

УДК 622.27

© В.А. Федорин, В.Я. Шахматов, А.Ю. Михайлов, 2018

### **В.А. ФЕДОРИН**

д-р техн. наук,  
заведующий лабораторией  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово



### **В.Я. ШАХМАТОВ**

канд. техн. наук,  
ведущий научный сотрудник  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово



### **А.Ю. МИХАЙЛОВ**

ведущий технолог  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: [lexus@icc.kemsc.ru](mailto:lexus@icc.kemsc.ru)



## КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ПРОЦЕССОВ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

*Проведена оценка добычи угля в Кузбассе по способам разработки. Установлено, что добыча комбинированным способом увеличилась в 2 раза с 2008 г. благодаря внедрению модульных шахтоучастков на открытых горных работах. Показано, что горно-технологическая структура (ГТС) вскрытия и подготовки шахтоучастка, адаптированная к технологической схеме угольного разреза, имеет высокие технико-экономические показатели и соответствует мировому уровню.*

*Представлены исследования ИУ СО РАН, основой которых явились научно-методические разработки специалистов ИПКОН РАН и НТЦ-НИИОГР. Для визуализации модели объектов в трехмерном пространстве используется компьютерная технология на основе системы MINEFRAME (ГoИ КНЦ РАН).*

*Разработана научная концепция открыто-подземного способа освоения угольных месторождений. Представлена безлюдная геотехнология «Highwall» (комплекс глубокой разработки пластов — КГРП), которая используется как промежуточный ярус открыто-подземного способа разработки угольных пластов.*

**Ключевые слова:** ДОБЫЧА УГЛЯ, СПОСОБ РАЗРАБОТКИ, КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ, БЕЗОПАСНОСТЬ, МОДУЛЬНЫЙ ШАХТОУЧАСТОК, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, КОМПЛЕКС ГЛУБОКОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ (КГРП), БЕЗЛЮДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ.

Описанное исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 18-45-4200047 р\_а: «Совершенствование технологии разработки угольных пластов на основе синтеза элементов открытых и подземных горнотехнических систем».

С развитием добычи угля в Российской Федерации (408,8 млн. тонн в 2017 г.) все больший интерес представляют новые технологические решения [1] по освоению угольных месторождений Кузнецкого каменноугольного бассейна (241,5 млн. т/год). Практически все запасы мощных пологих угольных пластов Кузбасса отличаются весьма благоприятными условиями залегания и могут быть отработаны с применением самых

высокоэффективных современных технологий открытой, подземной и комбинированной разработки угольных месторождений [2]. Комбинированные (открыто-подземные) технологии добычи угля особенно эффективны при отработке открытым способом энергетических углей верхней части месторождений Кузбасса и подземным — коксующихся углей.

Технологические схемы открытых разработок оптимально сочетаются с модульными структурами подземных шахтоучастков и позволяют быстро вводить в действие новые мощности по добыче угля, эффективнее использовать запасы месторождений, обеспечить более экономичную и безопасную их разработку. В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разработаны модульные горно-технологические структуры шахтоучастков, адаптированные к открыто-подземным технологиям добычи угля в Кузбассе, защищенные патентами РФ.

Освоение угольных месторождений Кузбасса базируется на новых научных концепциях [3] и принципах строительства технологических объектов, развиваемых в лаборатории эффективных технологий разработки угольных месторождений на основе структурно-сетевой теории вскрытия пологих угольных пластов [4]. Это позволяет разработать технологические решения по автономным шахтоучасткам модульной структуры для действующих разрезов с открыто-подземной разработкой пологих угольных пластов. Вы-

деляется необходимая и достаточная горно-технологическая структура (ГТС) вскрытия и подготовки шахтоучастка, адаптированная к технологической схеме отработки угольного разреза, для одного высокопроизводительного очистного забоя (длинного или короткого) с элементами простого воспроизводства горных работ по комбинированной геотехнологии на угольных пластах мощностью 3–5 метров и более.

Оптимальное освоение месторождения открыто-подземным способом с формированием модульных шахтоучастков (МШУ) рассматривается в графе реально существующих открытых  $O(t)$  и перспективных подземных  $\Pi(t, t_1)$  участков в виде растущей структуры с оптимальными примыкающими фрагментами транспортной и производственной инфраструктуры при  $(t < t_1) \in T$ , находящихся на стадии развития, ввод в эксплуатацию которых предусмотрен в период  $t_1$ . Таким образом, структура вскрытия и отработки поля угледобывающего комплекса (УДК) комбинированным способом может быть представлена в виде семейства множеств:

$$C(t) = \{OP(t), A(t), X(t), T\}, \quad (1)$$

где  $OP(t)$  — множество открытых и подземных участков в период развития;  $A(t)$  — множество взаимосвязей участков в период  $t \in T$ ;  $X(t)$  — множество экономико-технологических характеристик размещения открытых и подземных участков в период  $t \in T$ ;  $T$  — множество рассматриваемых периодов планирования развития комбинированных участков по добыче полезного ископаемого.

Проектирование, строительство и эксплуатация ведутся поэтапно на основе опережающей и накапливающейся информации при эксплуатации участков разреза и модульных шахтоучастков. Кроме того, каждому модульному шахтоучастку в структуре вскрытия  $C(t)$  соответствует в период планирования  $t$  множество его транспортно-технологических характеристик размещения на поле угольного разреза:

$$X_{ii} = \{X_{ij} / i \in I_t, j \in J_{ti}\}, \quad (2)$$

где  $I_t$  — множество индексов модульных шахтоучастков на месторождении;  $J_{ti}$  — множество индексов характеристик объекта  $i$  в период  $t$ .

Таким образом, на множествах ОП(t) и X(t) задано отношение соответствия  $F_{ts}$  для каждого периода планирования t:

$$F_{ts} = \{(l_i, X_i(t) / l_i \in \text{ОП}(t), x_i(t) \in X(t)\}. \quad (3)$$

Традиционная теория вскрытия угольных месторождений объясняет условия формирования транспортно-технологических характеристик размещения разрезов, шахт и их элементов в недрах и на земной поверхности. Однако условие объединения  $O(t) \cup \Pi(t, t_i)$  выделяет этот класс задач в самостоятельный раздел оптимизации генеральной схемы освоения месторождения как решение задач оптимального примыкания с возможными вариантами объемно-планировочных решений по комбинированному способу разработки угольных пластов.

При построении модульной структуры угледобывающего комплекса (УДК) характеристика  $X_{ij}$  является величиной переменной и в базовом варианте (по наземным и подземным грузоперевозкам) в автономном режиме связана системой балансовых уравнений, формирующих метод доступа к георесурсам.

Открыто-подземные разработки могут эффективно применяться в тех случаях, когда для отработки подземным способом передаются участки открытых работ, продолжение которых из-за возрастания коэффициента вскрыши становится неэффективным. Эта идея первоначально была реализована на одном из участков угольного разреза «Сибиргинский» и в проекте реконструкции разреза «Томусин-

ский» в Южном Кузбассе. Подготовка и отработка запасов модульного шахтоучастка ведутся по специальным схемам из пространства, образованного при открытых разработках, и с применением передвижного оборудования.

Сотрудники лаборатории ЭТРУМ принимали участие в технико-экономическом обосновании строительства модульного шахтоучастка в пределах горного отвода разреза «Сибиргинский» и разреза «Моховский». Идея оказалась настолько плодотворной, что в 2016 году 12 угольных разрезов Кузбасса, используя открыто-подземный способ, добыли более 54 млн. тонн угля.

Практическое применение комбинированного (открыто-подземного) способа разработки в Кузбассе началось с 2000-х годов благодаря научно-методическому обоснованию физико-технической геотехнологии в Институте угля СО РАН (д. т. н. Ялевский В.Д., д. т. н. Федорин В.А.) и технико-экономическому обоснованию инвестиций для шахт угольного разреза «Сибиргинский» (Гипроуголь, г. Новосибирск) и угольного разреза «Моховский» (шахта «Байкаимская»). Добыча угля открыто-подземным способом составляет 54228 тыс. тонн или 25 % от общей добычи в Кузбассе в 2016 году (см. рис. 1). Подземным способом добыто 54862 тыс. тонн, открытым способом — 118266 тыс. тонн при общей добыче в Кузбассе в 2016 году открытым, подземным и комбинированным (открыто-подземным) способами — 227356 тыс. тонн.

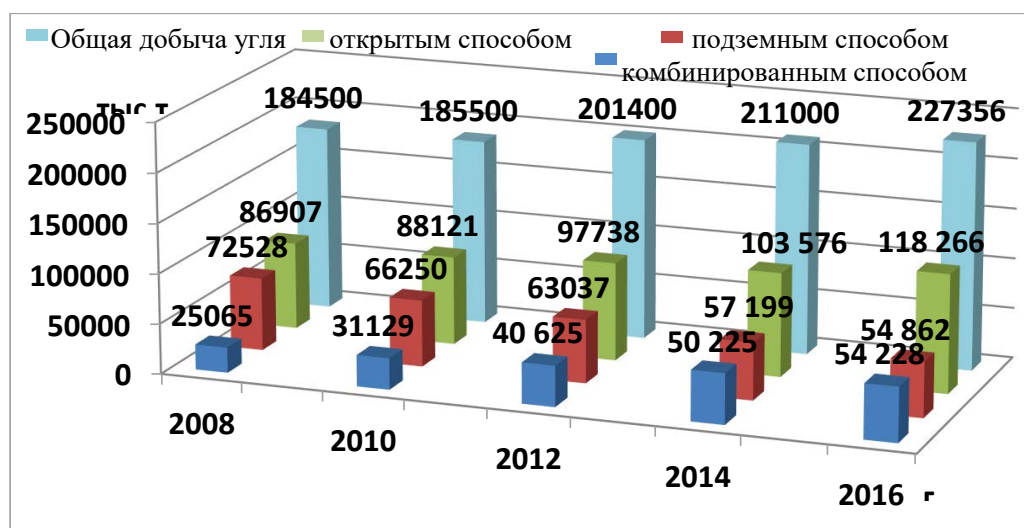


Рис. 1. Разделение общей годовой добычи в Кузбассе по способам добычи угля (открытый, подземный, комбинированный (открыто-подземный))

На графике показано, что с 2008 года по 2016 год добыча угля в Кузбассе комбинированным способом увеличилась в 2 с лишним раза (с 25 до 54 млн. тонн в год).

Развиваемый в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН методический подход заключается в последовательном формировании моделей объектов горной технологии и их оптимизации на основе технико-экономического анализа связанных с ними технологических процессов. Для проектирования и планирования горных работ на угольных месторождениях используется программная платформа системы MineFrame 6.0 (по Генеральному соглашению о научно-техническом сотрудничестве и совместной деятельности с ГоИ КФ РАН от 15.12.2014 г.). **MineFrame 6.0** используется для визуализации параметров комбинированной (открыто-подземной) геотехнологии освоения недр Кузбасса и их интерпретации:

1. Создание моделей рельефа и производственной инфраструктуры угольного разреза и шахты для определения и расположения породных отвалов, технологических зданий и комплексов и т. д. (рис. 2). Цифровые модели рельефа и производственной инфраструктуры в границах угледобывающих предприятий необходимы не только для пространственной привязки проектируемых объектов, но также очень полезны для реализации на их основе мониторинга технологического и вспомогательного транспорта, а также анализа чрезвычайных ситуаций. Как и модель рельефа, модели объектов инфраструктуры могут быть созданы с необходимой детализацией в зависимости от решаемых с их использованием задач. Таким образом, создается единое информационное пространство.

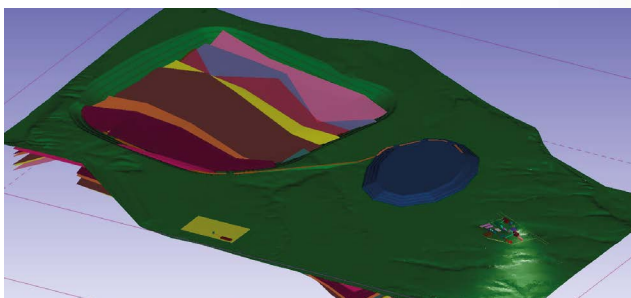


Рис. 2. Открытые горные работы в комбинированном способе разработки угольных пластов, 3D визуализация

2. Создание геологической модели свиты угольных пластов (рис. 3).

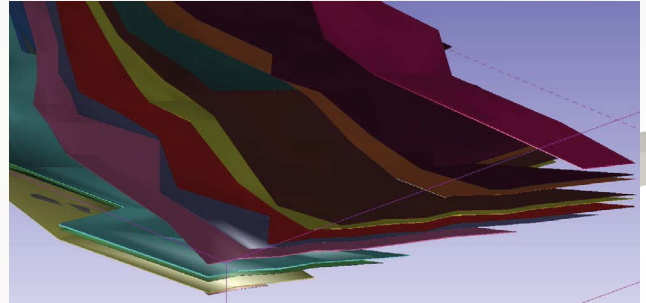


Рис. 3. Каркасная модель свиты угольных пластов в 3D

Созданию геологической модели предшествует формирование базы данных (БД) геологического опробования. Такая работа, как правило, выполняется геологоразведочными организациями. На основе данных опробования формируется геологическая модель. Её целевое назначение заключается в максимально достоверной передаче геометрии пластовых залежей и пространственного распределения в их границах пластов угля (каркасная модель). Целевое назначение геологической модели заключается в предоставлении информации о структуре свиты угольных пластов в удобном для использования виде. В первую очередь, геологоструктурная модель необходима для создания геомеханической модели [5] угольного месторождения, что весьма актуально для открыто-подземного способа разработки угольных пластов.

3. Выбор конструкции бортов [6] и создание экономически обоснованной модели угольного разреза при переходе с открытого на подземный способ разработки, обоснование параметров комбинированной геотехнологии (рис. 4). Комбинированный способ разработки приводит к разделению запасов угля на 3 яруса (открытый, открыто-подземный и подземный) со своей специфической технологией горных работ. При этом наличие транспортных подземных коммуникаций одновременно открывает дополнительные возможности для транспортирования угля и горной массы с нижних горизонтов карьера. А все это вместе взятое представляет собой комбинированный способ разработки со

сложным для технико-экономической оценки сочетанием открытых и подземных горных выработок.

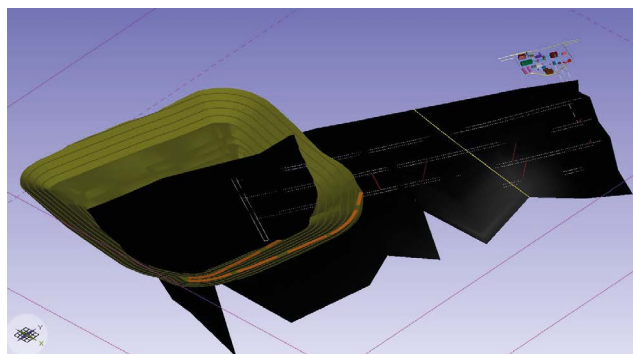


Рис. 4. Единое информационное пространство комбинированного способа разработки угольного пласта в 3D (MineFrame 6.0)

Для нахождения рациональной глубины перехода от открытого на подземный способ разработки формируется экономико-математическая модель, связанная с определенным модельным представлением варианта границ перехода. Переход с открытого на подземный способ отработки предполагает также корректировку конструкции дна карьера для уменьшения потерь прибортовых запасов угля и удержания производительности предприятия при переходе на подземный способ разработки на приемлемом уровне.

## Укрупненный расчет основных показателей эффективности комбинированной (открыто-подземной) геотехнологии добычи угля в Кузбассе

Расчет основных показателей эффективности (себестоимость, цена, прибыль, рентабельность) для действующей комбинированной технологии отработки угольных пластов осуществлен на основе методического положения оценки и выбора экономически эффективных технологических схем разработки угольных пластов в конкретных горно-геологических условиях угольных предприятий РФ. Приняты ориентировочные экономические и финансовые показатели 12 конкретных предприятий Кузбасса с общей добычей 54228 тыс. тонн в основном коксующихся марок угля в 2016 году (см. табл. 2). Себестоимость добычи угля комбинированным способом по 24 шахтам и угольным разрезам, ведущим добычу комбинированным (открыто-подземным) способом, принимаем усредненной, равной 1823 руб/т (см. табл. 1). Цена 1 т угля — 3043,95 руб/т (по данным информационного сборника Росинформуголь на конец 2016 г.).

Таблица 1

Расчет прибыли от добычи угля открыто-подземным способом

Наименование укрупненных показателей	2016 год
Товарная добыча угля открыто-подземным способом, всего, тыс. т,	54228
в т. ч. открытый способ, тыс. т	26825
подземный способ, тыс. т	27403
Затраты по выпуску товарной продукции, млн. руб.	98877
Себестоимость 1 т угля, руб.	1823,35
Цена 1 т угля, руб.	3043,95
Товарная продукция, млн. руб.	165067
Прибыль от выпуска, млн. руб.	66168
Налог на имущество и др., млн. руб.	10729
Балансовая прибыль, млн. руб.	55439
Налог на прибыль, млн. руб.	13860
Чистая прибыль, млн. руб.	41576
Чистая прибыль, руб./т	767
Рентабельность реализации, %	56

Рентабельность реализованной продукции определяется как отношение величины балансовой прибыли к текущим издержкам и составляет 56 %. Рентабельность по величине чистой прибыли — 42 %

В результате проведенных расчетов установлена высокая эффективность комбинированного (открыто-подземного) способа разработки угольных пластов Кузбасса с прибылью от выпуска 1221 руб./т. В целом по Кузбассу в 2016 году себестоимость добычи угля составляла 1624,54 руб./т, средняя цена 1 тонны отгруженной угольной продукции — 2442,63 руб. Прибыль — 818,09 руб./т. Таким образом, прибыль от использования комбинированного (открыто-подземного) способа разработки угольных пластов выше среднего по Кузбассу в 1,5 раза.

Для расчета динамического критерия эффективности комбинированной (открыто-подземной) геотехнологии принимаем ставку дисконтирования равной 12 %. Условно принята возрастающая нагрузка на комбинированный способ разработки угольных пластов Кузбасса в соответствии с ростом добычи до 2020 года (см. табл. 2). Срок окупаемости инвестиций составляет 8,5 лет.

Дисконтируемый чистый доход за 4 года (2017–2020 гг.) эксплуатации открыто-подземного способа разработки в Кузбассе составляет 149,3 млрд. рублей в ценах 2016 года.

### Перспективы использования безлюдной технологии добычи угля открыто-подземным способом с использованием комплекса глубокой разработки пластов (КГРП)

В исследовании рассматривается безлюдная геотехнология «Highwall» (комплекс глубокой разработки пластов — КГРП) как промежуточный ярус открыто-подземного способа разработки угольных пластов. КГРП является полностью автономной, мобильной, высокопроизводительной и экономичной угледобывающей системой, позволяющей осуществлять полностью механизированную подземную разработку угольных пластов [7]. Для безопасного ведения горных работ с использованием КГРП были сформулированы основные условия, регламентирующие технологию добычи угля без присутствия людей в очистном забое, которые вошли в работу «Моделирование и обоснование технологий

Таблица 2

Расчет движения денежных средств при открыто-подземном способе разработки угольных пластов Кузбасса (2017–2020 гг.)

Показатели	Год			
	2017	2018	2019	2020
Объем продаж, тыс. т	55228	56300	58000	60000
ПРИТОК наличности, млн. руб.	168111	171374	176549	182677
Выручка от реализации (без НДС)	168111	171374	176549	182677
Прочие поступления	-	-	-	-
ОТТОК наличности, млн. руб.	125797	128182	132053	136607
Налоги	25042	25528	26299	27206
Текущие затраты	100755	102654	105754	109401
Чистый денежный поток	42360	43182	44486	46020
Коэффициент дисконтирования	1,0	0,89	0,80	0,71
Дисконт. чистый поток	42360	38699	35589	32674
То же нарастающим итогом	42360	81059	116648	149322

разработки угольных месторождений подземным и открыто-подземным способами без постоянного присутствия людей в забоях», подготовленную в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН в рамках регионального проекта РФФИ № 16-47-420490 (2016–2017 гг.) [1].

Технология Highwall является разновидностью подземной камерно-столбовой системы разработки (Shortwall), требующей подготовленного фронта работ в виде пласта в борту открытой горной выработки. Глубокая

разработка пластов может рассматриваться и как дополнение к открытому способу добычи. Фактически открытые горные работы являются средством, обеспечивающим доступ к угольным пластам техники, осуществляющей подземную добычу.

КГРП устанавливается на открытой площадке, которая образуется в результате извлечения вскрышных пород и угля по контуру блока, предполагаемого к разработке (рис. 5).



Рис. 5. Комплекс глубокой разработки пластов (КГРП)

Безусловно, данный способ разработки угольных месторождений можно отнести к открыто-подземному и без постоянного присутствия людей в забоях (безлюдная технология).

Таким образом, использование указанного способа ведет к многократному снижению объема вскрышных работ, снижению ущерба, наносимого окружающей среде, за счет частичной рекультивации нарушенных земель уже в процессе добычных работ и расширению области использования КГРП.

Кроме этого, уникальность технологии с использованием КГРП еще и в том, что она мобильна — возможность транспортировки в различные регионы и в короткие сроки, в том

числе и на новые месторождения с неразвитой инфраструктурой, т. к. комплекс является полностью автономным — снабжается электроэнергией от собственной электрогенераторной дизельной системы.

Рентабельность реализованной продукции определяется как отношение величины балансовой прибыли к текущим издержкам и составляет 50 %. Рентабельность по величине чистой прибыли — 40 %.

Исходя из показателей эффективности предлагаемого проекта, можно сделать вывод, что при заданных условиях и ценах отработка запасов угля с использованием КГРП является экономически целесообразной и эффективной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Открытые горные работы. Справочник / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Винницкий, Н.Н. Мельников. — М.: Горное бюро, 1994. — 590 с.
2. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; под ред. К.Н. Трубецкого. — М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. — 478 с.
3. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений: учеб. пособие. — М.: Горная книга, 2012. — 344 с.
4. Федорин В.А. Условия, регламентирующие безлюдную технологию разработки угольных пластов с использованием комплекса глубокой разработки пластов / В.Я. Шахматов, А.Ю. Михайлов, Е.Л. Варфоломеев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2016. — № 4. — С. 83–88.
5. Черданцев Н.В. Устойчивость анизотропного массива горных пород с системой двух спаренных выработок квадратного поперечного сечения // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2016. — № 3. — С. 6–13.
6. Ненашева Р.И., Зыков В.С., Чебоксаров Б.Б. Оценка структурно-тектонического строения шахтных полей Кузбасса для решения горно-геологических задач // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2005. — № 1. — С. 39–46.
7. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Развитие технологии безлюдной угледобычи с применением комплексов КГРП // Горная Промышленность. — 2015. — № 4. — С. 87–93.

УДК 622.27

© V.A. Fedorin, V.Ya. Shakhmatov, A.Yu. Mikhaylov, 2018

**V.A. Fedorin**

Doctor of Engineering Sciences, Laboratory Head

The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo

**V.Ya. Shakhmatov**

Candidate of Engineering Sciences, Researcher

The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo

**A.Yu. Mikhaylov**

Leading technologist

The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of SB RAS, Kemerovo

e-mail: lexis@icc.kemsc.ru

**COMBINED METHOD OF DEVELOPING COAL SEAMS OF KUZBASS BASED ON SYNTHESIS OF OPEN AND UNDERGROUND MINING***Coal mining in Kuzbass is estimated according to mining methods.**It is established that coal production by the combined method has increased 2 times since 2008 due to the use of modular coal mine land in open pit mining. It is shown that the mining and technological structure (MTS) of the opening and preparation of the mine site, adapted to the technological scheme of the coal mine, has high technical and economic indicators corresponding to the world level.**The research of the Institute of Coal of the SB RAS based on the scientific and methodical development of the specialists from ICEMR RAS and NTC-NIIOGR is presented. Computer technology based on the MINEFRAME system (GoI KSC RAS) is used to visualize the model of objects in three-dimensional space. The scientific outlook on open-underground mining for the development of coal deposits is established.*



*The manless geotechnology «Highwall» KGRP (highwall miner) used as an intermediate layer of the open-underground method of development of coal seams.*

Key words: COAL MINING, METHOD OF DEVELOPMENT, OPEN-UNDERGROUND (COMBINED) METHOD, SAFETY, MODULAR COAL MINE LAND, COAL SEAM, HIGHWALL MINER KGRP, MANLESS TECHNOLOGY.

#### REFERENCES

1. Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinnitskiy K.E., Melnikov N.N. Otkrytye gornye raboty. Spravochnik (Open-pit mining. Reference book). M.: Gornoe byuro, 1994. 590 p.
2. Gornye nauki. Osvoenie i sokhranenie nedr Zemli (Mining science. Exploitation and conservation of interior part of the Earth) / RAN, AGN, RAEN, MIA; pod red. K.N. Trubetskogo. M: Izd-vo Akademii gornykh nauk, 1997. 478 p.
3. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Kombinirovannaya razrabotka rudnykh mestorozhdeniy: ucheb. posobie (Combined ore mining: study guide). M.: Gornaya kniga, 2012. 344 p.
4. Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya., A.Yu. Mikhaylov, Varfolomeev E.L. Usloviya, reglamentiruyushchie bezlyudnyuyu tekhnologiyu razrabotki ugolnykh plastov s ispolzovaniem kompleksa glubokoy razrabotki plastov (The conditions regulating the manless coal seam development technology using deep seam development complex). Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Industrial Safety. 2016. № 4. pp. 83–88.
5. Cherdantsev N.V. Ustoychivost anizotropnogo massiva gornykh porod s sistemoy dvukh sparenykh vyrabotok kvadratnogo poperechnogo secheniya (Stability of anisotropic rock massif with two adjisent square cross-section openings system). Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti = Industrial Safety. 2016. № 3. pp. 6–13.
6. Nenasheva R.I., Zykov V.S., Cheboksarov B.B. Otsenka strukturno-tektonicheskogo stroeniya shakhtnykh poley Kuzbassa dlya resheniya gorno-geologicheskikh zadach (Estimation of the structural and tectonic construction of the mine fields in Kuzbass for solving the mining-and-geological problems). Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Kuzbass State Technical University. 2005. № 1. pp. 39–46.
7. Netsvetaev A.G., Grigoryan A.A., Pruzhina D.I. Razvitie tekhnologii bezlyudnoy ugledobychi s primeneniem kompleksov KGRP (Progress of highwall miner-based unmanned coal mining technology). Gornaya Promyshlennost = Mining Industry. 2015. № 4. pp. 87–93.