,1

При использовании в качестве рабочих тел в бинарном ОРС-цикле Ренкина R1 1, R1 13, R1 23, R1 34a, R22, R32 металл не будет подвергаться коррозии, так как данные вещества при соприкосновении практически со всеми металлами не вступают в реакцию.

**ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛА УТИЛИЗАТОРА В БИНАРНОМ ОРС-ЦИКЛЕ РЕНКИНА**

В продуктах сгорания дизельного топлива присутствуют сажа и жидкие углеводороды, которые в котле-утилизаторе могут налипать на поверхность теплообмена и создавать пленку.

Состав продуктов сгорания дизельного топлива приведен в *таблице*.

К известным промышленным способам очистки поверхностей нагрева от загрязнений продуктами сгорания относятся [2]:

- дробеочистка. Принцип очистки заключается в использовании кинетической энергии дробы, движущейся под действием силы тяжести и многократно отражающейся от поверхностей нагрева;

- виброочистка. Принцип очистки заключается в отрыве отложений от поверхности нагрева вследствие сил инерции, приложенных к отложениям и возникающих в результате ускоренного движения труб;

- обдувка. Одним из наиболее распространенных средств очистки поверхностей нагрева от шлакозольных отложений является обдувка, которая может быть применена для очистки практически всех поверхностей нагрева современных котлов. В качестве обдувочного агента широко используется пар или сжатый воздух, иногда применяется холодная или перегретая вода. Процесс очистки с помощью обдувочной струи характеризуется рядом факторов: динамическим, термическим и абразивным. Эффективность очистки обдувкой зависит от скорости струи и параметров обдувочного агента, слоя отложений, расстояния от сопла до поверхности нагрева и угла подачи струи к поверхности труб;

- водяная обмывка. Принцип очистки заключается в использовании воды, которая подается под давлением;

- газоимпульсная очистка. Принцип очистки действует по принципу периодического выброса продуктов сгорания. Энергия выброса (выхлопа) обеспечивает удаление отложений с поверхностей нагрева или из газоходов. Импульсная очистка является универсальной, так как ее можно использовать для очистки радиационных, конвективных поверхностей нагрева и газоходов, как горизонтальных, так и вертикальных. Для газоимпульсной очистки применяются газообразные виды топлив (природный, коксовый, сжиженный водород и другие газы).

В связи с тем, что, в продуктах сгорания дизельного топлива присутствуют сажа и жидкие углеводороды, не все из вышеперечисленных способов подойдут для очистки. Наиболее эффективным способом очистки котла-утилизатора, входящего в энергетический комплекс малой мощности на основе бинарного ОРС-цикла Ренкина, является двухступенчатая система очистки:

- 1-я ступень – для удаления масляной пленки целесообразно применить водяную обмывку с использованием пожаробезопасных технических моющих средств (ТМС) на основе поверхностно активных веществ;

- 2-я ступень – для удаления влаги и остатков загрязнений целесообразно применить обдувку сжатым воздухом.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Котел-утилизатор в технологической схеме бинарного ОРС-цикла Ренкина является наиболее уязвимым элементом с точки зрения надежности. Необходимо предусмотреть доступ к поверхностям теплообмена для обеспечения:

- водяной обмывки и воздушной обдувки поверхностей нагрева;

- ремонтпригодности котла-утилизатора.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00620\18.

**Список литературы**

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL: <http://legalacts.ru/doc/rasporjzhenie-pravitelstva-rf-ot-13112009-n-1715-r/> (дата обращения: 15.01.2019).

2. Waste heat recovery technologies and applications / Hussam Jouhara, Navid Khordehgah, Sulaiman Almahmoud, Bertrand Delpech, Amisha Chauhan, Savvas A. Tassou // Thermal Science and Engineering Progress. 2018. N 6. Pp. 268–289. doi: 10.1016/j.tsep.2018.04.017.

3. A review of the use of organic Rankine cycle power systems for maritime applications / M.E. Mondejara, J.G. Andreasena, L. Pierobona, U. Larsenc, M. Thernb, F. Haglinda // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. N 91. Pp. 126–151. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.074.

4. Small Scale Organic Rankine Cycle (ORC): A Techno-Economic Review / Lorenzo Tocci, Tamas Pal, Ioannis Pasmazoglo, Benjamin Franchetti // Energies. 2017. N 10. 413. doi: 10.3390/en10040413.

5. Modelling and optimization of organic Rankine cycle based on a small-scale radial inflow turbine / K. Rahbar, S. Mahmoud, R.K. Al-Dadah, N. Moazami // Energy Convers. Manag. 2015. N 91. Pp. 186–198.

6. Design and CFD analysis of a Ljungstrom turbine for an ORC cycle in a waste heat recovery application / C.F. Palumbo, V.F. Barnabei, E. Preziuso, U. Coronetta / In Proceedings of the 29th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. Portorož, Slovenia, 19–23 June 2016.

7. Three dimensional optimization of small-scale axial turbine for low temperature heat source driven organic Rankine cycle / A. Al-Jubori, R.K. Al-Dadah, S. Mahmoud, A.B. Ennil, K. Rahbar // Energy Convers. Manag. 2017. N 133. Pp. 411–426.

8. Пряткина В.С. Интеграция бинарного ОРС-цикла Ренкина мощностью 210 кВт в технологическую схему современных тепловозов // Известия вузов. Технические науки. 2018. № 4. С. 50-54.

9. Проблемы эксплуатации котлов-утилизаторов парогазовых установок / Международная научно-техническая конференция, 26–27 апреля 2018 г. М.: ОАО «ВТИ», 2018. 180 с.

10. Куценко С.А., Цымай Д.В. Химия рабочих тел: учебно-методическое пособие для вузов. Орел: ОрелГТУ, 2010. 114 с.

11. Улюкина Е.А. Методы борьбы с коррозией теплоэнергетического оборудования котельных и тепловых сетей в АПК // Вестник ФГОУ ВО МГАУ. 2018. № 5 (87). С. 45-49.

12. Курынцев А.А. Образование токсичных веществ и продуктов неполного сгорания / Сборник докладов АГТУ им. И.И. Ползунова. 2016. С. 20-21.

13. Щелоков Я.М., Аввакумов А.М., Сазыкин Ю.К. Очистка поверхностей нагрева котлов-утилизаторов: производственно-практическое издание. М.: Энергоатомиздат, 1984. 159 с.

## RESOURCES

UDC 697.326:621.311 © V.S. Pryatkina, 2019

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 49-52

## Title

**PROTECTION AGAINST CORROSION AND CONTAMINATION OF HEATING SURFACES OF THE WASTE-HEAT BOILER INCLUDED IN THE LOW-POWER ENERGY COMPLEX BASED ON THE BINARY ORC (ORGANIC RANKINE CYCLE)**

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-49-52>

## Author

Pryatkina V.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 346400, Novocherkassk, Russian Federation

## Authors' Information

**Pryatkina V.S.**, Junior Researcher, tel.: +7 (904) 341-55-08,

e-mail: vera\_pryatkina@mail.ru

## Abstract

It is proposed to integrate an additional energy complex based on the organic Rankine cycle into the exhaust gas duct of a diesel generator unit. The waste-heat boiler is the most vulnerable element in the binary ORC process flow in terms of reliability. The paper presents methods and recommendations for protecting the waste-heat boiler against corrosion and contamination of heating surfaces in the binary organic Rankine cycle. Contamination of the external and internal heating surfaces leads to lower nominal performance of the waste-heat boiler, reduces reliability and efficiency of the binary cycle in general. The waste-heat boiler reliability largely depends on cleaning system efficiency. To prevent metal corrosion of the waste-heat boiler heating surfaces contacting with the working medium, it is proposed to use non-corrosive working media instead of water. The most effective way to clean the waste-heat boiler from the diesel fuel combustion products is a two-stage cleaning system, which includes removal of oil film and air blasting. *Figures:*

*Fig. Deposits on the waste-heat boiler tubes: a - fire-tube waste-heat boiler; b - water-tube waste-heat boiler [9]*

## Keywords

Coal, Diesel generator units, Combustion products, Waste-heat boilers, Organic Rankine Cycle, Energy efficiency.

## References

1. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda* [Russia's energy strategy for the period up to 2030. Approved by the Order of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009 No. 1715-r.] Available at: <http://legalacts.ru/doc/rasporjzhenie-pravitelstva-rf-ot-13112009-n-1715-r/> (accessed 15.01.2019).
2. Hussam Jouhara, Navid Khordehgah, Sulaiman Almahmoud, Bertrand Delpéch, Amisha Chauhan, Savvas A. Tassou Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2018, No. 6, pp. 268–289. doi: 10.1016/j.tsep.2018.04.017
3. Mondejara M.E., Andreasena J.G., Pierobona L., Larsenc U., Thernb M., Haglinda F. A review of the use of organic Rankine cycle power systems for maritime applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, No. 91, pp. 126–151. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.074 .

4. Lorenzo Tocci, Tamas Pal, Ioannis Pasmazoglo, Benjamin Franchetti Small Scale Organic Rankine Cycle (ORC). *A Techno-Economic Review. Energies*, 2017, No. 10, 413 p. doi: 10.3390/en10040413.

5. Rahbar K., Mahmoud S., Al-Dadah R.K., Moazami N. Modelling and optimization of organic Rankine cycle based on a small-scale radial inflow turbine. *Energy Convers. Manag.*, 2015, No. 91, pp. 186–198.

6. Palumbo C.F., Barnabei V.F., Preziuso E., Coronetta U. Design and CFD analysis of a Lungstrom turbine for an ORC cycle in a waste heat recovery application. In Proceedings of the the 29th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. Portorož, Slovenia, 19–23 June 2016.

7. Al-Jubori A., Al-Dadah R.K., Mahmoud S., Ennil A.B., Rahbar K. Three dimensional optimization of small-scale axial turbine for low temperature heat source driven organic Rankine cycle. *Energy Convers. Manag.*, 2017, No. 133, pp. 411–426.

8. Pryatkina V.S. Integratsiya binarnogo ORC-tsikla Renkina moshchnostyu 210 kVt v tekhnologicheskuyu skhemu sovremennykh teplovozov [Integration of a 210-kW binary Organic Rankine Cycle into the process flow of modern diesel locomotives]. *Izvestiya vuzov. Tekhnicheskie nauki - University news. Technical sciences*, 2018, No. 4, pp. 50-54.

9. *Problemy ekspluatatsii kotlov-utilizatorov parogazovyykh ustanovok* [Problems of waste-heat boilers operation in steam and gas units]. International Scientific and Technical Conference, April 26–27, 2018. Moscow, "VTI" JSC, 2018, 180 p.

10. Kutsenko S.A. & Tsymay D.V. *Himiya rabochih tel: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vuzov* [Chemistry of working media: teaching aid for universities]. Orel, OrelSTU Publ., 2010, 114 p.

11. Ulyukina E.A. Metody borby s korrozией teploenergeticheskogo oborudovaniya kotelnykh i teplovykh setey v APK [Methods of corrosion control for heat and power equipment of boiler houses and heat networks in the agricultural sector]. *Vestnik FGOU VO MGAU – Bulletin of Moscow State Agricultural Engineering University*, 2018, No. 5(87), pp. 45-49.

12. Kuryntsev A.A. *Obrazovanie toksichnykh veshchestv i produktov nepolnogo sgoraniya* [Formation of toxic substances and products of incomplete combustion]. Polzunov Altai State Technical University book of reports, 2016, pp. 20-21.

13. Shchelokov Ya.M., Avvakumov A.M. & Sazykin Yu.K. *Ochistka poverhnostey nagreva kotlov-utilizatorov proizvodstvenno-prakticheskoe izdanie* [Cleaning of heating surfaces of waste-heat boilers: production and practical edition]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984, 159 p.



# Опыты Резерфорда и механика Данилова, определяющие поглощение энергии взрыва\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-53-56>

В статье рассматриваются вопросы и говорится об опытах Резерфорда и Данилова о рассеянии (изменение направления движения)  $\alpha$ -частиц и рассеянии макрочастиц свинца огнестрельного оружия в области вакуумированного пространства, о новых подходах к решению задач в термодинамике, об увеличении коэффициента полезного действия взрыва скважинного заряда, о поглощении и перенаправлении взрыва скважинного заряда, о гидроразрыве скважинным зарядом с гидровакуумным конденсатором, о вакуумной завесе для поглощения взрыва метана, снижения выброса горной массы из скважины.

**Ключевые слова:** поглощение взрыва метана, зондирование атома,  $\alpha$ -частицы, рассеяние, скважина, инициализация.

## ВВЕДЕНИЕ

Новая теория необходима, когда, во-первых, мы сталкиваемся с новыми явлениями, которые старые теории объяснить не могут. Но эта причина, скажем так, навязана извне. Есть и другая причина, не менее важная. Заключается она в стремлении к простоте и унификации предпосылок теории в ее собственных рамках [1].

## ОПЫТ ЭРНЕСТА РЕЗЕРФОРДА

Масса электронов в несколько тысяч раз меньше массы атомов. Так как атом в целом нейтрален, то, следовательно, основная масса атома приходится на его положительно заряженную часть. Для экспериментального исследования распределения положительного заряда, а значит, и массы внутри атома **Эрнест Резерфорд** предложил в 1906 г. применить зондирование атома с помощью  $\alpha$ -частиц. (рис. 1).

Эти частицы возникают при распаде радия и некоторых других элементов. Их масса примерно в 8000 раз больше массы электрона, а положительный заряд равен по модулю удвоенному заряду электрона. Это не что иное, как полностью ионизированные атомы гелия. Скорость  $\alpha$ -частиц очень велика и составляет 1/15 скорости света.

**Скорость света в вакууме** – абсолютная величина скорости распространения электромагнитных волн в вакууме (обозначается латинской буквой «с»). Скорость света в вакууме – фундаментальная постоянная, **не зависящая от выбора инерциальной системы отсчета**. По определению она составляет  $c = 299\,792\,458$  м/с (около 300 тыс. км/с). Согласно специальной теории относительности, является максимальной скоростью для распространения любых физических взаимодействий, передающих энергию и информацию.



**ДАНИЛОВ Александр Петрович**  
Инженер-механик, горный инженер, И.о. профессора Иркутского НИТУ, советник генерального директора ООО «Компания «Восточный уголь», 121059, г. Москва, Россия, e-mail: volinad@mail.ru

Э. Резерфорд  $\alpha$ -частицами бомбардировал атомы тяжелых элементов. Электроны вследствие своей малой массы не могут заметно изменить траекторию  $\alpha$ -частицы. Рассеяние (изменение направления движения)  $\alpha$ -частиц может вызвать только положительно заряженная часть атома. Таким образом, по рассеянию  $\alpha$ -частиц можно определить характер распределения положительного заряда и массы внутри атома.

Модифицируя экспериментальную установку, Э. Резерфорд попытался обнаружить отклонение  $\alpha$ -частиц на большие углы. Для этого он окружил фольгу сцинтилляционными экранами и определил число вспышек на каждом экране. Совершенно неожиданно оказалось, что небольшое число  $\alpha$ -частиц (примерно одна из двух тысяч) отклонилось на углы, больше чем  $90^\circ$ . Позднее Э. Резерфорд признался, что, предложив своим ученикам провести эксперимент по наблюдению за рассеянием  $\alpha$ -частиц на большие углы, он сам не верил в положительный ре-

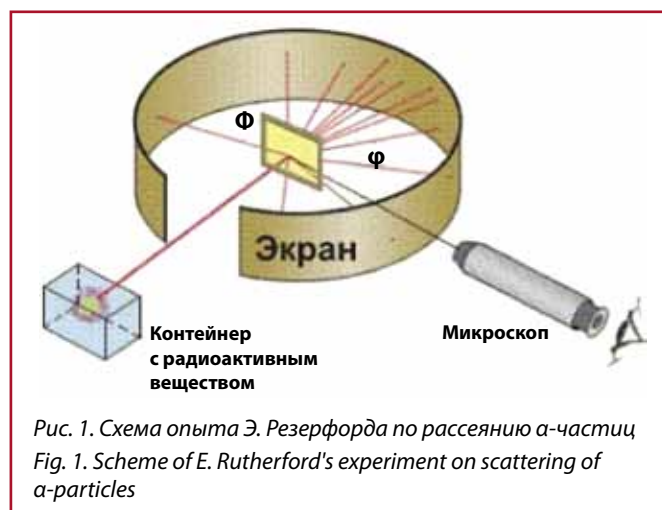


Рис. 1. Схема опыта Э. Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц  
Fig. 1. Scheme of E. Rutherford's experiment on scattering of  $\alpha$ -particles

\* В порядке обсуждения – Ред.

зультат. «Это почти столь же невероятно, – говорил Э. Резерфорд, – как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в кусок тонкой бумаги, а снаряд возвратился бы к вам и нанес вам удар».

**ОПЫТЫ МЕХАНИКА АЛЕКСАНДРА ДАНИЛОВА**

Предложенная Э. Резерфордом модель атома сыграла решающую роль в развитии квантовой механики, так как описание движения электронов в атоме в рамках классической физики приводило к известному противоречию. Электроны, двигаясь вокруг ядра с ускорением, должны излучать электромагнитные волны и, как следствие, терять энергию. В течение промежутка времени электроны в планетарной модели атома должны упасть на ядро. То, что этого не происходит подтверждает, что внутренние процессы в атоме не подчиняются классическим законам (рис. 2).

Всякая энергия поглощена в материи. Сила энергии зависит от состояния материи. Вакуум, созданный материей, есть источник поглощения энергии [2]. При дисгравитационной обстановке галактики, имеющие разную степень разряжения, поглощают друг друга, создавая Черные дыры.

Был проведен ряд опытов в полевых условиях, доказывающих, что пуля, выпущенная из боевого оружия в вакуу-

мированный сосуд, пройдя через него, возвращается на 180°, не повредив папиросную бумагу, прикрепленную к деревянному отражающему экрану (рис. 3).

Так как материал пули имеет свинцовую оболочку, то атомы свинца, прошедшие с высокой скоростью, в оболочке теряют электроны, переводя атомарную оболочку в другой атомный состав, свидетельством стала пожелтевшая металлизированная оболочка после возвращения пули.

При изменении условий стрельбы, т.е. при стрельбе с более короткого расстояния по сосуду с высокой степенью разряжения свинцовая пуля, пройдя всасываемый вакуумом сосуд, отскочила и рассыпалась на микрочасти (рис. 4) [3].

В результате этого требуется проведение вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС).

В Теории относительности:  $E = mc^2$  [1].

В Теории поглощения энергии:  $\epsilon = mv^2$  [3], где  $v = c\Delta$ ;  $\Delta$  – коэффициент разряжения от 0 до 1.

При  $\Delta = 1, E = \epsilon$  [4].

**НОВЫЕ СПОСОБЫ ВЕДЕНИЯ БВР С ИНИЦИАЛИЗАЦИЕЙ ВАКУМИРОВАННОЙ ЕМКОСТЬЮ**

На рис. 5 представлены различные схемы зарядки взрывных скважин промышленного ВВ [5] и последствия от вакуумной инициализации.

Согласно схеме А, при инициализации ВВ (см. рис. 5, поз. 1) происходит

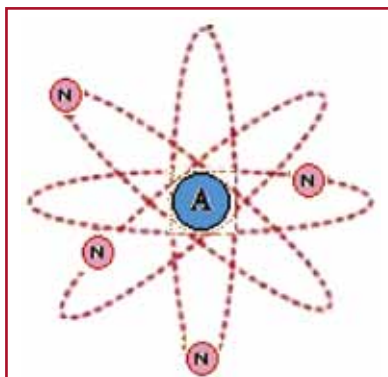


Рис. 2. Модель атома Э. Резерфорда  
Fig. 2. Model of atom E. Rutherford

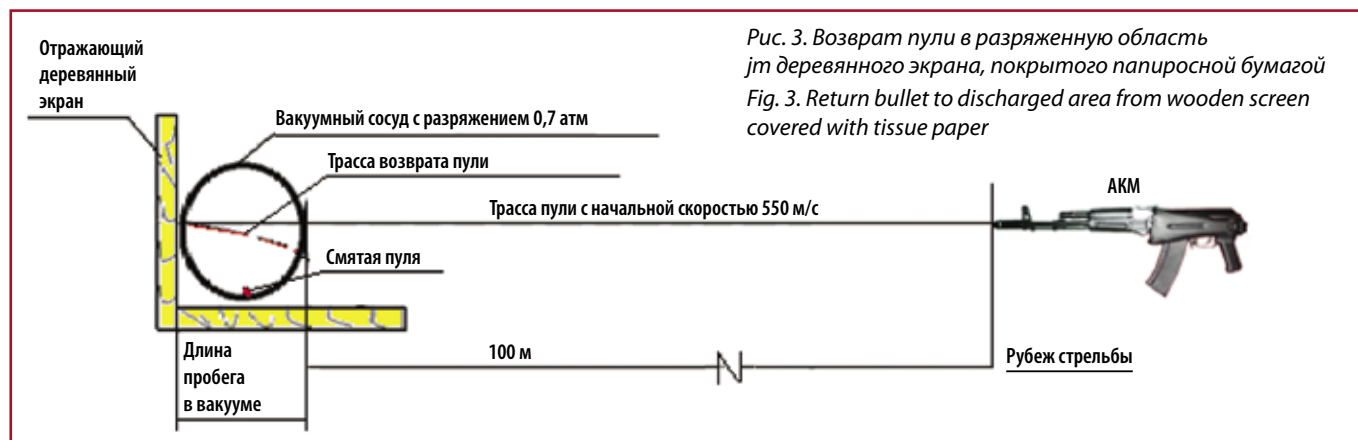


Рис. 3. Возврат пули в разряженную область от деревянного экрана, покрытого папиросной бумагой  
Fig. 3. Return bullet to discharged area from wooden screen covered with tissue paper

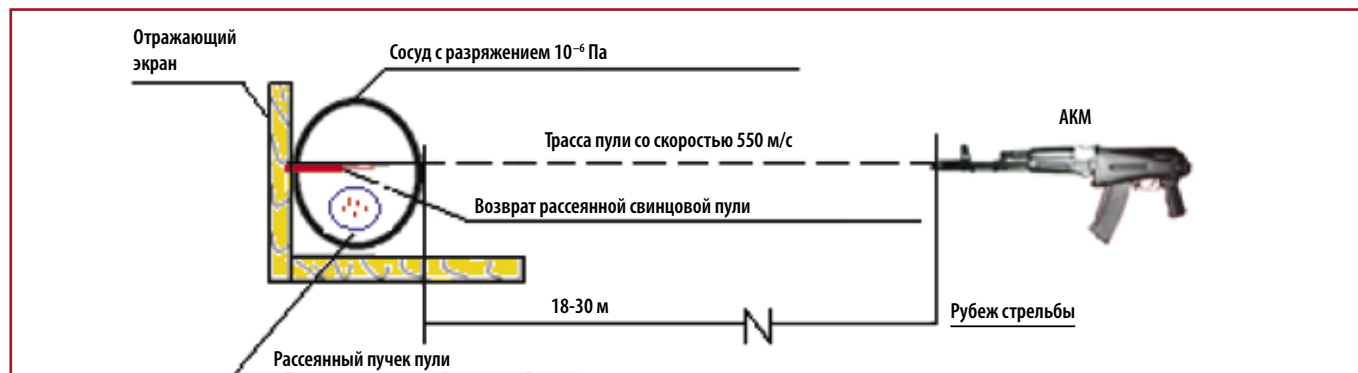


Рис. 4. Прохождение пули через разгерметизированный сосуд с известным разряжением  $10^{-6}$  Па и возврат ее с рассеиванием на микрочасти, атомарный состав которых меняет физические свойства  
Fig. 4. Passage of a bullet through a depressurized vessel with a known discharge of  $10^{-6}$  PA and its return with dispersion into microparticles, atomic composition of which changes physical properties

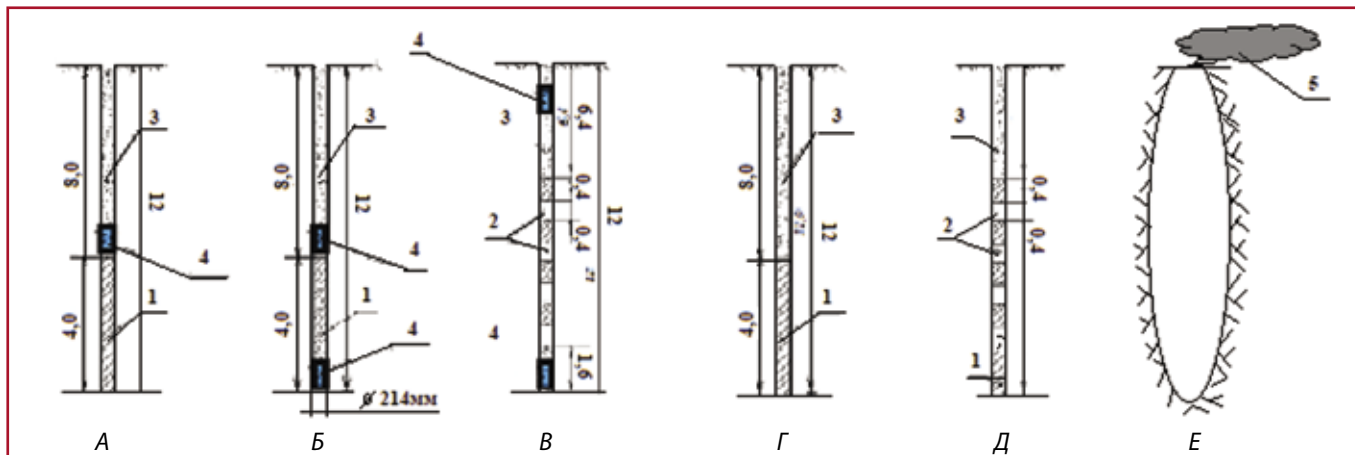


Рис. 5. Схемы зарядки взрывных скважин промышленными ВВ и последствия от вакуумной инициализации: А – вакуумная инициализация под забойкой; Б – инициализация сплошного ВВ у подошвы скважины и под забойкой; В – забойка вакуумными сосудами рассредоточенного ВВ; Г, Д – применяемые забойки сплошного и рассредоточенного ВВ; Е – форма скважины и выброс при вакуумной инициализации сверху и снизу; 1 – промышленное ВВ; 2 – рассредоточение ВВ; 3 – забойка; 4 – вакуумированный сосуд; 5 – выброс при вакуумированной инициализации

Fig. 5. Scheme of charging blastholes explosives and the consequences of vacuum initialize: А – vacuum under the tamping initialization; Б – initialization of solid explosives at the foot wells and under the tamping; В – tamping vacuum vessel VV dispersed; Г, Д – used tamping of the continuous and dispersed explosives; Е – well and ejection in vacuum is initialized at the top and bottom; 1 – explosives; 2 – dispersal of explosives; 3 – stopper; 4 – vacuumed vessel; 5 – a vacuum release at initialization

разрушение вакуумированного сосуда 4, вакуумная волна отражает ударную волну промышленного ВВ, тем самым общий взрыв начинает распространяться по «телу» забоя в равновеликие стороны, в том числе и прорабатывается нижняя часть скважины, не требующая перебура. При этом минимизируется выброс из устья скважины, что немаловажно для сохранения окружающей среды [3].

На схемах Б и В (см. рис. 5) показаны места установки вакуумированных сосудов 4 для управления методами взрывания по ведению БВР согласно тем или иным горно-геологическим условиям [6].

На рис. 6 представлена динамика взрывов с вакуумной и штатной инициализацией взрывных скважин во время проведения постановочного опыта в забое разреза «Черемховский» (ООО «Компания «Востсибуголь»).

Проведенный постановочный опыт без увеличения заряда промышленного ВВ одновременно с делением забоя взрыва пополам доказывает увеличение КПД взрыва более чем на 15%, снижение распространения облака пыли и возможность погашения ударной волны вакуумированной завесой, в том числе при взрыве метано-воздушной среды в забое шахты [7].

Заслуживает внимания метод взрывания с использованием вакуумного гидроконденсатора (стеклянный сосуд, заполненный на 2/3 объема и подвергнутый вакуумизации). При взрыве такой конструкции скважины (рис. 7) происходит гидроразрыв по клеважу угольного пласта, увеличивающий метаноотдачу [8]. Этот метод актуален при добыче попутного газа при разработке метаноносных пластов в шахте и безопасности ведения горных работ подземным способом.

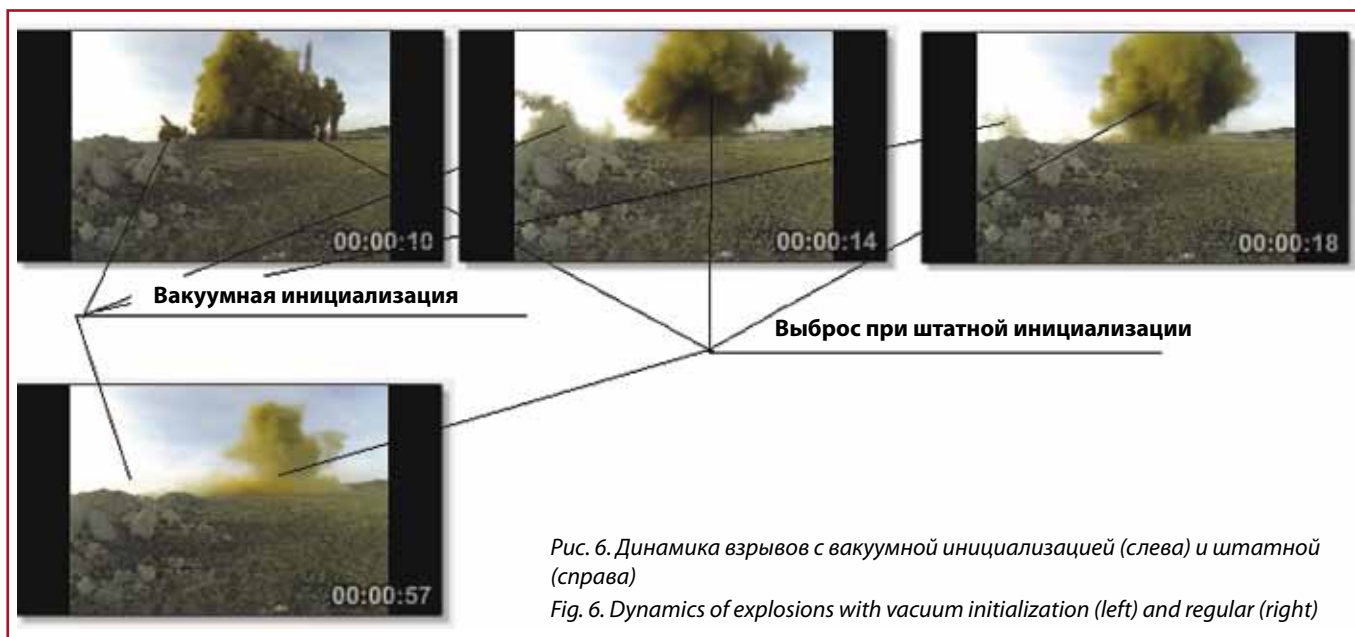


Рис. 6. Динамика взрывов с вакуумной инициализацией (слева) и штатной (справа)

Fig. 6. Dynamics of explosions with vacuum initialization (left) and regular (right)



## Выводы

Резонансный механизм извлечения энергии из вакуума является наиболее эффективным из всех существующих. Любое колебание характеризуется очень высокой степенью неравномерности. В этом случае постоянно меняется как численное значение скорости движения колеблющегося тела, так и направление вектора скорости. А чем больше неравномерность, тем выше результат.

Вакуум – это воспользуемый источник энергии, соизмеримый с термоядерным синтезом, в зависимости от коэффициента разряжения.

## Список литературы:

1. Эйнштейн А. Теория относительности // *Annalen der Physik*, 1905.
2. Деулин Е.А. Физика вакуумной механики. Горячая линия ТЕЛЕКОМ, 2018. 286 с.
3. Данилов А.П. Некоторые аспекты взрыва, относительно теории поглощения энергии // *Уголь*. 2014. № 4. С. 32. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042014.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
4. Данилов А.П. Энергия вакуума, относительно теории поглощения энергии // *Уголь*. 2016. № 2. С. 93-95. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/022016.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

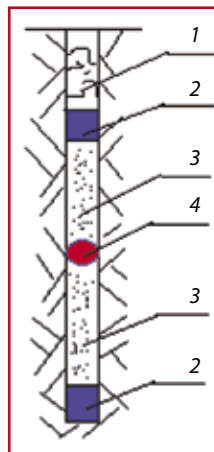


Рис. 7. Схема зарядки скважины промышленными ВВ с вакуумной инициализацией и вакуумным гидроконденсатором: 1 – грунтовая забойка; 2 – вакуумированный сосуд; 3 – заряд ВВ; 4 – вакуумный гидроконденсатор

Fig. 7. Charging pattern of industrial explosives borehole with vacuum initialize and vacuum hydrocondensation: 1 – soil tamping; 2 – vacuumed vessel; 3 – explosive charge; 4 – vacuum hydrocondensation

5. Методы ведения взрывных работ / М.И. Ганопольский, В.Л. Барон, В.В. Пупков, В.И. Сивенков. Специальные взрывные работы: учебное пособие / под ред. проф. В.А. Белина. М.: МГГУ, 2007.
6. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: Наука, 1993.
7. Зельдович Я.Б. Теория ударных волн и введение в газодинамику. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 187 с.
8. Семенов Н.Н. Тепловая теория горения и взрыва, Ленинград, 1936

## RESOURCES

UDC 533.5:614.839.54:620.9:661.9:622.235 © A.P. Danilov, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 53-56

## Title

THE EXPERIMENTS OF RUTHERFORD AND MECHANIC DANILOV DETERMINING ABSORPTION OF ENERGY OF EXPLOSION

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-53-56>

## Author

Danilov A.P.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budget Education Institution of Higher Education "Irkutsk National Research Technical University", Irkutsk, 664074, Russian Federation  
<sup>2</sup> "Company "East Coal" LLC, Moscow, 121059, Russian Federation

## Authors' Information

**Danilov A.P.**, Mining Engineer, Mechanical Engineer, Acting Professor, Advisor to General Director, e-mail: volinad@mail.ru

## Abstract

The paper deals with the experiments of Rutherford and Danilov on scattering (change of direction) of  $\alpha$ -particles and scattering of macroparticles of lead of firearms in the field of vacuum space, on new approaches in solving problems in thermodynamics, on increasing the efficiency of the explosion of the borehole charge, on the absorption and redirection of the explosion of the borehole charge, on the hydraulic fracturing of the borehole charge, on the vacuum curtain for the absorption of methane explosion, reduction of rock mass from the well.

## Figures:

Fig. 1. Scheme of E. Rutherford's experiment on scattering of  $\alpha$ -particles

Fig. 2. Model of atom E. Rutherford

Fig. 3. Return bullet to discharged area from wooden screen covered with tissue paper

Fig. 4. Passage of a bullet through a depressurized vessel with a known discharge of 10-6 PA and its return with dispersion into microparticles, atomic composition of which changes physical properties

Fig. 5. Scheme of charging blastholes explosives and the consequences of vacuum initialization:

A - vacuum under the tamping initialization; - initialization of solid explosives at the foot wells and under the tamping - tamping vacuum vessel VV dispersed; D, e - used tamping of the continuous and dispersed explosives; E - well and ejection in vacuum is initialized at the top and bottom; 1 - explosives; 2 - dispersal of explosives; 3 - stopper; 4 - vacuumed vessel; 5 - a vacuum release at initialization  
Fig. 6. Dynamics of explosions with vacuum initialization (left) and regular (right)

Fig. 7. Charging pattern of industrial explosives borehole with vacuum initialize and vacuum hydrocondensation: 1 - soil tamping; 2 - vacuumed vessel; 3 - explosive charge; 4 - vacuum hydrocondensation

## Keywords

Absorption explosion of methane, Sensing of the atom,  $\alpha$ -Particles, Scattering of, Well, Initialization.

## References

1. Einstein A. Theory of relativity. *Annalen der Physik*, 1905.
2. Deulin E.A. *Fizika vakuumnoj mekhaniki* [Mechanics of Physics of the vacuum]. Hot-line TELECOM, 2018, 286 p.
3. Danilov A.P. Nekotorye aspekty vzryva, otnositelno teorii pogloscheniya energii [Some aspects of explosion, concerning energy absorption theory]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2014, No. 4, pp. 32. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042014.pdf> (accessed 15.01.2019).
4. Danilov A.P. Ehnergija vakuuma, otnositel'no teorii pogloscheniya ehnergii [Energy of vacuum, in reference to the theory of energy absorption]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2016, № 2, pp. 93-95. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/022016.pdf> (accessed 15.01.2019).
5. Ganopolskiy M.I., Baron V.L., Pupkov V.V. & Sivenkov V.I. *Metody vedeniya vzryvnykh работ. Spetsialnie vzryvnye raboty. Uchebnoe posobie* [Methods of blasting operations. Special blasting operations. Teaching aid]. Edited by professor Belin V.A. Moscow, MGGU Publ., 2007.
6. Adushkin V.V. & Spivak A.A. *Geomekhanika krupnomashtabnykh vzryvov* [Geomechanics of large-scale explosions]. Moscow, Science Publ., 1993.
7. Zeldovich Ya.B. *Teoriya udarnykh voln i vvedenie v gazodinamiku* [Theory of shock waves and introduction to gas dynamics]. Moscow-Leningrad, Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1946, 187 p.
8. Semenov N.N. *Teplovaya teoriya goreniya i vzryva* [Thermal theory of combustion and explosion]. Leningrad, 1936.



# КАЗАХСТАН 2019

## 10-й горно-геологический форум МАЙНЕКС Казахстан 2019

2-4 апреля 2019 – Астана, Казахстан

Форум проводится в Казахстане с 2010-го года и является одним из наиболее представительных и авторитетных отраслевых мероприятий, организуемых в среднеазиатском регионе. Форум представляет ежегодную платформу для презентации ключевых изменений и важнейших проектов, реализуемых в горнодобывающей и геологических отраслях промышленности Казахстана и стран Центральной Азии.

### Мастер-классы

Мастер-классы предлагают возможности для проведения учебно-практических презентаций по передовым методам и технологиям, применяемым в горнодобывающей отрасли

### Выставка

В период с 3 по 4 апреля 2019 года в рамках форума состоится отраслевая выставка инновационных решений и инвестиционных проектов в горнорудной индустрии

### Конференция

Двухдневная конференция, затрагивающая ключевые тенденции в области госрегулирования недропользованием, модернизации производства, развития геолого-поисковых исследований и привлечения финансирования в проекты

### Конкурсы

В рамках форума состоятся 4-й конкурс-акселератор горных проектов МайнВенчур и 3-й конкурс инновационных решений и технологий МайнТек



### МОСКВА

ООО «Горнопромышленный форум МАЙНЕКС»  
Россия, 115419, г.Москва,  
ул. Шаболовка, д.34,  
строение 5, помещение II, комната 3

+7 495 128 3577  
ru@minexforum.com

### АСТАНА

ТОО «Горный Форум»  
Республика Казахстан, 01000, г. Астана,  
район Байконур, ул.Акжол, д.24/2,  
2 этаж, кабинет №4

+7 7172 696 836  
kz@minexforum.com

### ЛОНДОН

Advantix Ltd  
35A Green Lane, Northwood  
Middlesex, HA6 2PX,  
United Kingdom

+44 1923 822 861  
uk@minexforum.com

# Тяжелосредние сепараторы AURY

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2015-10-58-59>

**ГРЕКУ Владимир Сергеевич**

Директор по развитию  
ООО «Открытые технологии»,  
308024, г. Белгород, Россия,  
тел.: +7 (4722) 23-28-39,  
e-mail: [info@auryrus.ru](mailto:info@auryrus.ru)

В статье рассказывается о тяжелосредних сепараторах, выпускаемых компанией AURY. Отличительной чертой этих сепараторов является простая и надежная конструкция, удобство обслуживания и эксплуатации.

**Ключевые слова:** обогатительное оборудование, тяжелосредняя сепарация, тяжелосредние сепараторы, AURY.



Рис. 1. Общий вид тяжелосреднего сепаратора AURY

Тяжелосредние сепараторы имеет смысл применять для обогащения углей очень трудной, трудной и средней обогатимости, антрацитов всех категорий обогатимости при содержании класса +13 мм в горной массе более 20%, а также для углей легкой обогатимости при содержании породных фракций более 30% [1].

Тяжелосредние сепараторы делятся на две группы – статические (гравитационные) и динамические (центробежные). К последним относятся тяжелосредние гидроциклоны. К статическим сепараторам относятся конусные, колесные, барабанные, корытные и другие [1].

Все тяжелосредние сепараторы объединяет одно – использование среды-утяжелителя (чаще всего, на основе магнетита), позволяющей производить разделение составляющих материала по плотностям [1, 2].

Тяжелосредние сепараторы, выпускаемые компанией AURY, относятся к сепараторам корытного типа (рис. 1). Зона загрузки материала расположена вдоль одного из бортов, зона разгрузки концентрата – вдоль противоположного борта, зона разгрузки породы – в передней части сепаратора (рис. 2).

Подача суспензии в ванну сепаратора осуществляется двумя путями – подающим коллектором и коллектором восходящих потоков.

Подающий коллектор расположен в зоне загрузки материала. Материал вместе с этим потоком движется вглубь ванны благодаря заглубляющей стенке, расположенной на пути потока вблизи зоны загрузки. Так повышается эффективность разделения материала на концентрат и породу. Порода тонет и удаляется из ванны скребковым конвейером, а концентрат всплывает и выносится потоком суспензии через борт сепаратора.

Коллектор восходящих потоков расположен в нижней части ванны. Поток суспензии из этого коллектора благодаря перфорации в футеровке днища разбивается на множество мелких восходящих потоков (рис. 3). Регулировка интенсивности потоков позволяет смещать границу разделения концентрата и породы в нужную сторону в зависимости от свойств поступающего материала и требований технологии. Кроме того, восходящие потоки повышают устойчивость суспензии.



Рис. 2. Разгрузочное жерло сепаратора, расположенное в его передней части

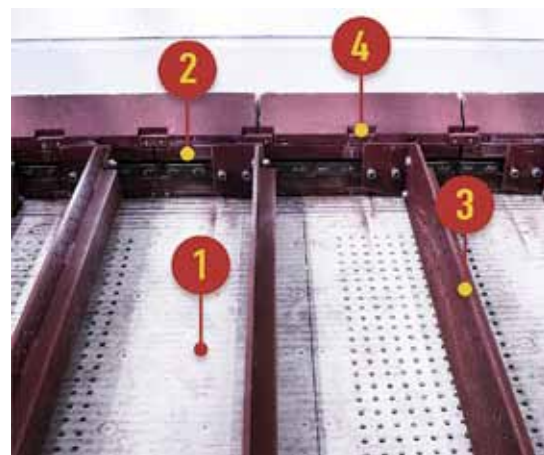


Рис. 3. Днище сепаратора и скребковый конвейер: 1 – футеровка днища; 2 – направляющие цепи; 3 – скребки; 4 – крепление направляющих



Простота и надежность сепараторов AURY, удобство их обслуживания и эксплуатации определяются следующими техническими особенностями:

Привод с большим запасом прочности: усиленная цепь, увеличенные диаметры валов и подшипники, рассчитанные на повышенные нагрузки. Есть возможность оснащения сепаратора резервным приводом.

Трубы подающего коллектора и сам коллектор защищены керамическим покрытием.

Днище сепаратора футеровано перфорированными пластинами с износостойкой наплавкой, расчетный срок службы которых составляет 5 лет (см. рис. 3, поз. 1).

Направляющие скребкового конвейера состоят из двух частей (см. рис. 3, поз. 2). Это удешевляет их замену.

Крепление направляющих (см. рис. 3, поз. 4) не забивается материалом.

Скребки (см. рис. 3, поз. 3) изготовлены из высокопрочной стали и усилены ребрами жесткости.

Смазка узлов сепаратора осуществляется централизованно из одной точки (рис. 4). Оборудование может быть оснащено автоматической системой смазки (рис. 5).

Натяжной вал скребкового конвейера оснащен регулируемыми гидроцилиндрами (рис. 6). Это повышает удобство при замене цепи и регулировке ее натяжения, а также сокращает время на обслуживание сепаратора.

Над поддерживающими валами имеются сервисные проемы (рис. 7), облегчающие снятие/установку вала.

В целом, тяжелосредние сепараторы AURY имеют простую и долговечную конструкцию и, как показывает практика их применения на предприятиях по всему миру, не доставляют проблем в процессе эксплуатации.

*В следующем номере мы расскажем об оборудовании для грохочения.*

**Список литературы**

1. Авдохин В.М. Обогащение углей: учебник для вузов. В 2-х т. Т.1. Процессы и машины. М.: Изд-во «Горная книга», 2012. 424 с.  
 2. Углев. Магнетитовая суспензия в качестве тяжелой среды для обогащения угля // Уголь. 2013. № 9. С. 81-83. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/092013.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

**COAL PREPARATION**

UDC 622.767.555:621.928 © V.S. Greku, 2019  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) •  
 Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 58-59

**Title**  
**AURY HEAVY MEDIUM SEPARATORS**

**Author**  
 Greku V.S.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> "Otkrytye tekhnologii" LLC, Belgorod, 308024, Russian Federation

**Authors' Information**  
**Greku V.S.**, Director on Development, tel.: +7 (4722) 23-28-39, e-mail: [info@auryrus.ru](mailto:info@auryrus.ru)

**Abstract**  
 The paper tells about heavy medium separators manufactured by AURY. The distinctive feature of these separators is simple and reliable design, ease of maintenance and operation.

**Keywords**  
 Coal preparation equipment, Heavy media separation, Heavy medium separators, AURY.

**References**  
 1. Avdokhin V.M. *Obogashchenie ugley: uchebnik dlya vuzov* [Coal preparation: a textbook for high schools]. In 2 volumes. Vol.1. Processes and machines. Moscow, Gornaya Kniga Publ., 2012, 424 p.  
 2. Uglev. *Magнетитовая суспензия в качестве тяжелой среды для обогашчения угля* [Magnetite slurry as a heavy medium for coal processing]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2013, No. 9, pp. 81-83. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/092013.pdf> (accessed 15.01.2019).



Рис. 4. Система смазки сепаратора – смазка осуществляется из одной точки



Рис. 5. Система автоматической подачи смазки (опционально)



Рис. 6. Натяжной вал, оснащенный регулирующим гидроцилиндром



Рис. 7. Поддерживающий вал и сервисный проем над ним

**Контакты:**  
**тел.: +7 (4722) 23-28-39, +7 (800) 301-27-73,**  
**e-mail: [info@auryrus.ru](mailto:info@auryrus.ru)**  
**web: [www.auryrus.ru](http://www.auryrus.ru)**

**YouTube-канал:**  
**[www.youtube.com/c/AuryRus](http://www.youtube.com/c/AuryRus)**



## Бригада экскаватора на разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» отгрузила в автотранспорт в 2018 году 12 млн кубометров горной массы

*На разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» экипаж экскаватора Komatsu PC-4000 № 64 во главе с бригадиром Андреем Лукиным отгрузил в автосамосвалы с начала 2018 года 12 млн куб. м вскрышных пород. Результату, достигнутому к 27 декабря 2018 г., был посвящен рабочий митинг, в котором приняли участие сотрудники и руководство ООО «СУЭК-Хакасия», а также исполняющая обязанности главы города Черногорска Ольга Леонтьева.*

*«Сибирская угольная энергетическая компания славится и по всей России, и за рубежом. Приятно, что накануне Нового года удалось достичь таких результатов, – выступая в забое угольного предприятия, отметила руководитель исполнительной власти города угольщиков. – Сколько социальных партнерских мероприятий мы выполнили за 2018 год, даже не перечислять: культурные, спортивные мероприятия, досуговые. В этом году подарили городу две прекрасных площадки – детскую и спортивную площадку».*

Обязательство достичь 12 млн куб. м отгрузки экипаж экскаватора № 64 брал на себя год назад. Достигнув этой цели, горняки с оптимизмом смотрят в будущее и заявляют о желании поднять на новый уровень планку своих достижений в 2019 г. Этот настрой поддерживает руководство ООО «СУЭК-Хакасия».

*«Экипажам разреза «Черногорский» дана в управление самая современная техника, – говорит генеральный директор ООО «СУЭК-Хакасия» Алексей Кулин. – Соответственно, мы должны добывать больше угля, приносить больше пользы обществу, России и Хакасии».*

В 2019 г. первому разрезу Хакасии исполнится 60 лет. Это весомый повод отметить юбилей разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» новыми трудовыми победами.





## АО ХК «СДС-Уголь» подтвердило соответствие международным стандартам



**Холдинговая компания «СДС-Уголь» успешно прошла надзорный аудит системы интегрированного менеджмента качества, и подтвердила соответствие своей деятельности требованиям международных стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 и OHSAS 18001:2007.**

Аудиторы АО «СЖС Восток Лимитед», входящее в группу SGS, отметили высокую результативность, а также эффективную реализацию ключевых подходов системы менеджмента качества в работе холдинга. Комиссией было вынесено решение о продлении срока действия сертификатов соответствия до следующего надзорного аудита, который пройдет в 2020 г.

АО ХК «СДС-Уголь» было сертифицировано по международным стандартам в 2018 г. Сертификаты соответствия под швейцарской аккредитацией SAS действительны в течение трех лет при условии успешного прохождения организацией ежегодных надзорных аудитов со стороны органа по сертификации.

Проведение сертификации системы менеджмента качества АО ХК «СДС-Уголь» стало первым этапом по внедрению на всех предприятиях холдинга интегрированной системы менеджмента, отвечающей международным нормам в области управления качеством, экологического менеджмента и менеджмента промышленной безопасности.

Наша справка.

**Холдинговая компания «Сибирский Деловой Союз» (ХК «СДС»)** — многоотраслевой холдинг, в структуру которого входят более 100 предприятий. Основные акти-

вы: холдинг «СДС-Уголь», объединяющий крупнейшие угледобывающие предприятия Кемеровской области; российский флагман производства азотных удобрений КАО «Азот»; холдинг «СДС-Маш» — один из ведущих в стране производителей грузовых железнодорожных вагонов и химического машиностроения; энергоснабжающий холдинг «СДС-Энерго»; предприятия строительного комплекса, обеспечивающие цикл работ от проектирования и производства строительных материалов до реализации недвижимости на рынке; предприятия сельскохозяйственной отрасли — крупнейший за Уралом животноводческий комплекс и уникальные семеноводческие хозяйства; предприятия пищевой промышленности; «Кузбасская медиагруппа», представляющая самые популярные коммерческие радиостанции страны и мероприятия российского масштаба.

**АО ХК «СДС-Уголь»** основано в 2006 г. и является отраслевым холдингом АО ХК «Сибирский Деловой Союз». Сегодня в составе угольного холдинга: три разреза, две шахты, четыре обогатительные фабрики и ряд сервисных предприятий, расположенных на территории Кемеровской области с общей численностью сотрудников более 8,5 тыс. человек. Компания является одним из лидеров по объемам добычи угля в России и одним из крупнейших российских экспортеров угольной продукции.





## На «Восточно-Бейском разрезе» подведены итоги реализации инвестиционной программы

*На Восточно-Бейском разрезе в конце декабря 2018 г. состоялся рабочий митинг коллектива, посвященный вводу в эксплуатацию четырех единиц техники для буровзрывных работ: два буровых станка DML-LP 1600, забоечная и смесительно-зарядная машины на базе грузовых автомобилей.*

Выступая перед коллективом, исполнительный директор Восточно-Бейского разреза **Денис Попов** отметил: «Этим событием знаменуется успешное окончание реализации инвестиционной программы СУЭК 2018 года по технической модернизации разреза. Сегодня мы вводим в эксплуатацию оборудование стоимостью порядка 300 млн руб., а всего в 2018 г. инвестиции СУЭК в Восточно-Бейский разрез составили более 2 млрд руб.»

«В 2018 г. коллектив Восточно-Бейского разреза работал стабильно, в срок выполняя плановые задания, – говорит генеральный директор ООО «СУЭК-Хакасия» **Алексей Килин**. – Вновь свой вклад в копилку мировых рекордов предприятий СУЭК в Хакасии внесла бригада экскаватора Komatsu PC-3000 под руководством Виктора Бычкова, которая достигла как максимальной месячной производительности в объеме 813 тыс. куб. м, так и годовой на уровне 7 400 тыс. куб. м. Теперь горнякам разреза созданы условия для достижения еще более масштабных результатов, осенью 2018 г. на предприятии начал работать новый комплекс, в котором вместе трудятся экипажи шести 220-тонных автосамосвалов и экскаватора Komatsu PC-4000 с емкостью ковша 23 кубометра».

Эффективно используя современную технику, горняки Восточно-Бейского разреза постоянно наращивают производительность труда. Рост производительности по товарной продукции за 5 последних лет составил 16% и составляет 637 т на одного сотрудника в месяц, по горной массе рост составляет 36%.



## Индексы устойчивого развития РСПП подтвердили лидерство СУЭК в сфере социальной ответственности

**11 декабря 2018 г. Российский союз промышленников и предпринимателей (РСПП) огласил результаты пятого ежегодного комплекса индексов устойчивого развития, корпоративной ответственности и отчетности. СУЭК традиционно вошла в число лидеров индексов.**

В индексе «Ответственность и открытость» (отражает объем и качество раскрытия информации) СУЭК традиционно вошла в группу А – первую десятку, наряду с компаниями АЛРОСА, Газпром, ЛУКОЙЛ, Роснефть, Норильский никель, Северсталь, АФК Система и др. Внутри группы лидеров компании указываются в алфавитном порядке.

В индексе «Вектор устойчивого развития», который отражает направленность изменений и результативность деятельности компаний в области устойчивого развития, СУЭК также находится в группе лидеров – эта группа также сформирована в алфавитном порядке.

«Основной акционер СУЭК Андрей Мельниченко и генеральный директор компании Владимир Рашевский глубоко убеждены в том, что социальная ответственность компании – необходимое условие ее долгосрочного развития. Это инвестиции в развитие, которые работают и создают, которые позволяют быть уверенными в стабильной работе предприятий и их обеспеченности кадрами на многие годы вперед. Мы рады, что наша работа высоко оценивается профессионалами, это очень важно для объективного анализа нашей деятельности, а также для развития системы корпоративной социальной ответ-



ственности в стране, для выявления и продвижения лучшего опыта, самых удачных практик», – говорит заместитель генерального директора АО «СУЭК» **Сергей Григорьев**.

СУЭК традиционно занимает лидирующие позиции в индексах РСПП. Индексы в области устойчивого развития, корпоративной ответственности и отчетности выпускаются РСПП с 2014 г. в рамках проекта по оценке ответственности и информационной открытости крупных российских компаний. В основе индексов лежит анализ публичной отчетности компаний. Индекс «Ответственность и открытость» отражает ситуацию в сфере раскрытия корпоративной информации по вопросам устойчивого развития и корпоративной ответственности. «Вектор устойчивого развития» – это индекс динамики результативности деятельности компаний в этой сфере, который оценивает направленность изменений основных социально-экономических и экологических показателей за ряд лет. Проект признан как инструмент бенчмаркинга российскими компаниями и включен в международную базу индексов и рейтингов в сфере устойчивого развития – The Reporting Exchange. Результаты индексов 2018 года прошли независимый аудит компании ФБК Grant Thornton.

## Красноярские предприятия СУЭК нарастили поставки на внутренний рынок

**Предприятия АО «Сибирская угольная энергетическая компания» (СУЭК) в Красноярском крае наращивают объемы поставок угля на внутренний рынок. В 2018 г. на крупнейшие станции и объекты жилищно-коммунального хозяйства региона, а также Алтайского края, Новосибирской и Иркутской областей было отгружено около 28,7 млн т угля, что на 10% выше показателей 2017 г.**

Наибольшей динамики достиг Бородинский разрез, являющийся флагманом открытой угледобычи не только в Красноярском крае и СУЭК, но и в отечественной угольной отрасли. «По итогам 2018 года рост поставок на внутренний рынок здесь составил 15%, или 3,1 млн т», – прокомментировал заместитель генерального директора АО «СУЭК» по логистике **Денис Илатовский**. Он также добавил, что все контракты на поставку угля в адрес потребителей выполняются в полном объеме.

Стабильные поставки, как подчеркнули в СУЭК, обеспечивают надежная и производительная горнотранспортная



техника – за прошедшие годы практически все машины, задействованные на добыче угля, подверглись коренной модернизации с внедрением самых современных систем управления и безопасности; собственный подвижной парк – сегодня это 65 локомотивов, почти 40 тыс. вагонов в оперировании; мощная производственная база для ремонтов и обслуживания оборудования.

В то же время, как констатируют в СУЭК, экспортные поставки демонстрируют обратную тенденцию – объемы отгрузки угля с красноярских предприятий за рубеж в 2018 г. оказались ниже, чем годом ранее, на 64%.





## АО «Дальтрансуголь» с высокими результатами отработало 2018 год и с рекордной выгрузки вагонов начало 2019 год

*На угольном терминале АО «Дальтрансуголь» (входит в состав АО «СУЭК») 20 января 2019 г. достигнут новый рекордный показатель по суточной выгрузке в размере 1050 вагонов.*

Несмотря на сложности зимнего периода данные статистики АО «Дальтрансуголь» показывают постоянную положительную динамику по объемам выгружаемых вагонов в зимний период. Значительные объемы перевалки стивидорам приходится осуществлять при низких температурах и в неблагоприятных погодных условиях, характерных для данного района Хабаровского края в зимний период, что требует особых подходов – использования дополнительного технологического оборудования и мобилизации всех служб терминала.

Так, 20 января 2019 г. благодаря тесному взаимодействию портовиков и Дальневосточной железной дороги за сутки на терминале было выгружено 1050 единиц вагонов угля.

Отметим, что достижение высоких результатов стало возможным в связи с выполнением на терминале комплекса специальных мероприятий: модернизации технологии и оборудования (в октябре 2018 г. произведена замена двух пластинчатых питателей на более современные и производительные), а также утепления зданий и сооружений портового комплекса.

По итогам 2018 года фактический оборот вагонов на подъездном пути АО «Дальтрансуголь» составил 0,8 суток. Эти высокие показатели позволяют АО «Дальтрансуголь» занимать одну из лидирующих позиций в России по общей скорости выгрузки и обороту вагонов.

Казавшийся ранее для коллектива порта недостижимым результат по выгрузке в суровые зимние сутки показатель в 1000 вагонов успешно преодолен.

Статус одного из самых современных, высокоэффективных и производительных российских портов АО «Дальтрансуголь» также подтвердило рекордными годовыми объемами погрузки продукции на морские суда – 20 млн т за 2018 год.





## В Красноярске наградили лучших трудотрядовцев СУЭК

*В Красноярске подвели итоги работы трудовых отрядов Сибирской угольной энергетической компании в регионе в 2018 г. Встретиться с генеральным директором АО «СУЭК-Красноярск», отчитаться о реализованных проектах и обсудить дальнейшие планы в краевой центр в конце декабря 2018 г. приехали лучшие участники трудотрядов и руководители молодежных центров из шести шахтерских городов и районов – гг. Бородино, Назарово, Шарыпово, Рыбинского, Назаровского и Шарыповского районов.*



Приветствуя старшекласников, генеральный директор АО «СУЭК-Красноярск» **Андрей Федоров** поблагодарил их за труд и активную жизненную позицию. «В предъюбилейный сезон – а в следующем году одному из самых успешных наших социальных проектов исполняется 15 лет – вы, действительно, отлично поработали, – отметил он, подчеркнув, что для многих ребят проводить трудовое лето с СУЭК уже стало доброй традицией. – Для нас лучшая похвала, когда дети вновь возвращаются в наши отряды. Значит, вам интересно, уютно и комфортно в нашей большой семье СУЭК. Надеюсь, что когда вы «перерастете» трудотряды, то вернетесь в нашу семью уже в качестве молодых специалистов».

Профориентация является одним из основных векторов работы трудовых отрядов СУЭК. О других направлениях рассказала куратор трудотрядовского движения, заместитель генерального директора АО «СУЭК-Красноярск» **Марина Смирнова**. По ее словам, если в 2005 г. совместная с Агентством труда и занятости населения программа задумывалась как сезонное трудоустройство школьников на летний период, то сегодня ребята работают круглый год на принципах социального активизма. Они занимаются благоустройством, опекают ветеранов, помогают городским учреждениям – библиотекам, школам, детским садам, архивам, участвуют в российских акциях, занимаются социальным проектированием.

Дальше о работе отчитались руководители молодежных центров и сами школьники. Так, за 2018 год ребята благоустроили более 1 360 000 кв. м территории, засадили цветами 45 000 кв. м клумб, высадили 590 деревьев, оказали поддержку 75 организациям и учреждениям шахтерских городов и районов, отреставрировали 165 малых архитектурных форм.

В Год волонтера под особую опеку ребят попали ветераны, люди с особенностями здоровья и дети, оставшиеся без попечения родителей – уже на старте сезона, во время слета-открытия трудотряды провели для своих сверстников мастер-класс по декорированию футболок и подарили яркие шедевры, изготовленные своими руками, воспитанникам детских домов. В Шарыпово волонтеры СУЭК сопровождали спортсменов зональных этапов спартакиад «Спорт без границ» среди лиц с поражением опорно-двигательного аппарата и нарушением слуха, зрения и интеллекта. В Назарово ребятам доверили встречать российских звезд театра и кино,



приехавших на ежегодный кинофорум отечественных фильмов имени Марины Ладьиной.

На краевом уровне трудовые отряды СУЭК неоднократно выигрывали гранты конкурса «Поколение-2020». На эти средства в Бородино обустроен детский игровой уголок в городской поликлинике, в Назарово реализован проект «Краски города» – подрастающие оформили бетонное ограждение городского стадиона граффити с узнаваемыми объектами, такими как Эйфелева башня, Биг-Бэн и даже красноярская часовня Параскевы Пятницы. В федеральном формате ребята стали участниками таких масштабных акций, как патриотические «Бессмертный полк», «Свеча памяти», «Георгиевская лента», экологические «Вода России», «Все-российский субботник», социальная «Полки добра».

В завершение встречи лучшие трудотрядовцы получили подарки от СУЭК, главным из которых стал мастер-класс в одной из кулинарных студий Красноярска.

## Назаровское ГМНУ наращивает объемы производства



*Сервисное предприятие Сибирской угольной энергетической компании в Красноярском крае активно развивается и расширяет перечень продукции и оказываемых услуг. Благодаря инвестиционной программе СУЭК предприятие планомерно обновляет свою материально-техническую базу, что в свою очередь способствует его развитию, отметил руководитель Назаровского ГМНУ Анатолий Зельский.*

«Прошлый год стал для нас во многом показательным. Мы не только досрочно выполнили годовую производственную программу, но и «приросли» новыми услугами и продукцией. Это прежде всего два серьезных заказа для предприятий Кузбасса – офланцевание труб для отвода грунтовых вод из угледобывающих шахт и изготовление ставов ленточных конвейеров для транспортирования угля и породы из забоев. В обоих случаях это весьма внушительный объем металлообработки, который потребовал для нас серьезного технического перевооружения», – подчеркнул **Анатолий Зельский**.

В 2018 г. для этих целей на предприятие поступило несколько крупных единиц оборудования – это два станка и два прессы. Ленточнопильный станок выполняет высокоскоростную резку практически всех металлов: цветных, профиля, труб. Весьма габаритная установка позволяет работать с такими же объемными параметрами. Еще одно приобретение – механический пресс, который применяется на предприятии для выполнения

холодной штамповки: вырубки, гибки, пробивки, обрезки, формовки. Активно используется при изготовлении маркировочных бирок, табличек для ЯКНО и новый фрезерный станок с ЧПУ.

В настоящее время готовится к запуску еще один дорогостоящий габаритный станок – листогибочный пресс. Установка способна производить загибку листового металла шириной до 4 м и толщиной до 16 мм. В настоящее время производится настройка оборудования, обучение персонала, после чего станок будет запущен в работу.

Для эффективной организации рабочего процесса приобретены восемь передвижных фильтров, которые предназначены для удаления и фильтрации сварочных дымов и пыли в цехах, а также комплект для порошковой окраски металлических изделий.

Общий объем инвестиций в развитие Назаровского ГМНУ в 2018 г. составил более 20 млн руб. Практически такая же сумма была инвестирована в предприятие годом ранее.

## Черногорский РМЗ отремонтировал в 2018 году почти 2500 полувагонов



*В 2018 г. Черногорский ремонтно-механический завод (входит в состав АО «СУЭК») произвел текущий ремонт (ТР-1) 2457 полувагонов. Цех по ремонту подвижного состава расположен на промплощадке разреза «Черногорский». После ремонта все полувагоны оперативно поступили для загрузки концентратом на Обогастительную фабрику «СУЭК-Хакасия».*

«На протяжении года эффективность работы нашего коллектива постоянно возрастала, – говорит начальник цеха по ремонту полувагонов **Антон Филь**. – Если в январе 2018 г. в среднем за сутки мы ремонтировали 2-3 вагона, то в декабре – порядка 11 единиц. У нас стабильный кадровый состав, соответственно, за прошедший период коллектив значительно повысил свою профессиональную компетенцию и приступил к выполнению значительно более сложных ремонтных работ».

С середины января 2019 г. цех Черногорского РМЗ по ремонту полувагонов в необходимых случаях начал проведение текущего ремонта второй категории сложности (ТР-2).

«Расширение перечня ремонтных работ, которые выполняет цех, – это дополнительная возможность повысить рентабельность подразделения Черногорского РМЗ

и еще один фактор надежности для ритмичной поставки порожних полувагонов под погрузку на обогастительную фабрику», – комментирует генеральный директор ООО «СУЭК-Хакасия» **Алексей Кулин**.

Еще одной особенностью работы цеха является то, что он ремонтирует только полувагоны СУЭК, так что качество ремонта напрямую влияет на грузооборот компании не только в Хакасии, но и в других регионах присутствия предприятий СУЭК. Наряду с высокими требованиями к оперативности и качеству ремонта руководство проявляет максимум внимания для создания безопасных условий труда для рабочих, соблюдению требований промышленной безопасности. Следствием этих усилий стала ритмичная работа без аварий и происшествий, за 2018 г. в цехе не допущено ни одного несчастного случая на производстве.



## В Мурманском морском торговом порту подвели итоги работы за 2018 год

**По итогам 2018 года объем перевалки грузов в Мурманском морском торговом порту составил около 16 млн 250 тыс. т, что на 3,5% выше показателей 2017 г. Об этом сообщил генеральный директор АО «Мурманский морской торговый порт» Александр Масько на пресс-конференции, посвященной итогам 2018 года.**



*«Вся программа рассчитана до конца 2020 года. В 2018 г. мы закончили внедрение системы орошения на всех площадках нашего предприятия. Сегодня у нас 17 тумано- и снегообразующих пушек. Тако- го их числа нет ни в одном порту нашей*

*страны. Мы также реализуем проект создания экодистетчерской. Началось строительство пылеветрозащитных экранов – мы уже приступили к их монтажу», – отметил Александр Масько.*

*«2018-й был годом стабильной, сложной, но интересной работы. В этом году выручка компании превышает 7 млрд руб. Чистая прибыль – 3 млрд руб. А налоговые отчисления – более 1 млрд руб. При этом 950 млн руб. из них поступят в региональные бюджеты», – сказал Александр Масько.*

Одно из приоритетных направлений – активное участие в реализации арктической программы. В 2018 г. объем перевалки грузов по арктическим направлениям составил около 350 тыс. т. Особое внимание в деятельности предприятия занимают природоохранные проекты. В 2017 г. была принята масштабная экологическая программа, стоимость которой превышает 3 млрд руб. Она разработана на основе лучшего общемирового опыта работы стивидорных компаний Китая, Японии, Австралии, Канады и включает 12 крупных проектов. Часть проектов реализована уже в этом году.

В 2018 г. на реализацию социальных проектов портом был направлен 91 млн руб., причем на благотворительность – около 35 млн. Дополнительные возможности у жителей Мурманска и Мурманской области возникают благодаря различным формам поддержки, предлагаемыми Сибирской угольной энергетической компанией, стопроцентной «дочкой» которой порт стал в 2018 г. В частности, при поддержке фонда «СУЭК – регионам» в 2018 г. было реализовано четыре проекта, ориентированных на формирование комфортной городской среды и поддержку инициатив граждан. Из других знаковых проектов – создание и поддержка двух транспортно-логистических классов, открытых на базе гимназии № 8 г. Мурманска, а также старт в суперлиге российского бенди хоккейного клуба «Мурман» – этого удалось достичь благодаря совместной работе порта, регионального правительства, муниципальных властей и спонсоров.





# Анализ возможного использования углей месторождения Шубарколь при выплавке технического кремния

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-68-72>

## САФОНОВ Андрей Александрович

Президент АО «Шубарколь комир»,  
100014, г. Караганда, Республика Казахстан

## МАУСЫМБАЕВА Алия Думановна

Канд. техн. наук,  
докторант КарГТУ,  
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,  
e-mail: [aliya\\_taussym@mail.ru](mailto:aliya_taussym@mail.ru)

## ПОРТНОВ Василий Сергеевич

Заведующий кафедрой  
геологии и разведки МПИ КарГТУ,  
100027, г. Караганда, Республика Казахстан

## ПАРАФИЛОВ Владимир Иванович

Советник президента  
АО «Шубарколь комир»,  
100014, г. Караганда, Республика Казахстан

## КОРОБКО Сергей Владимирович

Заместитель генерального директора  
по производству ТОО «Tau-Ken Temir»,  
100027, г. Караганда, Республика Казахстан

Производство технического кремния на заводе ТОО «Tau-Ken Temir» (ТКТ) в г. Караганде (Казахстан) осуществляется путем карботермического восстановления кремния из кварца в дуговых руднотермических печах открытого типа полной мощностью 30МВА с последующим рафинированием расплава кислородом воздуха в ковшах. Кремний производят в соответствии с требованиями стандарта организации, по технологическому регламенту предприятия [1]. Химический состав кремния должен соответствовать установленным требованиям стандарта по содержанию кремния более 99,7% и примесей Fe, Al, Ca, Ti, P. Технический кремний применяется для производства кремнийсодержащих сплавов, кремнийорганической продукции, полупроводниково-го кремния, также для других специальных целей.

Целью работы является изучение закономерности распределения оксидов элементов примесей в углях месторождения Шубарколь как одного из влияющих факторов, определяющих использование углей при электротермическом получении технического кремния.

**Ключевые слова:** технический кремний, кремнийсодержащие сплавы, углесодержащий восстановитель, электрическое сопротивление, зольность, мацеральный состав, свиты, горизонты, малые элементы, возраст, метаморфизм, кокс.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Для выплавки кремния в дуговых руднотермических печах (РТП) используют шихту, в состав которой входят рудная масса, состоящая в основном из кварца или кварцита, и комбинация углеродистых восстановителей, включающая: древесный уголь, каменный уголь (марки Д), древесную щепу, каменноугольный полукокс (спецкокс), нефтяной кокс.

Углеродистые материалы, применяемые при карботермической плавке кремния, должны иметь малую зольность, низкое содержание летучих веществ, высокую реакционную способность (РС), достаточную механическую прочность и высокое электрическое сопротивление. Качество получаемого по основной реакции  $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$  технического кремния в первую очередь зависит от химического состава используемых шихтовых материалов и технологических условий процесса карботермической плавки [2, 3, 4]. В качестве восстановителя используют углерод, обладающий большим химическим сродством к кислороду при высоких температурах по сравнению с кремнием.

К основным технологическим факторам [4], определяющим первоочередные требования к углеродистому восстановителю, относятся:

- термическая стойкость с сохранением технологических характеристик при температуре плавки, превышающей 2500°C;
- высокая РС для быстрого и полного восстановления кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) и монооксида кремния ( $\text{SiO}$ ) до кремния, определяющая степень извлечения последнего в товарный продукт;
- минимальное содержание примесей, регламентируемых ГОСТ 2169-69 (оксиды Fe, Al, Ca, Ti, P) и техническими условиями на качество продукта;
- низкая дефицитность и стоимость восстановителя.

Каменные угли высокой степени метаморфизма, большинства месторождений из-за наличия в них высокого содержания золы (более 10%), низкой реакционной способности (РС), низкой пористости и структурной прочно-

сти при производстве кремния в руднотермических печах не применяются.

Углеродистые материалы с низкой зольностью, такие как древесные, длиннопламенные каменные угли (марки Д, Г, ДГ), нефтяной кокс, торфяные брикеты и торфяной кокс, полукоксы, различаются по зольности и содержанию оксидов элементов, переходящих в металл в виде примесей, удельному электрическому сопротивлению (УЭС), структурной прочности, содержанию углерода ( $C_{\text{ТВ}}$ ) и другим характеристикам.

Длиннопламенные каменные угли низкой стадии метаморфизма, бурые угли с низкой зольностью используются для выплавки кремния в смеси с другими восстановителями, характеризующимися повышенным содержанием летучего углерода [4, 5]. Древесный уголь (береза, бук и др.) обладает оптимальными характеристиками для этих целей – высокая РС и УЭС (в 10 раз больше, чем каменноугольные коксы), высокое  $C_{\text{ТВ}} \geq 78\%$ . Чем больше в шихте древесного угля, тем, при одинаковом соотношении кремнезема и углерода, выше электрическое сопротивление шихты, состоящей из кремнийсодержащей руды и углеродистых восстановителей, тем меньше удельный расход электроэнергии на единицу получаемой продукции.

К недостаткам древесного угля относятся его высокая стоимость, невысокая механическая прочность (при перевалке, транспортировке и в процессе подготовки шихты образуется до 50% мелочи), способность самовозгораться, а также и резкие колебания содержания в них золы и влаги.

В работе [6] приведены результаты исследований группы углеродистых материалов с оценкой возможности их использования в качестве альтернативы древесному углю.

Каменные угли низкой степени метаморфизма, ввиду их большого разнообразия по качеству и составу золы, требуют изучения физико-механических свойств и их влияния на условия и показатели восстановительной плавки.

Каменный уголь Шубаркольского месторождения отличается низкой (в среднем 2,5-2,7%), но нестабильная зольность. Интервал колебания золы по отдельным пробам составляет от 1,7% до 4,1%. Высокое содержание летучих веществ не позволяет достичь содержания фиксированного ( $C_{\text{ТВ}}$ ) углерода выше 54%. В то же время его удель-

ное электрическое сопротивление и реакционная способность достаточно высоки. Недостатками угля Шубаркольского месторождения являются сравнительно невысокие структурная прочность (65,1%) и термическая стойкость (76,4%).

В практике рудотермического способа получения кремния и алюминия используют колумбийский уголь [3, 6]. Сравнение колумбийских и шубаркольских углей приведены в таблице.

Каменный уголь из Колумбии, поставляемый компанией Thyssen Krupp, характеризуются низкой зольностью на уровне 1% и большим выходом летучих веществ (40,1%). В соответствии с такими показателями содержание фиксированного (твердого) углерода составляет 59,3%. Этот уголь характеризуется высокой структурной прочностью и термической стойкостью, но имеет невысокую реакционную способность 1,01–1,09  $\text{см}^3/\text{г}\cdot\text{с}$ , которая в четыре раза ниже Шубаркольских углей.

Шубаркольские угли имеют несколько повышенную зольность и выход летучих, и, как уже отмечалось, более низкое содержание углерода, однако более высокая реакционная способность значительно повышает эффективность восстановления кремния. Также шубаркольский уголь отличается от колумбийского более низкими содержаниями  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и В. Содержания оксидов Al, Ca, Ti, а также S близки.

#### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУБАРКОЛЬ

Малая зольность длиннопламенных углей Шубаркольского месторождения, возможность добычи открытым способом, большая мощность пластов, низкое содержание серы, бора и фосфора, близость месторождения к предприятию ТОО «Тау-Кен Темір» являются основанием для их использования в качестве углеродистого восстановителя, обеспечивающего эффективность технологического процесса получения металла высокого качества в соответствии со стандартом предприятия [1].

Рассмотрим закономерность распределения оксидов железа в углях месторождения Шубарколь как один из важных факторов, определяющих их использование в качестве углеродистого восстановителя при электротермическом получении кремния. Оксиды железа входят в со-

Сравнительная таблица характеристик каменных углей

Показатели	Колумбийский уголь (Thyssen Krupp)	Шубаркольский уголь
	Среднее содержание	
Класс крупности, мм	10-30	10-50
Влажность, %	11,2	12,6
Зольность, %	1,0	2,68
Летучие, %	40,1	44,1
Общая сера, %	0,4	0,4
Содержание углерода $C_{\text{ТВ}}$ , %	59,3	53,21
Реакционная способность по $\text{CO}_2$ при $1000^\circ\text{C}$ , ( $R_{\text{CO}_2}$ ) $\text{см}^3/\text{г}\cdot\text{с}$	1,01	4,44
Состав золы: $\text{Fe}_2\text{O}_3$	11,2	6,61
$\text{Al}_2\text{O}_3$	30,23	30,1
CaO	3,64	3,95
$\text{TiO}_2$	0,83	0,79
В	0,35	0,06

став неорганической части минерального состава углей, это пирит, гематит, гётит, лимонит и другие редко встречающиеся минералы железа.

Содержание в рядовых углях сульфидов железа, которые также оказывают влияние на качество шихты и кремния, колеблется от 0,1 до 0,5%, а в обогащенных углях (концентрат плотностью не менее 0,4 г/см<sup>3</sup>) – от 0,1–0,3%.

Корреляция между содержанием Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и зольностью углей не установлена Институтом органического синтеза и углехимии АН КазССР. Отсутствует корреляция между содержанием Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO в пределах изменения содержания оксидов соответственно в пределах: 36–64 (SiO<sub>2</sub>)%, 0,5–5,5 (CaO)% и 0,9–5 (MgO)% в диапазоне изменения содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пределах от 2 до 18% [8].

Для формирования партии шубаркольских углей, направляемой в адрес ТОО «Tau-Ken Temir», разработан и внедрен экспресс-метод определения с достаточной точностью содержания оксидов железа в углях на основе измерения их магнитных свойств [9].

Среднее содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в составе золы рядовых углей Среднего горизонта месторождения составляет 2,87% при средней зольности  $A^d = 18,7\%$ , оно несколько выше в золе углей Верхнего горизонта – 7,11%, при  $A^d = 9,96\%$ , а среднее содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в золе Нижнего горизонта равно 10,07% при  $A^d = 15,3\%$ . В угольном концентрате плотностью не менее 1,4 г/см<sup>3</sup> содержание золы значительно снижается соответственно для Верхнего, Среднего и Нижнего горизонтов – 2,9; 5,7; 6,5%. При некотором росте средних значений Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для этих горизонтов – 7,79; 3,54; 20,95%. Такая же закономерность отмечается для CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>. Уменьшение зольности в концентрате шубаркольских углей в основном связано со снижением средних значений в составе золы SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Сравнивая содержание оксида железа каменных углей Колумбии и месторождения Шубарколь, а также результаты средних содержаний оксидов в рядовом угле и концентрате, можно сделать вывод о том, что зольность Шубаркольских углей обусловлена в основном алюмосиликатными оксидами (SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), содержащимися в глинистых прослойках углей. Причем зольность колумбийских углей более чем в два раза меньше зольности шубаркольских, но они вносят минимальное и почти одинаковое количество оксидов железа на 100 кг углерода – 0,189–0,251 кг (колумбийские угли) и 0,289–0,33 кг (шубаркольские). Шубаркольская зола содержит значительно меньше оксидов железа, чем зола колумбийских углей. Количество железа, вносимого продуктами пиролиза шубаркольских углей, пропорционально содержанию золы.

Другие оксиды элементов Al, Ca, Mg, Ti, Na оказывают влияние на качество шихты и входят как примеси в конечный продукт – технический кремний.

Повышенное содержание оксида алюминия обусловлено прослоями глинистых сланцев, глин в угольном пласте и, при формировании партии углеродистого восстановителя, попадает в состав шихты. Все это приводит к увеличению потребления электроэнергии. Так, на восстановление 0,1% алюминия из глинозема, попавшего в шихту как минеральная примесь, требуется увеличение электроэнергии на 28% по сравнению с кремнием [4, 5, 6]. Шубаркольские угли содержат 25,1 – 30,1% оксида алюминия в золе, при этом количество оксида алюминия на 100 кг угле-

рода соответствует количеству золы от 1,16 до 1,52 кг, что выше по сравнению с колумбийскими углями, в которых при содержании Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в золе более 30% содержание оксида алюминия на 100 кг углерода в два раза меньше шубаркольских углей (0,62%) [6].

В колумбийских и шубаркольских каменных углях содержание оксида кальция в золах восстановителей низкое и изменяется от 3,42% до 3,95%, при этом количество оксида на 100 кг углерода меняется от 0,061 до 0,199 кг.

При этом отмечается относительно низкое среднее содержание бора (0,06%, см. табл.) в золе шубаркольских углей и продуктах их переработки. В колумбийских углях его содержание несколько выше (0,35%), но из-за низкой их зольности количество бора на 100 кг углерода сопоставимо с шубаркольскими углями (0,0037–0,0059 кг) [6].

Для рядовых углей Верхнего горизонта Шубаркольского месторождения установлена обратная пропорциональная гиперболическая закономерность изменения Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от зольности ( $A^d$ , %). Согласно этим закономерностям, при  $A^d = 10\%$  содержания оксидов в золах углей Верхнего горизонта имеют средние значения: SiO<sub>2</sub> – 60%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 9%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 24%, CaO – 2%, MgO – 1,9%, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,9%.

Зольность угольной массы Шубаркольских углей невысокая, ее среднее значение изменяется в пределах 1,2–2,01%, а в отдельных пластопересечениях – 1,7–31%. Колебание зольности отдельных угольных пачек не превышает 3%. Зольность рядового угля обусловлена попаданием в угольную массу породных прослоев при отработке месторождения и в зависимости от степени засоренности изменяется в значительных пределах от 6,9 до 26,6%. Например, на Западном участке разреза – от 5 до 20%, на Центральном – от 6,9 до 21%. Отмечается некоторое увеличение зольности пластов в южном направлении, что хорошо согласуется с направлением увеличения интенсивности расщепления угольных горизонтов [8].

Количество железа, вносимого продуктами пиролиза шубаркольских углей, пропорционально содержанию золы. Количество оксида кальция в продуктах пиролиза углей пропорционально количеству золы и составляет 0,414–0,592 кг на 100 кг углерода, такая же закономерность характерна для оксида алюминия – 1,67 – 2,61 кг на 100 кг углерода материала [6].

Органические соединения серы, содержащиеся в летучих восстановителях, на ранней стадии нагрева шихты удаляются в виде H<sub>2</sub>S и COS. Пиритная сера (FeS<sub>2</sub>) при температуре 7000°C разлагается по реакции:



Внесенная с шихтой сера удаляется полностью отходящими газами.

Фосфор поступает в шихту в виде органических соединений и как частицы апатита. Количество фосфора, входящего в расплав кремния, колеблется в пределах 0,013 – 0,030 и наряду с другими элементами (Fe, Al, Ca, Ti) определяет его марку.

Увеличение содержания в шихте Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и CaO приводит к увеличению количества шлака при выплавке кремния. Значительная часть примесей вносится в расплав рудной частью шихты, в среднем это составляет: 60% – Al, 55% – Fe и 9% – Ca [7]. Для уменьшения влияния примесей на качество кремния руду промывают в моечном барабане.



Окислительное рафинирование в ТОО «Tau-Ken Temir» осуществляется продувкой расплава воздухом в ковше емкостью 2 м<sup>3</sup> и вместимостью до 5 т расплава.

Оксиды, поступающие в составе шихты, восстанавливаются, а часть их переходит в шлак, так, соответственно в %: SiO<sub>2</sub> (98 и 2), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99 и 1), CaO, Na<sub>2</sub>O (60 и 40), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (80 и 20), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 и 0), MgO (30 и 70), TiO<sub>2</sub> (80 и 20), SiO<sub>3</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100 и 0). Восстановленные элементы под действием высокотемпературной дуги РТП переходят в расплав, а часть улетучивается газами, в %: Si (70 и 30), Fe (99 и 1), Ca (70 и 30), Al (85 и 15), Na, P (50 и 50), Mg (60 и 40), Ti (95 и 5), S (0 и 100).

Данное распределение основных элементов между продуктами плавки используется при расчете химического состава расплава кремния, а с учетом продувки при рафинировании в ковшах дает возможность планировать марку кремния.

Пригодность Шубаркольских углей в качестве углеродистого восстановителя при плавке кремния, определяется совокупностью требований, которые дают возможность его получения из кремнезема требуемого количества и качества, это: низкое содержание золы, высокая реакционная способность и электрическое сопротивление, термическая стойкость, структурная прочность, пористость, удельная поверхность, низкая дефицитность и стоимость.

Для определения коэффициента структурной прочности углей (KSI) использовано отношение оптических поглощений инфракрасной спектроскопии. Величина KSI отражает отношение количества алифатических углеводородных связей к сумме количества ароматических углеводородных связей, исключая связи кислородосодержащих групп [4].

Коэффициент структурной прочности линейно зависит от размолосопособности углей по Хардгроу (HGI) и имеет высокую корреляционную связь (93%) в диапазоне изменения HGI от 40 до 90 ед. и KSI от 0,4 до 25 отн. ед. Для углей месторождения Шубарколь структурная прочность ( $I_{\Sigma}$ ) 65,1% в сравнении с колумбийским углем ниже. Для углей Верхнего горизонта Шубаркольского месторождения установлена зависимость коэффициента размолосопособности ( $G_{VT}$ ) угля от зольности:

$$G_{VT} = 1,15 + 0,0106 A^d, \%, \text{ при } r = 0,92, S_y = f(x) = \pm 0,05.$$

Используя материалы, приведенные в работе [4], установлена прямая зависимость удельной поверхности ( $S_y$ , м<sup>2</sup>/г) от реакционной способности (PC, мл/г·с) Шубаркольских углей:

$$S_y = 24,4 PC \text{ м}^2/\text{г}, \text{ при } r = 0,87, S_{y,x} = \pm 8,2.$$

Установлена обратная закономерность изменения PC углей от их истинной плотности ( $\sigma$ , г/см<sup>3</sup>) в пределах ее изменения от 1 до 2,26 г/см<sup>3</sup> (графит), определяемая уравнением:

$$PC = 40-20 \sigma, \text{ мл/г}\cdot\text{с при } r = 0,61, S_{y,x} = \pm 1,5.$$

Полученные закономерности свидетельствуют о том, что PC зависит от удельной поверхности восстановителя, теснота этой зависимости определяется температурой реагирования, а также типом восстановителя.

Рядом исследователей [2,3] отмечен параллелизм между PC углеродистых восстановителей по диоксиду углерода и кремнезему. Из широкоиспользуемых углеродистых восстановителей нефтяной кокс имеет наиболее низкую PC = 0,36 мл/г·с при высоком содержании углерода 91,8%.

Установлено, что содержание в углеродистых восстановителях Ca и Fe повышает их PC, а кремнезем и глинозем понижают ее, это вызывает необходимость отсеивать мелкую фракцию, в которой сконцентрировано основное количество примесей.

Увеличение пористости углеродистых восстановителей приводит к росту их реакционной способности (PC), PC тесно связана с УЭС, которое в свою очередь определяется размером кристаллов углерода.

Углеродистые материалы с высокодисперсной кристаллизацией обладают повышенной поверхностной энергией [2, 4].

Оценка возможности использования угля Центрального и Западного участков месторождения Шубарколь для получения кристаллического кремния, вместо колумбийского, проводилась по двум основным показателям: зольность угольных пачек и содержание оксида железа в золе. За критерий оценки было принято содержание оксида железа в золе угля до 1,5 кг/т.

Определение химического состава золы производилось в ТОО «Центргеоланалит» (г. Караганда), 19 проб, и в ТОО «НИЦ «Уголь» (г. Караганда), 37 проб, которые были отобраны от угольных пачек бороздовым опробованием согласно ГОСТ 9815-75, ГОСТ ИСО 14180-2014 и с железнодорожных вагонов согласно ГОСТ 10742-71. По результатам исследования установлено: по Западному участку по четырем угольным пачкам содержание оксида железа в угле составляет до 1,5 кг/т; по Центральному участку по пяти угольным пачкам содержание оксида железа в угле составляет до 1,5 кг/т, что дает возможность формировать партии углей в соответствии с техническими условиями предприятия ТОО «Tau-Ken Temir».

## ВЫВОДЫ

По зольности углей, колеблющейся от 1,5% до 4%, и содержанию оксида железа от 0,9 до 1,5 кг/т шубаркольские угли могут быть использованы при получении кремния как заменитель колумбийских.

По реакционной способности шубаркольские угли превосходят по качеству колумбийские угли, что повышает эффективность восстановительного процесса.

По результатам первичного опробования определено, что протяженность пластов в районах, где содержание оксида железа находится в требуемых пределах, по Западному участку составляет около 500 м (40% от протяженности ведения добычных работ), по Центральному участку около 1100 м (20% от протяженности ведения добычных работ). Однако полученные данные нуждаются в дальнейших исследованиях по уточнению распределения железа по месторождению.

Для планирования работ по добыче углей, используемых в качестве углеродистого восстановителя, разработаны и внедрены методика, аппаратура для определения содержания оксида железа в угле в установленных пределах с требуемой точностью, для формирования качественной (по оксиду железа и зольности) партии углей в соответствии с техническими условиями потребителя.

Для оптимизации ведения горных работ по формированию угольной массы, удовлетворяющей требованиям потребителя, разрабатывается 3D-модель месторождения «Шубарколь» с выделением участков угольного мас-

сива, соответствующих техническим условиям на каменный уголь, используемый при выплавке кремния.

Необходима доработка горнодобывающих операций по уменьшению и стабилизации зольности угля, отгружаемого в качестве восстановителя на выплавку кристаллического кремния.

### Список литературы

1. Кремний технический рафинированный. Технические условия СТ ТОО 13124001446-001-2016. ТОО «Tau-Ken Temir».
2. Гасик М.И., Гасик М.М. Электротермия кремния. Днепрпетровск: Национальная металлургическая академия Украины, 2011. 487 с.
3. Производство кремния / А.Р. Школьников и др. СПб.: МАНЭБ, 2001. 269 с.
4. Технология выплавки технологического кремния / С.В. Архипов, А.А. Тупицын, О.М. Катков и др. Под ред. О.М. Каткова. Иркутск: Кремний, 1999. 244 с.

5. Попов С.И. Металлургия кремния в трехфазных руднотермических печах. Иркутск, 2004. 237 с.

6. Исследования химической активности углеродистых восстановителей применительно к производству кремния / Д.К. Ёлкин, В.М. Страхов, К.С. Ёлкин, А.Е. Черевк [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metalbulletin.ru/a/229>.

7. Немчинова Н.В. Изучение характеристик рафинированного кристаллизационными методами металлургического кремния // Вестник ИрГТУ. 2010. № 3 (43). С. 96-103.

8. Отчет о детальной разведке Шубаркольского месторождения / Е.Т. Педаш, Н.А. Ко, О.А. Бойцова и др. Ч.1. Караганда: ЦКПГО, 1987.

9. Экспресс-метод определения содержания диоксида железа в угле на основе измерения магнитных свойств / А.А. Сафонов, В.С. Портнов, Р.У. Парафилова, А.Д. Маусымбаева // Уголь. 2018. № 3. С. 75-77. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (дата обращения 15.01.2019).

## COAL QUALITY

UDC 552.08:539.16:552.574(574) © A.A. Safonov, A.D. Mausymbaeva, V.S. Portnov, V.I. Parafilov, S.V. Korobko, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 68-72

### Title

ANALYSIS OF POTENTIAL USE OF COAL FROM THE SHUBARKOL DEPOSIT IN TECHNICAL SILICON SMELTING

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-68-72>

### Authors

Safonov A.A.<sup>1</sup>, Mausymbaeva A.D.<sup>2</sup>, Portnov V.S.<sup>2</sup>, Parafilov V.I.<sup>1</sup>, Korobko S.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>“Shubarkol komir” JSC, Karaganda, 100014, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Karaganda State Technical University (KarSTU), Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup>“Tau-Ken Temir” LLP, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan

### Authors' Information

**Safonov A.A.**, Mining Engineer, President

**Mausymbaeva A.D.**, PhD (Engineering), Doctoral Candidate,  
e-mail: [aliya\\_maussym@mail.ru](mailto:aliya_maussym@mail.ru)

**Portnov V.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of department

**Parafilov V.I.**, Adviser to president

**Korobko S.V.**, Deputy General Director for production

### Abstract

Production of technical silicon at the “Tau-Ken Temir” LLP (TKT) plant in Karaganda (Kazakhstan) is made by carbothermic reduction of silicon from quartz in open-arc ore-thermal furnaces of 30MVA gross power, followed by melt refining with atmospheric oxygen in ladles. Silicon is produced in accordance with the requirements of the organization standard, per plant technological regulations [1]. The chemical composition of silicon must comply with the established requirements of the standard, i.e. silicon content of no less than 99.7% and the balance of Fe, Al, Ca, Ti, P impurities. Technical silicon is used for production of silicon-containing alloys, silicone products, semiconductor silicon, as well as for other special applications.

The purpose of the paper is to study the impurity elements' oxides distribution patterns in the Shubarkol coal, as one of the key determinants of the use of this coal in the electrothermal production of technical silicon.

### Keywords

Technical silicon, Silicon-containing alloys, Carbonaceous reducing agent, Electrical resistance, Ash content, Maceral composition, Suites, Horizons, Small elements, Age, Metamorphism, Coke.

### References

1. *Kremniy tekhnicheskii rafinirovannyi. Tekhnicheskie usloviya ST TОО 13124001446-001-2016* [Refined technical silicon. Specifications ST LLP 13124001446-001-2016]. “Tau-Ken Temir” LLP

2. Gasik M.I. & Gasik M.M. *Elektrotermiya kremniya* [Electrothermal silicon technology]. Dnepropetrovsk, National Metallurgical Academy of Ukraine, 2011, 487 p.

3. Shkolnikov A.R. et al. *Proizvodstvo kremniya* [Silicon production]. St.Petersburg, International Academy of Ecology and Life Protection Sciences (MANEB), 2001, 269 p.

4. Arhipov S.V., Tupitsyn A.A., Katkov O.M. et al. *Tekhnologiya vyplavki tekhnologicheskogo kremniya* [Technology of smelting technological silicon]. Under the editorship of O.M. Katkov. Irkutsk, Kremniy Publ., 1999, 244 p.

5. Popov S.I. *Metallurgiya kremniya v trekhfaznykh rudnotermicheskikh pechakh* [Metallurgy of silicon in three-phase ore-smelting furnaces]. Irkutsk, 2004, 237 p.

6. Elkin D.K., Strahov V.M., Elkin K.S. & Cherevk A.E. *Issledovaniya himicheskoy aktivnosti uglerodistykh vosstanoviteley primenitelno k proizvodstvu kremniya* [Research of carbonaceous reducing agents' chemical activity as applied to silicon production]. [Electronic resource]. Available at: <https://www.metalbulletin.ru/a/229> (accessed 15.01.2019).

7. Nemchinova N.V. *Izuchenie harakteristik rafinirovannogo kristallizatsionnymi metodami metallurgicheskogo kremniya* [Study of characteristics of metallurgical silicon refined by solidification methods]. *Vestnik IrGTU – Bulletin of Irkutsk STU*, 2010, No. 3(43), pp. 96-103.

8. Pedash E.T., Ko N.A., Boytsova O.A. et al. *Otchet o detalnoy razvedke Shubarkolskogo mestorozhdeniya* [Report on detailed exploration of the Shubarkol coal deposit]. Part 1. Karaganda, TsKPGO, 1987.

9. Safonov A.A., Portnov V.S., Parafilova R.U. & Mausymbaeva A.D. *Ehkspress-metod opredeleniya sodержaniya dioksida zheleza v ugle na osnove izmereniya magnitnykh svoystv* [Express method determination of the iron dioxide content in the coal based on the measurement of magnetic properties]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, № 3, pp. 75-77. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (accessed 15.01.2019).

# Интегральный подход к процессу подготовки ТЭО кондиций

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-73-75>

*Рассмотрена процедура совершенствования методики геологического и горнотехнического обоснования постоянных кондиций на базе расширенного состава показателей условий залегания угольных пластов, основных качественных характеристик угля, направлений его переработки и потребления. Основные принятые к учету горно-геологические и горнотехнические показатели для обоснования кондиций принимают численные значения по каждому из вариантов кондиций, таким образом, задача их обоснования принимает квалитетический характер.*

**Ключевые слова:** угольная шахта, кондиции, потери, горно-геологические характеристики, горнотехнические параметры, интегральная оценка, квалитетрия.



## АГАФОНОВ

**Валерий Владимирович**

Доктор техн. наук, профессор  
кафедры «Геотехнологии  
освоения недр»

Горного института НИТУ «МИСиС»,  
119049, г. Москва, Россия,  
тел.: +7 (499) 230-94-66,  
e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

## ВВЕДЕНИЕ

Основной отличительной особенностью отработки запасов угольных месторождений РФ является широкий диапазон технологичности условий разработки и залегания угольных пластов, основных качественных показателей угля и направлений его использования и переработки. Даже в пределах одного горного отвода могут залегать пласты тонкие и мощные, пологие и крутонаклонные, зольные и малозольные, выдержанные и нарушенные и т.д.

В данных условиях технические средства и технология угледобычи, а в конечном итоге и технология, связанная с потреблением угля, априори не могут быть задействованы в одновариантной и неизменной постановке по всем разрабатываемым пластам. Одновременно с этим, стремление к максимально эффективному извлечению и потреблению угольной продукции требует унификации использования технологий добычи и потребления. Однако существующие масштабы изменчивости условий неизбежно ведут к снижению унификации используемого горнодобывающего оборудования, задействованного при добыче и переработке угля. Таким образом, в этой сфере возникают значительные издержки материальных средств, а в конечном итоге экономический ущерб, снизить который возможно установлением кондиций по основным качественным свойствам и основополагающим характеристикам залегания [1].

Исторически сложилась основная традиция при установлении кондиций – считать основополагающими факторами сложившиеся условия ведения подземных горных работ и потребления угля. Исходя из этого, нормативы на кондиции запасов устанавливались лишь по минимальной вынимаемой мощности пластов.

Сфера потребления угля была представлена в основном энергетикой, металлургией и коксохимией. На эти направления использования решающее влияние оказывала зольность. Таким образом, нормативы на содержание породы в угольных пластах формировались посредством кондиций по максимальной зольности.

Отдельно выделено экологическое обоснование кондиций. Этот аспект требует проведения оценки существующего состояния компонентов окружающей среды в районе расположения оцениваемого объекта и оценки масштабов, а также учета опасности всех негативных факторов влияния на окружающую среду хозяйственной деятельности при эксплуатации горнодобывающего предприятия.

Результаты оценки позволяют отразить качественный и количественный уровень ущерба, который на данном этапе развития научно-технического прогресса в области угледобычи и принятых природоохранных мероприятиях наносится окружающей среде [2].

При этом принятые параметры эксплуатационных кондиций, безусловно, должны быть дифференцированы по использованию к отдельным учитываемым участкам разрабатываемого месторождения, отличающимся по своим учитываемым характеристикам, условиям залегания и отработки, существенно влияющим на уровень эксплуатационных затрат, что требует использования квалитетического интегрального подхода.

## ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КОНДИЦИЙ

Представленную задачу квалитетической интегральной оценки ТЭО кондиций можно формализовать с учетом следующих составляющих [3]. В исходной постанов-



ке проект шахты характеризуется комплексом показателей – критериев технико-экономического качества:

$$\{J\} = \{J_1, J_2, \dots, J_m\}. \quad (1)$$

Оценивается  $n$  проектов, которые оцениваются с использованием комплекса показателей эффективности  $A = \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$ .

С учетом общеметодологических требований формируется матрица показателей проектов размером  $m \times n$ , где  $m$  – число учитываемых показателей и  $n$  – количество оцениваемых проектов:

$$A = \{J_{ij}\} = \begin{pmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{1j} & J_{1n} \\ J_{21} & J_{22} & J_{2j} & J_{2n} \\ J_{i2} & J_{i2} & J_{ij} & J_{in} \\ J_{m1} & J_{m2} & J_{mi} & J_{mn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $J_{ij}$  – значение показателя  $J_i$  у  $j$ -го проекта (например, если  $J_i$  – рентабельность шахты, то  $J_{i1}$  – величина рентабельности у первого технического проекта).

Для принятия окончательного решения по обобщенной оценке эффективности проектов требуется вычисление для каждого из них оценочного функционала  $K_{интj} = f\{J_{ij}\}$ , который агрегирует множество частных показателей, по количественной величине которого формируются ранги сравниваемых проектов:

$$K_{инт1} \leq K_{инт2} \leq \dots \leq K_{интj} \leq K_{интn}. \quad (3)$$

В данной работе задействуется «метод суммарных среднеквадратичных весовых отклонений» [4]. В качестве исходных данных используются горно-геологические и горнотехнические показатели выполненного проекта, одного-двух утвержденных и реализованных проектов.

Таким образом, вместе с выполненным проектом матрица горно-геологических и горнотехнических показателей будет включать 5 или 4 (без зарубежной шахты) столбца. Достоинством данного метода интегральной количественной оценки проектов шахт является возможность включить в ряд сравниваемых проектов любое число объектов, независимо от некоторого различия в горно-геологических условиях. Главным условием должны быть высокая прогрессивность параметров шахты и экономичность показателей. Для более полного и объективного анализа технико-экономические показатели матрицы  $A$  подразделяются на три комплекса: производственно-технические, экономические показатели и горно-геологические характеристики проекта шахты.

Для большей сравнимости технологических решений и горнотехнических показателей следует брать сравнительно однородные предприятия (уголь близких марок, по мощности пластов – тонкие, средней мощности, по углу залегания – пологие, отдельно наклонные, отдельно крутые, по проектной годовой мощности: 1,5-2,4; 2,4-4,5; 3,0-6,0 млн т и т.д.).

Далее составляется условный «эталон-проект» сравнения с самыми высокими технико-экономическими показателями, причем если в этой области представлены наиболее прогрессивные российские и зарубежные решения, то условный «эталон-проект» приобретает абсолютный характер.

Приведение разнородных показателей к единой безразмерной форме осуществляется с помощью вычисления относительных отклонений, определяемых по формуле:

$$\delta_{ij} = \left| \frac{J_{ij}^{\text{Эт}} - J_{ij}^{\text{Ф}}}{J_i^{\text{max}} - J_i^{\text{min}}} \right|, \quad (4)$$

где  $J_{ij}^{\text{Эт}}$  и  $J_{ij}^{\text{Ф}}$  – соответственно эталонные и фактические показатели эффективности проектов шахт;  $J_i^{\text{max}}$  и  $J_i^{\text{min}}$  – максимальные и минимальные значения показателей эффективности проектов шахт.

Далее матричная модель исходных показателей заменяется матричной моделью относительных отклонений:

$$\{\delta_{ij}\} = \begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{1j} & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{2j} & \delta_{2n} \\ \delta_{i2} & \delta_{i2} & \delta_{ij} & \delta_{in} \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \delta_{mi} & \delta_{mn} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

Теория математической статистики утверждает, что если однородная совокупность величин подчиняется нормальному закону распределения, то в качестве суммирующей функции можно принять степенную среднюю функцию. Доказано, что для 12 из 14 технико-экономических показателей у 30 реальных проектов шахт распределение отклонений подчиняется нормальному закону, а для двух – характерна незначительная асимметричность. Это позволяет принять в качестве суммирующей функции квадратичную среднеарифметическую функцию:

$$K_{интj} = f\{\delta_{ij}\} = \sqrt{\sum (\delta_{ij})^2} \rightarrow \min, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Объективность интегральной оценки связана с учетом неодинаковой народнохозяйственной важности и актуальности отдельных технико-экономических показателей. Для количественной оценки степени важности показателей может быть применен ряд методов, и в частности метод экспертных оценок. Так, были получены надежные значения функций полезности для всех технико-экономических показателей  $\varphi_i$ .

Учет неодинаковой степени народнохозяйственной важности показателей при вычислении интегрального показателя качества проектов наиболее удобен в форме удельных коэффициентов важности. Удельные коэффициенты важности вычисляются из полученных экспертным путем функций полезности по формуле:

$$\varphi_{iyy} = \frac{\varphi_i}{\varphi_{\text{ср}}} = \frac{\varphi_i m}{\sum_{i=1}^m \varphi_i}. \quad (7)$$

Этим самым устраняется зависимость уровня коэффициентов важности от диапазона балльной оценки: от 0 до 1; от 0 до 20 и т.д. Формула для вычисления интегральных показателей качества проектов:

$$K_{интj} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \delta_{ij} \cdot \frac{\varphi_i}{\varphi_{\text{ср}}} \right)^2} = \frac{1}{\varphi_{\text{ср}}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m (\delta_{ij} \times \varphi_i)^2},$$

$$K_{интj} = \frac{m}{\sum_{i=1}^m \varphi_i} \sqrt{\sum_{i=1}^m (\delta_{ij} \times \varphi_i)^2}, \quad (8)$$

где  $\varphi_i$  – функция полезности конкретного  $i$ -го показателя эффективности проекта или важности горно-геологической характеристики,

$$\varphi_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^m \varphi_i}{m}, \quad (9)$$

где  $m$  – среднее значение функции полезности по всем показателям (характеристикам) эффективности проекта или технологичности горно-геологических условий;  $m$  – число дифференцированных показателей эффективности проекта или технологичности горно-геологических условий, принятых для всесторонней оценки;  $\frac{\varphi_i}{\varphi_{\text{cp}}}$  – относительный

вес функции полезности  $i$ -го показателя по сравнению со средней полезностью одного из  $m$  показателей, принятых для всесторонней оценки.

Сформулированные и обоснованные математические приемы вычисления интегральных функционалов условий переведены на алгоритмический язык BASIC, в результате сформировано компьютерное обеспечение. При этом интегральный показатель определяется отдельно по каждому комплексу горно-геологических и горнотехнических показателей  $K_{\text{инт } j}^{\text{гг}}$  и  $K_{\text{инт } j}^{\text{гг}}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С учетом методов теории принятия решений и квалиметрии, теории полезности разработана методика оценки вариантов кондиций, основанная на том, что частные

показатели-критерии оценки приводятся к сопоставимому виду, после чего с учетом важности и полезности, с помощью симметрической среднеквадратичной функции переменных сворачиваются в единый функционал, который называется интегральным.

2. Разработана процедура, позволяющая судить о кондиционной надежности запасов и технологии угледобычи.

3. Разработана процедура оптимизации горнотехнических параметров отработки угольных пластов для заданных горно-геологических условий.

## Список литературы

1. Новоселов С.В., Мельник В.В., Агафонов В.В. Оценка инновационных проектов разработки технологий комплексного извлечения и переработки угля // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 96-102.

2. Твердов А.А., Тибилев Д.П. Проблемы и основные недостатки материалов ТЭО постоянных разведочных кондиций // Глобус. 2015. № 2(36). С. 12-19.

3. Агафонов В.В., Воропаева Е.В., Арефьев В.А. Использование минимаксных критериев для обоснования оптимальных параметров шахт // Современная наука. Актуальные проблемы и пути их решения. 2017. № 2(33). С. 19-22.

4. Снетков В.И. Обоснование методов квалиметрической оценки запасов месторождений твердых полезных ископаемых: Автореф. дис. д-ра техн. наук. М., 2006. 40 с.

## MINERALS RESOURCES

UDC 622.013.3 © V.V. Agafonov, 2019

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 73-75

### Title

**INTEGRATED STUDY OF PERMANENT CONDITIONS OF COAL RESERVES**

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-73-75>

### Author

Agafonov V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

### Authors' Information

**Agafonov V.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of "Geotechnologies of mineral resources extraction" of Mining Institute, tel.: +7 (499) 230-94-66, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru

### Abstract

The procedure of improving the methods of geological and mining justification of permanent conditions on the basis of an expanded composition of indicators of the conditions of occurrence of coal seams, the main quality characteristics of coal, directions of its processing and consumption. Basic accepted for accounting geological and mining indices for justification of parameters take the numerical values for each of the options conditions, therefore, the task of their justification takes qualitative in nature

### Keywords

Coal mine, Condition, Loss, Mining and geological characteristics, Mining parameters, Integrated assessment, Qualimetry.

### References

1. Novoselov S.V., Melnik V.V. & Agafonov V.V. Ocenka innovacionnyh proektov razrabotki tekhnologij kompleksnogo izvlecheniya i pererabotki uglja [Evaluation of innovative projects of development of technologies of complex extraction and processing of coal]. *Science-intensive technologies of development and use of mineral resources: scientific journal*, 2017, No. 3, pp. 96-102.

2. Tverdiv A.A., Tibilov D.P. Problemy i osnovnye nedostatki materialov TEHO postoyannyh razvedochnyh kondicij [Problems and major shortcomings of the materials of the feasibility study of permanent exploration conditions]. *Globus - Globe*, 2015, No. 2(36), pp. 12-19.

3. Agafonov V.V., Voropaeva E.V. & Arefiev V.A. Ispol'zovanie minimaksnih kriteriev dlya obosnovaniya optimal'nyh parametrov shaht [Use of minimax criteria for substantiation of optimal parameters of mines]. *Collection of scientific works "Modern science. Actual problems and ways of their solution"*. Lipetsk, "Maximal information technologies" LLC, 2017, No. 2(33), pp. 19-22.

4. Snetkov V.I. *Obosnovanie metodov kvalimetricheskoj ocenki zapasov mestorozhdenij tverdyh poleznyh iskopaemyh*. Diss. dokt. techn. nauk [Justification of methods of qualimetric assessment of reserves of solid minerals. Dr. eng. sci. diss.]. Moscow, 2006, 40 p.

# Адаптивный метод вибрационно-сейсмического воздействия на повышение эффективности подземного выщелачивания металлов

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-76-80>

## АЛИЕВ Самат Бикитаевич

Доктор техн. наук, профессор,  
старший научный сотрудник ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: alsamat@gmail.com

## ЗАХАРОВ Валерий Николаевич

Доктор техн. наук,  
профессор, член-корр. РАН,  
ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: dir\_ipkonran@mail.ru

## КЕНЖИН Болат Маулетович

Доктор техн. наук,  
профессор  
100019, г. Караганда, Республика Казахстан,  
e-mail: kbmzk@mail.ru

## СМИРНОВ Юрий Михайлович

Доктор техн. наук, профессор,  
заведующий кафедрой физики  
Карагандинского государственного  
технического университета,  
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,  
e-mail: smirnov\_y\_m@mail.ru

Статья посвящена повышению эффективности процесса выщелачивания полезных ископаемых. При этом рекомендован адаптивный метод воздействия на продуктивный пласт полезного ископаемого, разработана принципиальная схема реализации метода. Для решения задач разработана математическая модель исполнительного органа, воздействующего на продуктивный пласт, в основе которой лежат дифференциальные уравнения движения основного исполнительного элемента, органа управления и объемного гидравлического привода, а также уравнения, связывающие их параметры. Сформулированы две основные задачи, решаемые при исследовании процесса взаимодействия исполнительного элемента с породным массивом.

**Ключевые слова:** адаптивный метод воздействия, продуктивный пласт, схема реализации, математическая модель, исполнительный элемент, орган управления, объемный гидравлический привод, основные задачи, процесс взаимодействия.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем на современном этапе, стоящих перед горнодобывающей промышленностью, является извлечение ценных компонентов благородных и цветных металлов из проницаемых водоносных отложений методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ). При этом все функции вскрышных, подготовительных и очистных выработок выполняют технологические закачные и откачные скважины. По ним в породносный слой нагнетается раствор выщелачивающего реагента, а на поверхность поднимается продуктивный раствор, транспортирующийся в последующем на переработку. Производительность такого метода напрямую зависит от фильтрационной способности продуктивных горизонтов [1].

Как правило, пласты сложены песчано-глинистыми отложениями, в которых слоистая глинистость достигает 30%, что приводит к значительному снижению естественной проницаемости. Это объясняется тем, что получаемая высокодисперсная структура парового пространства препятствует процессу ее капиллярного замещения выщелачивающим раствором.

## АДАПТИВНЫЙ МЕТОД ВИБРАЦИОННО-СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В настоящее время на полигонах по выщелачиванию металлов для увеличения производительности технологических скважин широко применяются различные локальные способы воздействия на призабойные участки пласта: дренирование, пневмоимпульсное и гидрокавитационное воздействия, химическая обработка и т.д. Однако такие скважинные методы имеют ограниченный радиус воздействия, и их применение экономически целесообразно только для восстановления естественной проницаемости при освоении эксплуатационных скважин или в случае снижения проницаемости ниже естественной в процессе эксплуатации месторождений. Поэтому применение таких методов для увеличения проницаемости прифилтровых зон не приводит к существенному росту дебита скважин. Предполагается, что существенное повышение технологических показателей СПВ может быть достигнуто на основе применения методов воздействия на продуктивный пласт, которые способствуют увеличению гидродинамической подвижности связанной волны и проницаемости пласта в пределах всей площади обрабатываемого блока [2].



Отмеченная проблема может быть решена при механическом воздействии на пласт, способствующем значительному раскрытию трещин и повышению поверхностного натяжения раствора, способствующего активизации степени высасывания связанной воды.

Одним из таких методов является метод сейсмоволнового вибровоздействия на рудовмещающие пласты [2]. В работе теоретически и экспериментально обоснована эффективность метода и получены рекомендации для большей его эффективности.

При этом выдвигается гипотеза о том, что повышение металлоотдачи эксплуатационных блоков СПВ может быть достигнуто при возмущении продуктивных пластов на частотах вибрационно-сейсмического воздействия, близких к частоте пластового резонанса, за счет:

- комплексной декольматации и регионального улучшения коллекторско-фильтрационных свойств продуктивного пласта на всем протяжении фильтрационного потока от закачных до откачных скважин;
- повышения гидродинамической подвижности связанной (пленочной) воды в заглинизированных рудовмещающих препластах и, как следствие, увеличения их фазовой проницаемости выщелачивающих растворов;
- существенного превышения фильтрационной составляющей СПВ над диффузионной.

Однако используемый в работе комплекс не может реализовать эти рекомендации по следующим причинам.

Основным его исполнительным органом является дебалансный вибрационный источник, у которого, как известно, величина нелинейной силы зависит от частоты:

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot h,$$

где:  $m$  – масса дебаланса,  $\omega$  – угловая скорость вращения,  $h$  – эксцентриситет.

Анализ этого выражения показывает, что при изменении скорости вращения дебаланса, изменяется в квадратичной зависимости сила воздействия на продуктивный пласт. Для сохранения неизменной силы необходимо автоматически изменять эксцентриситет. В силу этого вибрационный источник не имеет возможности плавного и независимого изменения величины амплитуды силы, частоты колебаний и скважности, а также оперативно изменять форму импульса, что является одним из определяющих при воздействии на пласт.

Несомненно, что степень проявления в продуктивном пласте фильтрационного эффекта будет обусловлена выбором оптимальных параметров вибрационно-сейсмического воздействия. Вследствие этого основная задача, подлежащая решению при разработке метода, состоит в обосновании параметров воздействия на основе анализа механизма фильтрационной вибросензитивности гидрогенного продуктивного пласта.

Многочисленными исследованиями авторов установлено, что отмеченным требованиям отвечает гидравлический вибрационно-сейсмический модуль для адаптивного воздействия на углепородный массив при проведении шахтных геофизических исследований [3]. Это обусловлено тем, что объемный гидравлический привод, являющийся источником энергии модуля, позволяет осуществлять независимую регулировку давления и производительности рабочей жидкости в каждый момент ра-

бочего процесса. Выходные же показатели модуля являются производными от этих величин.

Вышеприведенное позволяет сформулировать задачи комплексных исследований по созданию и внедрению в добывающие отрасли адаптивного метода воздействия на породонесный слой. При этом под адаптацией понимается возможность изменения амплитуды силы, частоты и формы передаваемого в пласт механического импульса при изменяющихся физико-механических и физико-химических свойствах, а также условиях залегания.

Для этого необходимо решить следующие основные задачи:

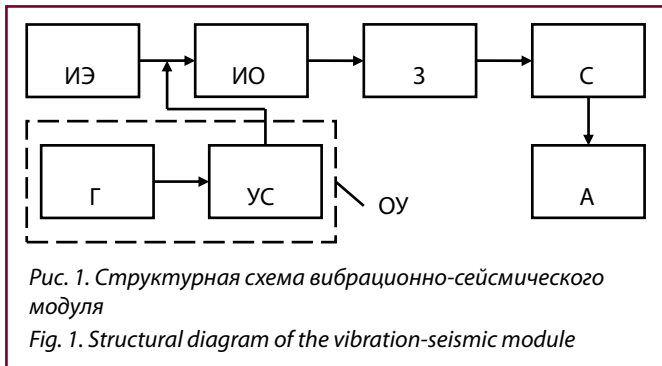
- синтезировать структурную и принципиальную схему вибрационно-сейсмического метода воздействия на породонесный слой;
- обосновать параметры вибрационно-сейсмического воздействия на породонесный слой;
- установить основные закономерности распространения сейсмических волн в массиве и при достижении ими породонесного слоя;
- оптимизировать параметры исполнительного органа для воздействия на массив при различных технико-эксплуатационных условиях;
- произвести математическое моделирование и компьютерный эксперимент по установлению основных закономерностей протекания физических процессов распространения волн в массиве;
- разработать методические основы проведения работ по повышению эффективности подземного выщелачивания металлов.

Основным средством реализации этого метода является гидравлический вибрационно-сейсмический модуль [4]. В качестве основного исполнительного элемента используется гидравлическое вибрационное устройство, получающее энергию от объемного гидравлического привода. Схема модуля представлена на рис. 1.

Исполнительный орган сейсмоисточника (ИО) получает энергию от источника энергии (ИЭ) и обрабатывает режимы движения, задаваемые органом управления (ОУ). Режимы задаются генератором импульсов (Г) и усилителем сигналов (УС). Отработанный сигнал ИО передается на забой пласта (З) в виде различных по форме и чередованию сейсмических сигналов. Отраженный импульс регистрируется сейсмоприемником (С) и передается на анализатор сигналов (А).

Описанный метод предполагает определенные требования, предъявляемые к используемому оборудованию. Основные из них:

- источник энергии должен соответствовать требованиям техники безопасности и адаптирован к условиям горнодобывающего производства; наиболее приемлемым в настоящее время является объемный гидравлический;
- исполнительный орган: для преобразования гидравлической энергии в энергию сейсмических импульсов. При их значительных амплитудах наиболее приемлемым является гидроцилиндр поступательного действия;
- генератор импульсов должен обеспечить плавное и независимое друг от друга изменение амплитуды импульсов, их длительности и скважности при различных фор-



мах. В настоящее время наиболее эффективными являются электронные генераторы, выдающие прямоугольную, синусоидальную и пилообразную форму при значительном интервале частот: 0-100 Гц;

- усилитель сигналов предназначается для обеспечения необходимого управляющего воздействия на исполнительный орган и для отработки им сейсмических сигналов заданной формы. При геофизических исследованиях в настоящее время хорошо зарекомендовали себя электронно-гидравлические усилители мощности типа УЭГ;
- орган управления, совмещающий и объединяющий параметры генератора и усилителя импульсов, предназначен для генерирования и передачи с минимальными искажениями импульсов требуемой формы, частоты и скважности при минимальном влиянии на КПД сейсмоисточника в целом;
- анализатор предназначен для преобразования полученной приемником информации от массива, сравнения ее с эталонными характеристиками массива. Это требует разработки соответствующих компьютерных программ, базирующихся на результатах сейсмологических исследований.

Схема для реализации предполагаемого метода предполагает, что в качестве источника низкочастотных колебаний должен использоваться гидравлический вибрацион-

ный модуль, включающий базовую машину, исполнительный элемент, электронно-гидравлический блок управления и электронный блок мониторинга технологического процесса. При этом электронный блок мониторинга технологического процесса получает сигналы от датчика расхода и концентрации металла, установленного на выходе из откачивающей скважины, преобразует их с помощью регистратора, дешифратора и корректора, передает их в электронно-гидравлический блок управления, где электронные сигналы преобразуются в гидравлические и передаются в исполнительный элемент.

Схема осуществления метода приведена на рис. 2, 3.

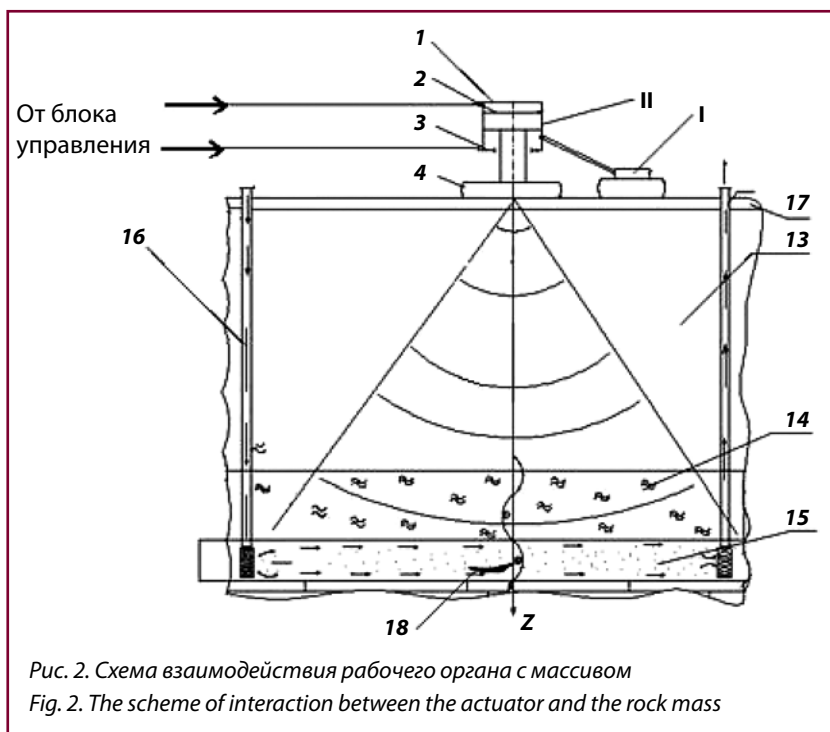
Она включает базовую машину I (любая машина или агрегат, оснащенный объемным гидравлическим приводом), силовой блок II, электронно-гидравлический блок управления III и электронный блок мониторинга IV.

Силовой блок смонтирован на стреле базовой машины (см. рис. 2), имеет силовой гидравлический цилиндр 1 с гидравлическими рабочими камерами прямого 2 и обратного 3 хода. На штоке гидроцилиндра установлена вибрационная плита 4. Блок предназначен для генерирования и передачи массиву низкочастотных механических колебаний с изменяющейся амплитудой, частотой, скважностью и формой импульса.

Электрогидравлический блок управления также располагается на базовой машине, на рабочем месте оператора. Он включает ручной двухпозиционный гидравлический распределитель 5, питающийся от объемного гидравлического привода, и электронно-гидравлический распределитель 6, получающий управляющие сигналы от электронного блока мониторинга. Блок предназначен для перераспределения потока жидкости между рабочими камерами силового блока и придания штоку совместно с вибрационной плитой, контактирующей с объектом воздействия, механических колебаний.

Электронный блок мониторинга IV (см. рис. 3) состоит из датчика расхода и концентрации металла 7, установленного на выходе из откачивающей скважины, регистратора 8, дешифратора показаний 9 и корректора 10, сигналы от которого поступают в генератор импульсов 11 и далее в электронный усилитель сигналов 12. От усилителя сигналы поступают на электрический вход электронно-гидравлического распределителя блока управления.

В соответствии с вышеизложенным схема работает следующим образом. В исходном состоянии ручной гидравлический распределитель 5 находится в левом крайнем положении (по фигуре), и рабочая жидкость от гидропривода базовой машины к виброисточнику не поступает. Электронно-гидравлический распределитель 6 при этом занимает крайнее левое положение. При включении ручного гидравлического распределителя 5 в крайнее правое положение жидкость от гидропривода через распределители 5 и 6 поступает в поршневую камеру 2 прямого хода виброисточника, из штоковой камеры 3 жидкость удаляется в сливной трубопровод гидросисте-



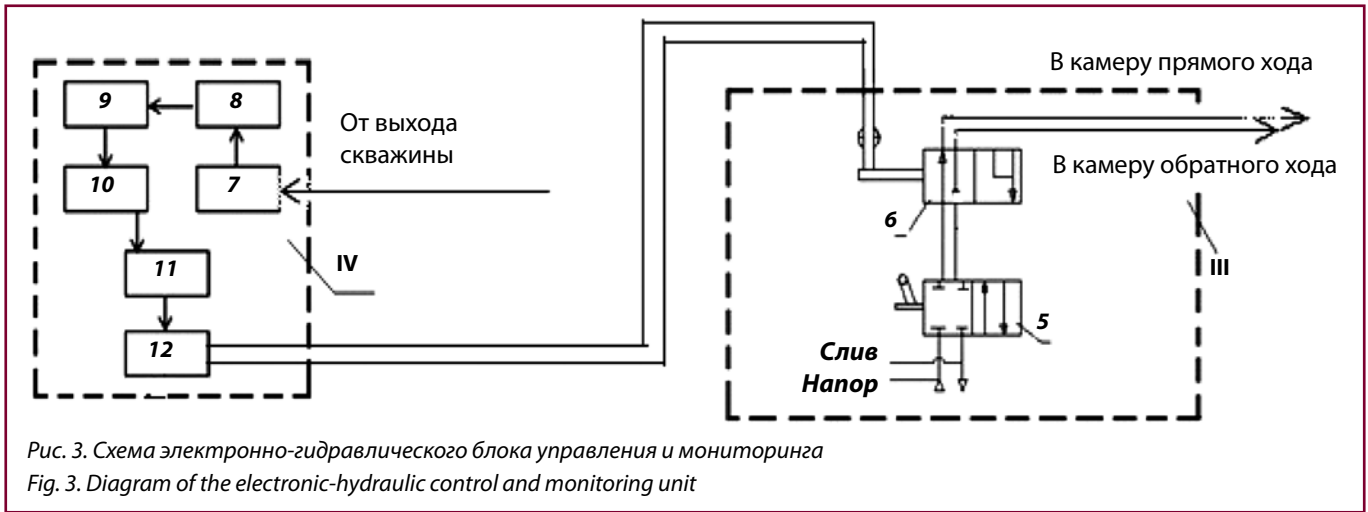


Рис. 3. Схема электронно-гидравлического блока управления и мониторинга  
 Fig. 3. Diagram of the electronic-hydraulic control and monitoring unit

мы. Таким образом, на штоке и вибрационной плите 4 генерируется нагрузка и передается на объект воздействия – обрабатываемый массив. При включении генератора импульсов 11 и электронного усилителя сигналов 12 сигналы заданной частоты, формы и скважности поступают в электронно-гидравлический распределитель 6, который попеременно в соответствии с заданной программой производит перераспределение потока рабочей жидкости между рабочими камерами силового блока. При переключении электронно-гидравлического распределителя 6 в крайнее правое положение поршневая камера 2 сообщается со сливной магистралью гидропривода, генерируемая нагрузка с вибрационной плиты снимается, как и с обрабатываемого массива. Согласно этому на вибрационной плите 4 генерируются механические колебания заданной частоты, амплитуды, формы и скважности и передаются на обрабатываемый массив. Проникая через покровные осадочные отложения 13 и водоупорную кровлю продуктивного пласта 14, вибрационный сигнал попадает непосредственно в продуктивный пласт 15 и воздействует на выщелачивающий реагент, закачиваемый в пласт через нагнетающую скважину 16. Под действием энергии полученных колебаний возрастает эффективность процесса выщелачивания, поскольку в пласте появляются дополнительные поры и обнажаются дополнительные поверхности контакта реагента с продуктивным пластом. В дальнейшем полученный продуктивный раствор выводится через откачивающую скважину 17, на выходе которой установлен датчик расхода и концентрации выщелачиваемого металла 7.

При изменении концентрации металла и расхода выщелачивающего реагента в меньшую сторону из откачивающей скважины команда от датчика 7 подается на регистратор 8, в котором производится фиксирование параметров, далее сигнал обрабатывается в дешифраторе 9 и корректируется в корректоре 10.

При номинальных показателях концентрации и расхода коррекция не производится, и параметры колебательно-го процесса остаются неизменными от цикла к циклу. При отклонении показателей корректор дает команду на генератор сигналов, производится изменение частоты, скважности и формы импульсов, которое передается на усилитель сигналов и далее на электронно-гидравлический

распределитель 6. Корректировка продолжается до достижения номинальных значений показателей концентрации и расхода.

Для апробации принятых решений составлена имитационная модель процесса взаимодействия гидравлического исполнительного органа с объектом воздействия, в основе которой лежат дифференциальные уравнения движения рабочего органа [5]:

$$M\ddot{X} + (\mu_c + \mu_H) \dot{X} + (C_H + C_c) X = P_o - R_o - R_c + C_H X_o + C_H V_o t; \quad (1)$$

$$M\ddot{X} + \mu_H \dot{X} + C_c X = R_o (\varepsilon - 1) - R_c \quad (2)$$

и органа управления:

$$F \frac{dy}{dt} = \mu k_f \Delta \sqrt{\frac{g}{\gamma} (p_o - p_{cl} - 2p_c - \Delta p \operatorname{sgn} \Delta)}; \quad (3)$$

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + \Phi \left( \frac{dy}{dt}, y \right) + R_o \operatorname{sgn} \frac{dy}{dt} = F \Delta p, \quad (4)$$

где:  $F$  – эффективная площадь поршня;  $\mu$  – коэффициент расхода через рабочее окно золотника;  $k_f$  – коэффициент пропорциональности при определении площади открытия рабочего окна золотника;  $\Delta$  – открытие рабочего окна золотника;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\gamma$  – удельный вес рабочей жидкости;  $p_o$  – давление подводимого потока рабочей жидкости;  $p_{cl}$  – давление на сливе;  $x$  – перемещение золотника;  $y$  – перемещение поршня.

Модель также учитывает физико-механические показатели массива [6]:

$$U_z = U_z^o \left( \frac{R}{r_o} - \frac{z}{z_o} \right) \left[ 1 + (1 - \gamma^2) \right]; \quad (5)$$

$$W = \frac{1}{2} F_{ex}^2 \left[ R_H^2 + (fM + x_H)^2 \right]^{-1} \cdot R_H; \quad (6)$$

$$R_H = 7(1 - \gamma^2) \rho \vartheta_s r_o^2, \quad (7)$$

где:  $U_z(z)$  – смещение частиц массива;  $r, \theta, \varphi$  – сферическая система координат;  $r_o$  – радиус контакта;  $\gamma = \frac{\rho_p}{\rho_s}$ ;  $U_z^o$  – начальное смещение (от статики);  $F_{ex}$  – амплитуда силы;  $\rho$  – плотность массива;  $f$  – частота воздействия.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании модели для заданных исходных показателей могут быть решены две основные задачи. Первая: по заданным эксплуатационным показателям определяются параметры исполнительного органа, органа управления и контроля. Вторая: по заданным параметрам исполнительного органа устанавливается его эффективность для конкретных условий применения.

## Список литературы

1. Макарюк Н.В. Применение метода сейсмического вибровоздействия для повышения фильтрационных и технологических параметров скважинного подземного выщелачивания металлов // ФТПРПИ. 2009. № 6. С. 86-99.
2. Макарюк Н.В., Клишин В.И., Золотых С.С. Исследование влияния виброчувствительности горных пород на метаотдачу угольных пластов при вибросейсмическом воз-

действии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 5.

3. Кенжин Б.М., Смирнов Ю.М. Гидравлический вибрационно-сейсмический модуль // Горный журнал Казахстана. 2009. № 5. С. 20–22.

4. Кенжин Б.М., Смирнов Ю.М. Исследование имитационной модели взаимодействия вибрационно-сейсмического модуля с углепородным массивом // Сборник научных трудов «Проблемы горного дела». 2009. № 17. С. 58-66.

5. Некоторые результаты имитационного моделирования взаимодействия вибрационно-сейсмического модуля с углепородным массивом / Б.М. Кенжин, С.Б. Алиев, Ю.М. Смирнов и др. // Уголь. 2012. № 6. С. 84-87. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/062012.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

6. Saeger E., Bohlen T. Finite-difference modeling of viscoelastic and anisotropic wave propagation using the rotated staggered grid // Geophysics. 2004. Vol. 69. N 2. Pp. 583-591.

UDC 622.234.42:669 © S.B. Aliev, V.N. Zakharov, B.M. Kenzhin, Yu.M. Smirnov, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 76-80

## MINERALS RESOURCES

## Title

## ADAPTIVE METHOD OF VIBRATION AND SEISMIC EFFECT ON IMPROVING THE EFFICIENCY OF IN-SITU LEACHING OF METALS

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-76-80>

## Authors

Aliev S.B.<sup>1</sup>, Zakharov V.N.<sup>1</sup>, Kenzhin B.M.<sup>2</sup>, Smirnov Yu.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, 111020, Russian Federation

<sup>2</sup> Karaganda, 100019, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup> Karaganda State Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan

## Authors' Information

**Aliev S.B.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Senior Researcher, e-mail: [alsamat@gmail.com](mailto:alsamat@gmail.com)

**Zakharov V.N.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: [dir\\_ipk-konran@mail.ru](mailto:dir_ipk-konran@mail.ru)

**Kenzhin B.M.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: [kbmzk@mail.ru](mailto:kbmzk@mail.ru)

**Smirnov Yu.M.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of department of physics, e-mail: [smirnov\\_y\\_m@mail.ru](mailto:smirnov_y_m@mail.ru)

## Abstract

The paper is dedicated to improving the efficiency of the minerals leaching process. An adaptive exposure method for the mineral productive stratum is recommended, and a conceptual scheme for the implementation of the method is developed. To solve the problems, a mathematical model of the actuator effecting the productive stratum has been developed, which is based on differential equations of main actuator, controller and volumetric hydraulic drive motion, as well as the equations linking their parameters. Two main tasks are formulated to be solved in the study of interaction process between the actuator and the rock mass.

Figures:

Fig. 1. Structural diagram of the vibration-seismic module

Fig. 2. The scheme of interaction between the actuator and the rock mass

Fig. 3. Diagram of the electronic-hydraulic control and monitoring unit

## Keywords

Adaptive exposure method, Productive stratum, Implementation scheme, Mathematical model, Actuator, Controller, Volumetric hydraulic drive, Main tasks, Interaction process.

## References

1. Makaryuk N.V. Primenenie metoda seysmovolnovogo vibrovostoystviya dlya povysheniya filtratsionnyh i tekhnologicheskikh parametrov skvazhinogo podzemnogo vyshchelachivaniya metallov [Application of the seismic wave vibration method to increase the filtration and process parameters of downhole leaching of metals]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh – Journal of Mining Science*, 2009, No. 6, pp. 86-99.
2. Makaryuk N.V., Klishin V.I. & Zolotykh S.S. Issledovanie vliyaniya vibrochuvstvitelnosti gornyh porod na metanooodachu ugolnykh plastov pri vibroseismicheskom vozdeystvii [Investigation of the influence of vibration sensitivity of rocks on the methane recovery of coal seams during vibroseismic exposure]. *Gornyi Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' – Mining Information and Analytical Bulletin*, 2002, No. 5.
3. Kenzhin B.M. & Smirnov Yu.M. Gidravlicheskiy vibratsionno-seismicheskiy modul [Hydraulic vibration seismic module]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana – Mining Journal of Kazakhstan*, 2009, No. 5, pp. 20–22.
4. Kenzhin B.M. & Smirnov Yu.M. Issledovanie imitatsionnoy modeli vzaimodeystviya vibratsionno-seismicheskogo modulya s ugleporodnym massivom [Investigation of a simulation model of interaction of a vibration-seismic module with a coal-bearing rock mass]. *Sbornik nauchnykh trudov "Problemy gornogo dela" – Collection of scientific papers "Problems of mining"*, 2009, No. 17, pp. 58-66.
5. Kenzhin B.M., Aliev S.B., Smirnov Yu.M., Ibatov M.K. & Root E.G. Nekotorye rezul'taty imitatsionnogo modelirovaniya vzaimodeystviya vibratsionno-seismicheskogo modulya s ugleporodnym massivom [Some results of the simulation study of interaction between vibration and seismic module and coal rock massif]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2012, No. 6, pp. 84-87. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/062012.pdf> (accessed 15.01.2019).
6. Saeger E. & Bohlen T. Finite-difference modeling of viscoelastic and anisotropic wave propagation using the rotated staggered grid. *Geophysics*, 2004, Vol. 69, No. 2, pp. 583-591.

# Результаты исследования лесной рекультивации с посадкой ели сибирской на породных отвалах угольного разреза «Бородинский»

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-81-84>

*В статье представлены результаты многолетнего экологического мониторинга состояния ели сибирской, высаженной на породных отвалах угольного разреза «Бородинский». Установлена высота елей в возрасте 11 лет, а также исследовано влияние основных факторов на этот показатель. Представлены зависимости высоты деревьев от состава горных пород, уложенных в поверхностном слое породного отвала.*

**Ключевые слова:** угольный разрез «Бородинский», породные отвалы, восстановление нарушенных земель, лесная рекультивация, экологические показатели, техногенная продуктивная смесь, лесные экосистемы.

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ общемировых тенденций в развитии энергетики показывает, что объем добычи энергетических углей в ближайшие годы будет увеличиваться [1]. Аналогичная динамика просматривается в деятельности угольных разрезов, работающих на месторождениях Канско-Ачинского бассейна [2]. Как известно, угольные разрезы восстанавливают экобаланс путем проведения работ по рекультивации нарушенных земель. Решению прикладных задач в области рекультивации территорий горнопромышленных ландшафтов, созданных при разработке угольных месторождений открытым способом, посвящены работы российских и зарубежных исследователей [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Обзор этих источников и других работ подтвердил актуальность и необходимость наших исследований, поскольку в первых отсутствуют исследования результатов лесной рекультивации на отвалах угольных разрезов Канско-Ачинского бассейна.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В ходе полевых экспедиций по исследованию состояния искусственных лесопосадок с использованием саженцев ели сибирской (*Picea obovata*), проведенных в период с 2015 по 2018 г. на территории восточного сектора внутренних породных отвалов угольного разреза «Бородинский» коллективом научно-практической школы, созданной И.В. Зеньковым, получены следующие результаты.

В этом секторе внутренних отвалов в апреле-мае 2008 г. выполнены работы по горнотехнической рекультивации с использованием мощного бульдозера типа ДЭТ-250 (Т-330), в результате которой проведено выколачивание откосов отвалов железнодорожной вскрыши, отсыпанных драглайном ЭШ-10/70 в более ранних периодах. На втором – биологическом этапе была произведена высадка

## ЗЕНЬКОВ Игорь Владимирович

Доктор техн. наук, Заслуженный эколог РФ, профессор Сибирского федерального университета, профессор ФГБУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва», 660049, г. Красноярск, Россия, e-mail: zenkoviv@mail.ru

## МОРИН Андрей Степанович

Доктор техн. наук, заведующий кафедрой ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, г. Красноярск, Россия

## РАГОЗИНА Марина Алексеевна

Канд. экон. наук, доцент ФГБУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва», доцент ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660049, г. Красноярск, Россия

## АНИЩЕНКО Юлия Анатольевна

Канд. экон. наук, заведующая кафедрой ФГБУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва», 660049, г. Красноярск, Россия

## ЖУКОВА Валентина Владимировна

Магистрант ФГБУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва», инженер Института вычислительных технологий СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия



Рис. 1. Фрагмент космоснимка с нанесением границ исследуемого участка (июль, 2017 г.)

саженцев сосны и ели. В ходе визуального осмотра было отмечено весьма позитивное состояние сосен, чего нельзя было сказать про состояние елей. Контуры территории с посадками елей площадью 5,6 га показаны линией желтого цвета на рис. 1.

На исследуемой территории выделены участки, поверхностный слой которых мощностью 1-2 м сложен широким спектром горных пород: алевролитами серого цвета и техногенной смесью горных пород четвертичного возраста – суглинков, глин, супесей, песков, остатков гумусодержащих почвенных слоев с небольшим объемом алевролитов. На этих участках в 2018 г. высота деревьев, использованных в рекультивации, – ели сибирской, существенно различается.

В основном на этой территории откосы отвалов ориентированы на север и юг. Также здесь имеются локальные участки с географической ориентацией на запад и восток.



Рис. 2. Изменение высоты ели сибирской в зависимости от состава горных пород в поверхностном слое породного отвала

Вся генеральная совокупность исследуемых деревьев, включающая 641 ель, была условно поделена на две части. В основу деления положен состав горных пород, уложенных в поверхностный слой на отвале. Каждая из двух частей совокупности представлена в виде самостоятельного вариационного ряда. Совокупности в каждом ряду были разбиты дополнительно на группы, значения признаков в которых были объединены в интервалы. В каждом ряду определены значения моды, модального интервала, а также установлен средний уровень ряда.

На участках отвала, сложенных алевролитами, обследовано 367 елей. Минимальное и максимальное значения в этом вариационном ряду находятся на уровне соответственно 26 и

78 см (рис. 2). Значение моды в этом ряду смещено влево от центра распределения и находится в диапазоне 20-40 см.

На участках отвала, сложенных техногенной смесью из горных пород четвертичного возраста, обследовано 274 ели. В этом ряду выделено четыре группы. Минимальное и максимальное значения в этом вариационном ряду находятся на уровне 84 и 157 см (см. рис. 2). Значение моды в этом ряду смещено вправо от центра распределения и находится в диапазоне 121-140 см. Ели, входящие в группу с диапазоном от 81 до 100 см, произрастают на южном откосе отвала, а входящие в группу с диапазоном от 141 до 160 см в 88% случаев – на откосах, обращенных на север. Остальные ели равномерно распределены в двух группах с диапазоном от 101 до 140 см и произрастают на откосах, обращенных на запад и восток. В этом ряду выделено три группы. Как видно, в совокупности преобладают деревья небольшой высоты. Они имеют

все признаки угнетенного состояния. В этих условиях необходимо было дать ответ на вопрос – какие факторы влияют на замедление роста деревьев, входящих в группу с минимальным диапазоном высоты, достигнутой за довольно продолжительный период – 11 лет?

Отметим, что на территории прилегающих природных ландшафтов высота деревьев за этот период достигает высоты 2,5 м и более.

Ели, входящие в группу с диапазоном от 20 до 40 см, произрастают на участках, отсыпанных грубообломочными алевролитами. Достоверно установлено, что корневая система развивается довольно скудно ввиду наличия крепких горных пород размером 70×70 см и более. Причем центральная часть этих кусков алевролитов находится по оси ствола деревьев либо с небольшим смещением от нее. Отметим, что на отвалах обнаружены полностью высохшие ели, корень которых не мог раз-



виться ввиду их высадки на крупные обломки алевролитов. Ели, входящие в группу с диапазоном от 41 до 60 см, произрастают на микроучастках, сложенных обломочными горными породами размером 30×30 см и менее. На таких участках существуют полости, находящиеся в промежутках между крупными кусками, забитые мелкофракционными горными породами, что облегчает формирование и развитие корневой системы деревьев. Ели, входящие в группу с диапазоном от 61 до 80 см, произрастают на микроучастках, сложенных обломочными горными породами размером 10×10 см и менее. Наглядным примером служит малая выборка из пяти деревьев, представленная на рис. 3.

Дерево, находящееся в центре, достигло в 2018 г. высоты 78 см, а крайнее правое – всего лишь 29 см. Такая разница объясняется фракционным составом горных пород, на которых эти деревья развиваются.

После сопоставления полученных замеров высоты елей на участках породных отвалов был сделан вывод о том, что основным фактором, оказывающим решающее влияние на этот показатель, является качественный состав горных пород в месте произрастания группы деревьев. Важнейшим фактором на участках, сложенных алевролитами, является фракционный состав горных пород в месте произрастания отдельно взятого дерева. Действие этого фактора на высоту деревьев практически не проявляется на участках, сложенных техногенной смесью из горных пород четвертичного возраста.

Статистическая обработка вариационных рядов указала на наличие тесной и весьма тесной связи между высотой деревьев и качественным и количественным составом горных пород в поверхностном слое отвала. Аналогичный вывод сделан о значимости географической ориентации откосов отвалов, на которых производилась высадка саженцев ели сибирской.

Таким образом, в ходе решения экологических задач на поверхности породных отвалов угольного разреза «Бородинский» в центральных районах Красноярского края были получены новые знания о формировании на территории горнопромышленного ландшафта ели сибирской, использованной в лесной рекультивации при восстановлении экобаланса.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, на основе анализа результатов многолетних полевых исследований выявлены важнейшие факторы техногенного характера, оказывающие существенное влияние на развитие ели сибирской, саженцы которой использованы в ходе проведения биологического этапа рекультивации на породных отвалах, отсыпанных при работе угольного разреза «Бородинский». Выявленные закономерности должны учитываться при формировании технического задания на проектирование работ по рекультивации нарушенных земель при разработке угольных месторожде-



Рис. 3. Фрагмент лесной рекультивации с использованием ели сибирской на породном отвале угольного разреза «Бородинский», август 2018 г.

ний открытым способом со схожими горно-геологическим условиями, и в частности, территориально находящихся в границах Канско-Ачинского бассейна.

### Список литературы

1. Яновский А.Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России // Уголь. 2017. № 8. С. 10-14. doi: 10.18796/0041-5790-2017-8-10-14. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
2. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3. С. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
3. Сафронова О.С., Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Результаты исследования естественного восстановления растительного покрова на вскрышных отвалах, возникших в 1990-е годы в Республике Хакасия // Уголь. 2018. № 7. С. 68-77. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/072018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
4. Сафронова О.С., Евсеева И.Н. Мониторинг техногенного воздействия разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» на территорию санитарно-защитной зоны // Уголь. 2018, № 9, С. 95-98. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/092018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
5. Харионовский А.А., Франк Е.Я. Обоснование горнотехнической рекультивации в целях лесовосстановления на Крутокачинском щебеночном карьере // Уголь. 2018. № 4. С. 75-77. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
6. Харионовский А.А., Франк Е.Я. Обоснование горнотехнической рекультивации по созданию культурного ландшафта в карьере по разработке глиежей // Уголь. 2018. № 2. С. 100-102. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/022018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).
7. Андроханов В.А., Берлякова О.Г. Состояние лесных культур и почвенного покрова на рекультивированном

отвале угольного разреза // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 22-31.

8. Щадов И.М., Франк Е.Я. О результатах и перспективах использования ресурсов ДЗЗ в решении прикладных задач угледобывающей отрасли в формате мировой экономики // Уголь. 2018. № 7. С. 58-61. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/072018.pdf> (дата обращения: 15.01.2019).

9. Eßer G., Janz S., Walther H. Promoting biodiversity in recultivating the rhenish lignite-mining area // World of Mining - Surface and Underground. 2017. Vol. 69 (6). Pp. 327–334.

10. Eyll-Vetter M. Significance of geotechnical boundary conditions in planning and designing residual lakes in the

Rhenish lignite mining area illustrated by the example of the Inden opencast mine // World of Mining - Surface and Underground. 2015. Vol. 67(6). Pp. 371–378.

11. Soil moisture dynamics and restoration of self-sustaining native vegetation ecosystem on an open-cut coal mine / M.R. Ngugil, V.J. Neldner, D. Doley, B. Kusy, D. Moore, C. Richter // Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(5). Pp. 615–624.

12. Linkage between root systems of three pioneer plant species and soil nitrogen during early reclamation of a mine site in Lusatia, Germany / K. Boldt-Burisch, M.A. Naeth, B. Schneider, R.F. Hüttel // Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(4). Pp. 357–365.

## ECOLOGY

UDC 622.85:622.332.012.3(571.51) © I.V. Zenkov, A.S. Morin, M.A. Ragozina, Yu.A. Anishenko, V.V. Zhukova, 2019  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2019, № 2, pp. 81-84

### Title

#### THE RESULTS OF THE STUDY OF FOREST RECULTIVATION WITH THE PLANTING OF SIBERIAN SPRUCE ON THE ROCK DUMPS OF THE "BORODINSKIY" OPEN-PIT MINE

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-2-81-84>

### Author

Zenkov I.V.<sup>1,2</sup>, Morin A.S.<sup>1</sup>, Ragozina M.A.<sup>1,2</sup>, Anishenko Yu.A.<sup>2</sup>, Zhukova V.V.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

<sup>2</sup> M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, the Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education (FSFEI HPE), Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute computational technology of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

### Authors' Information

**Zenkov I.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Merited Ecologist of the Russian Federation, Professor, e-mail: [zenkoviv@mail.ru](mailto:zenkoviv@mail.ru)

**Morin A.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Head of department

**Ragozina M.A.**, PhD (Economic), Associate Professor

**Anishenko Yu.A.**, PhD (Economic), Head of department

**Zhukova V.V.**, Master, Engineer

### Abstract

The paper presents the results of long-term environmental monitoring of the condition of Siberian spruce planted on rock dumps of the Borodinsky open-pit coal mine. The height of 11-year old spruce trees was determined, and key factors influencing this indicator were investigated. Relationships between the height of trees and the composition of rocks laid in the surface layer of the waste dump are presented.

### Keywords

"Borodinsky" open-pit mine, Rock dumps, Reclamation of disturbed lands, Forest recultivation, Environmental indicators, Technogenic productive mixture, Forest ecosystems.

### References

1. Yanovsky A.B. Osnovnye tendentsii i perspektivy razvitiya ugol'noy promyshlennosti Rossii [Main trends and prospects of the coal industry development in Russia]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2017, No. 8, pp. 10-14. doi: 10.18796/0041-5790-2017-8-10-14. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf> (accessed 15.01.2019).
2. Tarazanov I.G. Itogy raboty ugol'noy promyshlennosti Rossii za yanvar – dekabr 2017 [Russia's coal industry performance for January – December, 2017]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, No. 3, pp. 58-73. doi: 10.18796/0041-5790-2018-3-58-73. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/032018.pdf> (accessed 15.01.2019).
3. Safronova O.S., Lamanova T.G. & Sheremet N.V. Rezultaty issledovaniya estestvennogo vosstanovleniya rastitel'nogo pokrova na vskryshnykh otvalah, vznikshih v 1990-e gody v Respublike Hakasiya [The results of the study of natural regeneration of vegetation cover on overburden dumps in the Republic of Khakassia, which emerged in the 90-years of the twentieth century]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, № 7, pp. 68-71. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/072018.pdf> (accessed 15.01.2019).
4. Safronova O.S. & Evseeva I.N. Monitoring tekhnogennogo vozdeystviya

razreza «Chernogorskij» OOO «SUEHK-Hakasiya» na territoriyu sanitarno-zashchitnoj zony [Monitoring of anthropogenic impact of «Chernogorskij» open-pit mine «SUEK-Khakassia» LLC on the territory of sanitary-protective zone]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, № 9, pp. 95-98. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/092018.pdf> (accessed 15.01.2019).

5. Kharionovsky A.A. & Frank E.Ya. Obosnovanie gornotekhnicheskoy rekultivacii v celyah levostanovleniya na Krutokachinskom shchebenochnom karyere [Validation of the technology of mine technical reclamation for the purpose of reforestation in the Krutokachinskiy ballast quarry]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, № 4, pp. 75-77. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042018.pdf> (accessed 15.01.2019).

6. Kharionovsky A.A. & Frank E.Ya. Obosnovanie gornotekhnicheskoy rekultivacii po sozdaniyu kulturnogo landshafta v karyere po razrabotke gliezhej [Substantiation of mining-engineering reclamation for burnt clay mines cultivated landscaping]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, № 2, pp. 100-102. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/022018.pdf> (accessed 15.01.2019).

7. Androhanov V.A. & Berlyakova O.G. Sostoyanie lesnyh kultur i pochvennogo pokrova na rekultivirovannom otvale ugol'nogo razreza [The state of planted forest and topsoil on the recultivated open-pit coal mine rock dump]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal – Siberian Journal of Forest Science*, 2016, No. 2, pp. 22-31.

8. Shchadov I.M. & Frank E.Ya. O rezultatah i perspektivah ispol'zovaniya resursov DZZ v reshenii prikladnykh zadach ugledobyvayushchej otrasli v formate mirovoj ehkonomiki [On the results and prospects of using ERS (Earth Remote Probing) resources when solving applied tasks of the coal mining industry in the global economic format]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2018, № 7, pp. 58-61. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/072018.pdf> (accessed 15.01.2019).

9. Eßer G., Janz S. & Walther H. Promoting biodiversity in recultivating the rhenish lignite-mining area. *World of Mining - Surface and Underground*, 2017, Vol. 69(6), pp. 327–334.

10. Eyll-Vetter M. Significance of geotechnical boundary conditions in planning and designing residual lakes in the Rhenish lignite mining area illustrated by the example of the Inden opencast mine. *World of Mining - Surface and Underground*, 2015, Vol. 67(6), pp. 371–378.

11. Ngugil M.R., Neldner V.J., Doley D., Kusy B., Moore D. & Richter C. Soil moisture dynamics and restoration of self-sustaining native vegetation ecosystem on an open-cut coal mine. *Restoration Ecology*, 2015, Vol. 23(5), pp. 615–624.

12. Boldt-Burisch K., Naeth M.A., Schneider B. & Hüttel R.F. Linkage between root systems of three pioneer plant species and soil nitrogen during early reclamation of a mine site in Lusatia, Germany. *Restoration Ecology*, 2015, Vol. 23(4), pp. 357–365.



# Зарубежная панорама

## ИНДИЯ МОЖЕТ ОТМЕНИТЬ ИМПОРТНУЮ ПОШЛИНУ НА КОКСУЮЩИЙСЯ УГОЛЬ



Министерство металлургической промышленности Индии выступает за отмену импортной пошлины на коксующийся уголь, которая на данный момент составляет 2,5%. По словам министра Чаудхари Бирендера Сингха, ее необходимо обнулить, чтобы уменьшить затраты национальных металлургических компаний. Хотя Индия занимает третье место в мире по добыче угля после Китая и США, доля коксующихся марок в ее добыче ничтожна. На импорт приходится свыше 85% потребностей в данном материале.

Как сообщает Министерство, в 2017/2018 финансовом году (апрель/март) индийский импорт коксующегося угля прибавил 13% по сравнению с предыдущим периодом. По прогнозу рейтингового агентства CRISIL, в 2022/2023 финансовом году Индия увеличит импорт коксующегося угля до 65 млн т по сравнению с 51 млн т в 2017/2018 г., тогда как собственная добыча через пять лет составит только 19 млн т.

Источник: ИИС «Металлоснабжение и сбыт»

## КИТАЙСКИЕ СТАЛЕВАРЫ ПОЛУЧАЮТ ХОРОШУЮ МАРЖУ, НЕСМОТЯ НА РОСТ ЦЕН НА СЫРЬЕ

Показатели операционной маржи на сталелитейных заводах в Китае и других странах Азии ослабли с августа 2018 г., так как цены на сталь снижаются, а цены на сырьевые материалы более высокого качества растут в связи с борьбой за чистоту воздуха в КНР, говорится в аналитике рынка стали от S&P Global Platts.

Спрэд между ценами на китайскую горячекатаную сталь и ценами на железную руду и коксующийся уголь упал за месяц почти на 30 дол., до 326,8 дол. США. Рост цен на коксующийся уголь в этом месяце стал острой проблемой для производителей, поскольку цены на сталь падают. Импорт премиальных марок коксующегося угля в Китай увеличился. Тем не менее цены на сталь по-прежнему обеспечивают щедрую индикативную маржу и поддерживают рост производства стали.

«Чистая сталелитейная маржа в Китае продолжала удерживать свои позиции в августе, несмотря на некоторую инфляцию сырья, поскольку внутренний тяжелый лом подорожал на 41 дол. США за 1 т за месяц», – говорится в недавнем отчете аналитиков инвестиционного банка Jefferies.

«Горячекатаный рулон подешевел до 315 дол. США за 1 т, оставаясь незначительно ниже уровня, достигнутого в июне (338 дол. США за 1 т)... в то время как маржа арматуры при текущей цене в 327 дол. США за 1 т продолжала расши-



## ОТ РЕДАКЦИИ

**Вниманию читателей предлагаются краткие «Зарубежные новости»**

## ОТ АО «РОСИНФОРМУГОЛЬ»

 **Зарубежные новости**

**<http://www.rosugol.ru>**

*Более полная и оперативная информация по различным вопросам состояния и перспектив развития мировой угольной промышленности, а также по международному сотрудничеству в отрасли представлена в выпусках «Зарубежные новости», подготовленных АО «Росинформуголь» и выходящих ежемесячно на отраслевом портале «Российский уголь» ([www.rosugol.ru](http://www.rosugol.ru)).*

*Информационные обзоры новостей в мировой угольной отрасли выходят периодически, не реже одного раза в месяц. Подписка производится через электронную систему заказа услуг.*

*По желанию пользователя возможно получение выпусков по электронной почте.*

*По интересующим вас вопросам обращаться по тел.: +7(499)681-39-64, e-mail: [market@rosugol.ru](mailto:market@rosugol.ru) –*

*отдел маркетинга и реализации услуг.*

ряться, причем цены демонстрировали сильную динамику за последнее время».

Затраты на железную руду и затраты на импорт коксующегося угля в Китае в августе выросли на 1%. Тем не менее расходы на сырьевые материалы для индикативной железной руды и премиального коксующегося угля, импортированного в Китай в августе, были на 8,5% ниже, чем годом ранее, исходя из спотовых цен и количества, используемого на 1 метрическую тонну горячекатаного металла.

По мнению аналитиков Jefferies, внутренние цены на сталь в Китае более привлекательны, чем экспортные котировки, поэтому экспорт стали из этой страны расти не будет по крайней мере до начала осенне-зимних сокращений производства и строительных работ.

Источник: Rusmet.ru



## РОССИЯ НАМЕРЕНА УВЕЛИЧИТЬ ЭКСПОРТ УГЛЯ В КИТАЙ

Заместитель министра энергетики Российской Федерации Анатолий Яновский и руководитель Государственного энергетического управления КНР Ли Фаньчжун провели шестое заседание российско-китайской рабочей группы по сотрудничеству в угольной сфере.

Заместитель министра отметил, что российские компании последовательно наращивают объемы экспорта угля в Китай.

*«Россия имеет намерения увеличить объемы добычи угля и его экспорта в Китай. Для освоения перспективных объемов перевозок грузов через российско-китайские пограничные пункты пропуска запланирована реализация ряда мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры на ближних подходах к сухопутным железнодорожным переходам на границе России с Китаем»,* – сказал Анатолий Яновский.

Стороны также обсудили возможность привлечения финансового партнера с китайской стороны для реализации проекта комплексного освоения Сугодино-Огоджинского угольного месторождения в Амур-



ской области и строительства угольного морского терминала «Порт «Вера» в Приморском крае.

В ходе встречи также было отмечено, что продолжается взаимодействие между «Эн+ Групп» и «Китайской энергетической инвестиционной кор-

порацией» по совместному освоению Зашуланского угольного месторождения в Забайкальском крае. Кроме того, было начато сотрудничество между «Научным центром ВостНИИ» и Чжэнчжоуской группой ГШО в области промышленной и экологической безопасности.

Стороны выразили поддержку сотрудничеству «Угольной компании «Полысаевская» и Чжэнчжоуской группе ГШО по поставке комплекса подземной разработки угля и созданию сервисного центра по ремонту горношахтного оборудования. Кроме того, стороны отметили расширение сотрудничества добывающих компаний с китайскими машиностроительными компаниями.

Седьмое заседание рабочей группы состоится в 2019 г. в Китае. По окончании заседания подписан итоговый протокол.

*Источник: Energyland.info*

## Поздравляем!



## КОПЫЛОВ Константин Николаевич

*(к 50-летию со дня рождения)*

**20 января 2019 г. исполнилось 50 лет горному инженеру, техническому директору АО «СУЭК» Константину Николаевичу Копылову.**

Константин Николаевич Копылов – потомственный горняк, работает в угольной промышленности более 30 лет.

Свою трудовую деятельность он начал в 1987 г. электрослесарем на шахте «Капитальная» угольной компании «Южкузбассуголь». В разные периоды времени был горнорабочим, проходчиком, а затем, после окончания Сибирского ордена Трудового Красного Знамени металлургического института имени Серго Орджоникидзе, начальником подземного участка, главным инженером шахты «Осинниковская», начальником управления аэрологической безопасности и оперативной работы УК «Южкузбассуголь».

С 2011 г. и по настоящее время Константин Николаевич работает в АО «СУЭК». За период работы в компании был инициатором и успешно руководил внедрением многих инновационных технических проектов, в том числе:

- по подготовке и внедрению технологии скоростного проведения горных выработок комбайном фронтального действия. В результате был установлен всероссийский рекорд по проведению горной выработки в объеме 1272 м в месяц;

- по подготовке и внедрению технологии добычи из одного забоя на уровне 1 млн т/мес. В результате было установлено несколько мировых рекордов, в том числе максимальная добыча составила 1627 тыс. т в месяц;

- по разработке и внедрению концепции подготовки и отработки очистного забоя длиной 400 м.

Данные проекты позволили вывести компанию на один уровень с мировыми лидерами по добыче угля подземным способом, сократить издержки производства и превзойти с 2016 г. планку добычи 100 млн т в год.

За время работы на предприятиях угольной промышленности Константин Николаевич Копылов проявил себя как высококвалифицированный специалист, обладающий разносторонними знаниями и большим практическим опытом в области горного дела. Он пользуется высоким авторитетом и заслуженным уважением в коллективе, постоянно работает над повышением своего профессионального уровня, всегда готов помочь коллегам в решении сложных производственных задач.

***Коллеги по работе, горная научная общественность, редколлегия и редакция журнала «Уголь» от всей души поздравляют Константина Николаевича Копылова с юбилеем и желают ему новых профессиональных успехов, крепкого здоровья, счастья и благополучия!***

## РУДАКОВ Олег Юрьевич

(к 60-летию со дня рождения)



**19 января 2019 г. исполнилось 60 лет горному инженеру, полному кавалеру знака «Шахтерская слава», Почетному работнику угольной промышленности Российской Федерации, Почетному работнику топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, генеральному директору ООО «Шахтоуправление «Майское» Олегу Юрьевичу Рудакову.**

Олег Юрьевич родился в г. Североуральске Свердловской области. В Кузбасс, где прошла вся сознательная жизнь, родители привезли его совсем юным. Здесь он окончил школу, а в 1985 г. – Кузбасский политехнический институт по специальности «Открытые горные работы». Прошел трудовой путь от горного мастера до генерального директора одного из крупнейших угледобывающих предприятий Кузбасса и России.

Первым местом работы Олега Юрьевича в 1985 г. стал разрез «Колмогоровский», куда он был принят горным мастером. Спустя два года О.Ю. Рудаков перешел на разрез «Сартаки» на должность заместителя начальника горного участка. На предприятии он прошел путь от заместителя начальника участка до генерального директора, а в 2010 г. возглавил «Талдинский угольный разрез». Всего спустя год Олег Юрьевич был приглашен в компанию «СДС-Уголь», где возглавил департамент открытых горных работ.

В 2012 г. О.Ю. Рудаков был назначен директором «Прокопьевского угольного разреза». Предприятие, недавно вошедшее в состав АО ХК «СДС-Уголь», испытывало серьезные финансовые и организационные трудности. Проанализировав ситуацию и найдя слабые места в организации производственного процесса, новый руководитель нашел оптимальные пути их решения. По итогам 2012 года разрез вышел на бездефицитный бюджет, а Олегу Юрьевичу было присвоено звание «Лучший директор угольного предприятия АО ХК «СДС-Уголь».

И снова его бросили на прорыв – в апреле 2013 г. О.Ю. Рудаков возглавил разрез «Первомайский». Кризис угольной отрасли не способствовал должному развитию предприятия. Но горняцкий коллектив под чутким руководством Олега Юрьевича выстоял, выдержав сложный период.

В настоящее время ООО «Шахтоуправление «Майское» является одним из крупнейших предприятий по добыче угля открытым способом в Кемеровской области и России. За время руководства О.Ю. Рудакова на разрезе «Первомайский» было завершено строительство 1-й очереди углепогрузочной станции с погрузочным комплексом до 5 млн т. В настоящее время железнодорожная станция «Первомайская» отгружает более 200 вагонов угля потребителям в сутки. В 2015 г. на разрезе запустили в эксплуатацию цех по ремонту крупногабаритных шин. Качество технологических дорог на разрезе считается одним из лучших в компании.

На предприятии сформирован парк высокопроизводительного оборудования. Построен один из самых больших в Сибири боксов для проведения технического и сервисного обслуживания горнотранспортного оборудования. Запущены в эксплуатацию три горных участка. На предприятии внедрена автоматизированная система диспетчеризации «Карьер». Полная диспетчеризация автотранспорта с помощью спутниковых модулей GPS и ГЛОНАСС, а также системы промышленного телевидения позволяют осуществлять постоянный контроль за передвижением и состоянием техники, вести учет количества выполненных рейсов и расстояния перевозки, отслеживать объемы перевозок и время загрузки, полностью контролировать расход топлива и электроэнергии.

Год от года разрез «Первомайский» наращивает объемы добычи, с успехом реализуя производственные программы. По итогам 2017 года Олег Юрьевич Рудаков был признан Лучшим директором предприятия с открытой добычей угля в Кузбассе. По итогам месячника безопасного высокопроизводительного труда 2018 года ООО «Шахтоуправление «Майское» признано Лучшим предприятием с открытой добычей угля в Кемеровской области. А генеральный директор Олег Юрьевич Рудаков вновь признан Лучшим директором предприятия АО ХК «СДС-Уголь». Коллектив разреза продолжает показывать положительную динамику развития. В 2017 г. на разрезе добыли 6 млн т, в 2018 г. – 6,7 млн т угля. План на 2019 г. – добыча 7,2 млн т. А в ближайшие годы – задача выйти на уровень добычи 10 млн т в год с последующим увлечением до 15 млн т в год.

**П.М. Федяев, депутат Государственной Думы,**

**М.Ю. Федяев, президент АО ХК «СДС»,**

**Л.В. Рыбак, председатель совета директоров  
АО ХК «СДС-Уголь»,**

**Г.Ф. Алексеев, генеральный директор  
АО ХК «СДС-Уголь»**

**Руководство компании «СДС-Уголь», коллеги и друзья, редакционная коллегия и редакция журнала «Уголь» от всей души поздравляют Олега Юрьевича Рудакова с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, удачи, счастья, благополучия, неиссякаемой энергии, позитивного настроения и новых профессиональных успехов!**





## ЗАКИРОВ Данир Галимзянович

(к 80-летию со дня рождения)

**26 февраля 2019 г. исполняется 80 лет со дня рождения талантливого горного инженера-электромеханика, ученого-эколога, энергетика, доктора технических наук, профессора, Заслуженного шахтера РФ, действительного члена Международной академии инженерных наук, Горной академии и Академии электротехнических наук, Заслуженного работника Минтопэнерго России, главного научного сотрудника ФГБУ ГИ УрО РАН, генерального директора Ассоциации энергетиков Западного Урала Данира Галимзяновича Закирова.**

Вся трудовая жизнь Данира Галимзяновича неразрывно связана с угольной промышленностью. Его трудовая биография началась с шахты. Работал проходчиком подземных горных выработок, учился в институте, затем, проработав главным энергетиком, главным механиком шахты, вырос до директора материально-технического снабжения транспорта производственного объединения ПО «Кизелуголь». После защиты кандидатской диссертации в условиях производства, в 1986 г., министром угольной промышленности СССР был переведен заместителем директора по научной работе в институт ВНИИОСуголь (переименован в «МНИИЭКО ТЭК»).

В настоящее время Данир Галимзянович работает главным научным сотрудником ФГБУ Горный институт УрО РАН и генеральным директором Ассоциации энергетиков Западного Урала. Под его руководством и при активном участии выполнено более 50 крупных научно-технических и конструкторских разработок отраслевого и межотраслевого значения, результаты которых легли в основу разработки и реализации технической политики в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, а также внедрения энергосберегающих технологий, разработки способов и методов улавливания вредных выбросов малой энергетики.

Впервые в СССР и РФ им были разработаны и внедрены в производство технологии утилизации низкопотенциального тепла оборотной воды шахтной компрессорной станции и шахтной воды с использованием тепловых насосов. Данир Галимзянович является основоположником становления и развития нового научного направления экологизации объектов горных и промышленных предприятий, внедрения ресурсоэнергосберегающих технологий, вторичных энергетических ресурсов и утилизации низкопотенциального тепла.

Закиров Д.Г. создатель научных основ энергоэффективной экономики Пермского края. Он является автором более 350 научных работ, в том числе 20 монографий, книг и учебника по энергосбережению, 42 авторских свидетельств на изобретения и патентов РФ. Выполненные под

его руководством научно-технические разработки отмечены дипломами, медалями международных и отечественных выставок.

Данир Галимзянович является лауреатом двух премий в области наук, премии Пермской области им. П.А. Соловьева и за научные работы по решению энергетических и экологических проблем премии в области науки 1 степени Пермского края в номинации «Технические науки». За внедрение экологических разработок на предприятиях ему дважды присуждена премия Пермского областного и краевого конкурсов и звание «Экология, человек года – 2001, 2007». Д.Г. Закиров – номинант Строгановской премии Пермского землячества за 2005 г. «За служение родному краю». В 2009 г. он награжден дипломом лауреата «Инженер года» Всероссийского конкурса «Инженер года» в номинации «Возобновляемые источники энергии (геотермальная энергетика)». Ему присуждено звание «Заслуженный инженер».

Большой производственный опыт, фундаментальные инженерные знания, работоспособность, коммуникабельность Данира Галимзяновича сегодня в полной мере востребованы. В 1997 г. он был избран генеральным директором Ассоциации энергетиков Западного Урала и является ее бессменным руководителем. Он активно работает в Региональном Союзе промышленников и предпринимателей Пермского края «Сотрудничество». Руководя профильным центром развития энергетики и энергосбережения, он внедряет на предприятиях энергосберегающие технологии, пропагандирует идеи энергосбережения, организует и проводит семинары и международные конференции по проблемам снижения энергоемкости производства, повышения эффективности использования энергии, конкурентоспособности выпускаемой продукции.

За многолетнюю плодотворную производственную и научную деятельность Данир Галимзянович Закиров награжден высокими правительственными и ведомственными наградами, в том числе: орденом «Знак Почета», медалью «Ветеран труда», знаками «Шахтерская слава» всех 3 степеней.

**Коллеги по совместной работе, друзья и соратники, редакционная коллегия и редакция журнала «Уголь» поздравляют Данира Галимзяновича Закирова с юбилеем и желают ему долгих лет жизни, крепкого здоровья, новых творческих достижений и успехов!**



# Требования к рукописям, направляемым в журнал «УГОЛЬ»

1. Статьи, направляемые в журнал «Уголь», должны освещать наиболее актуальные вопросы технического, экономического и социального развития предприятий угольной промышленности. Должны быть освещены проблемы, даны конкретные выводы и предложения.

2. Все статьи научного, научно-технического, экономического и социально-экономического характера рецензируются. К статье научного, научно-технического, экономического и социально-экономического профиля должен быть приложен отзыв специалиста – доктора, кандидата наук.

3. Максимальный объем статьи – не более 8 страниц, включая 3-4 рисунка (фото), аннотацию и библиографический список (текст в Word 97-2003, шрифт – Arial–11, междустрочный интервал – 1,5).

4. Материал должен быть изложен кратко, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте; на литературу, таблицы и рисунки следует давать ссылки в тексте. Формулы – только основные, без промежуточных выкладок.

5. Статья должна иметь не более 5 авторов.

**6. Статья в обязательном порядке должна иметь (в том числе и на английском языке):**

– **контактные данные по каждому автору:** указываются полностью ФИО, место работы, должность, ученые степени и звания (при наличии), почтовый адрес, телефон, e-mail, по желанию прилагаются портреты авторов;

– **реферат (аннотацию)** – 10-15 строк (100-250 слов). В соответствии с требованиями международных баз данных реферат должен достаточно полно раскрывать содержание статьи (кратко о чем статья, тезисно суть статьи, основные выводы);

– **ключевые слова** – 8-10 наименований по тематике статьи;

– **библиографический список (список литературы)** – не менее 12 источников (!).

**7. Статья должна иметь библиографический список**, состоящий из не менее 12 позиций, с обязательным включением 5-6 источников позднее 2010 г. и **4-5 ссылок на зарубежные публикации последних 5 лет (!)** (ссылки на иностранные патенты, авторские свидетельства, нормативно-правовые документы не входят в число зарубежных публикаций). Включение в список более 2-3 собственных работ не допускается (!).

Библиографический список должен соответствовать требованиям ГОСТ 7,1-2003 (и его более поздней версии 2008 г.) и содержать следующие сведения:

– при ссылке на журнальную статью – фамилию и инициалы автора, название статьи, полное название журнала, год издания, номер, страницы начала и конца статьи;

– при ссылке на книгу – фамилию и инициалы автора, название, место издания, издательство (для иностранного источника достаточно указать город), год издания, общее число страниц в книге;

– при ссылке на статью в сборнике – название сборника, номер выпуска (или тома), место издания, издательство (или издающая организация), страницы начала и конца статьи;

– для интернет-ссылок – название ресурса и публикации, режим доступа.

Номер литературной ссылки дается в квадратных скобках в соответствующем месте текста.

При использовании электронных ресурсов необходимо ссылаться на первоисточник и указывать дату обращения.

При составлении библиографических списков авторам рекомендуется использовать надежные верифицируемые источники и избегать ссылок на публичные ресурсы, информация из которых не может иметь авторитетного подтверждения (например, Википедия).

Все библиографические сведения должны быть тщательно проверены. Не допускаются ссылки, которые не могут быть прослежены (найжены) читателями, например презентации, отчеты о НИР, НИОКР, ПИР и пр., а также на неопубликованные работы.

**8. Необходимо четко структурировать текст статьи по следующим разделам:**

– **введение**, где кратко выполнен обзор проблемы, обоснована актуальность работы, приведена ее цель;

– **основной раздел**, включающий результаты выполненной работы, с кратким описанием или упоминанием (общепринятых или опубликованных в известных изданиях) методик и/или методов проведения экспериментальных или опытных работ;

– **заключение**, в котором сделаны **выводы** и даны рекомендации по практическому использованию результатов работы.

9. Перед отправкой статьи в редакцию авторам необходимо с помощью специальной программы (например, [www.text.ru](http://www.text.ru)) проверить текст и удостовериться в отсутствии заимствований из других публикаций, не подтвержденных библиографическими ссылками.

10. Рисунки к статье должны быть четкими; не следует перегружать их второстепенными данными. Все рисунки и фото должны быть с подрисовочными подписями.

11. Статья должна быть подписана всеми авторами (прилагается скан страницы с подписями авторов).

12. Материалы по статье следует направлять в редакцию по e-mail: [ugol1925@mail.ru](mailto:ugol1925@mail.ru).

13. Текст статьи, рисунки, схемы, диаграммы должны быть записаны в Word 97-2003. Кроме того, все рисунки и фото должны быть представлены в виде графических файлов JPEG (с разрешением 300 dpi).

14. Несоответствие статьи вышеописанным требованиям может послужить поводом для отказа в публикации. Поступившие в редакцию материалы авторам не возвращаются.

См. требования также на сайте журнала «Уголь» в разделе Требования <http://www.ugolinfo.ru/trebovania.html>



# УМНАЯ ШАХТА®

## цифровая платформа горной индустрии

- 1 Мониторинг параметров работы шахты в режиме реального времени, включая:
  - Сканирующий (динамический) газовый контроль;
  - Позиционирование горнорабочих и внутришахтного транспорта.
- 2 Аварийное оповещение персонала с автоматическим (контроль доставки) и ручным (контроль осознания) подтверждением получения сигнала.
- 3 Мобильная связь с использованием смартфона на платформе Android с возможностью проведения фото- и видеосъемки в шахте, в том числе в тепловизионном режиме.
- 4 Функционирование, благодаря применению беспроводных технологий, после воздействия ударно-взрывной волны.
- 5 Передача данных в горных выработках с фантастической скоростью.

---

Система соответствует требованиям раздела 6 национального стандарта РФ ГОСТ Р 55154-2012 «Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования».