

Геотехнологический потенциал открыто-подземной разработки угольных месторождений Кузбасса

В.А. Федорин✉, В.Я. Шахматов, Г.Ю. Опрук, М.В. Аникин

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Кемерово, Российская Федерация

✉ fedorinva@ic.sbras.ru

Резюме: Объединение открытых и подземных горных работ с использованием общей производственной инфраструктуры на строящихся и действующих угольных разрезах определяется геотехнологическим потенциалом комплексного освоения угольных месторождений Кузбасса открыто-подземным способом. В работе приводятся описание и ключевые характеристики технологических решений освоения угольных месторождений открытым, подземным и комбинированным способами. Новизна заключается в разработке приоритетных направлений объединения открытой и подземной геотехнологии в единую систему ведения горных работ с эффектом использования единой производственной инфраструктуры освоения недр. Область применения схем вскрытия и подготовки полей угольных разрезов по модульной горнотехнологической структуре комбинированного способа, охватывает диапазон условий действующих, проектируемых и перспективных разрезов на пологих пластах Кузбасса.

Ключевые слова: способ разработки, геотехнологический потенциал, комбинированная геотехнология, структура добычи угля

Для цитирования: Федорин В.А., Шахматов В.Я., Опрук Г.Ю., Аникин М.В. Геотехнологический потенциал открыто-подземной разработки угольных месторождений Кузбасса. *Горная промышленность*. 2023;(S2):77–82. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-77-82>

Geotechnological potential for surface and underground mining of Kuzbass coal deposits

V.A. Fedorin✉, V.Ya. Shakhmatov, G.Yu. Opruk, M.V. Anikin

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo,
Russian Federation

✉ fedorinva@ic.sbras.ru

Abstract: The combination of surface and underground mining with the use of common industrial infrastructure at operating open-pit mines and those under construction is defined by the geotechnological potential of the integrated development of Kuzbass coalmines using the combined mining method. The description of key characteristics of technological solutions for coal deposits development by the surface, underground and combined methods are introduced in the article. The novelty of this work lies in developing the priority directions for combining open-cast and underground geotechnologies in a single mining method with the advantage of using unified industrial infrastructure for development of mineral deposits. The application area of open-pit coalmine opening and development schemes based on modular mining and technological structure of the combined method covers the range of conditions in operating, designated and prospective open-pit coalmines in flat-lying coal seams of Kuzbass.

Keywords: mining method, geotechnological potential, combined geotechnology, coal mining structure

For citation: Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya., Opruk G.Yu., Anikin M.V. Geotechnological potential for surface and underground mining of Kuzbass coal deposits. *Russian Mining Industry*. 2023;(S2):77–82. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-77-82>

Введение

Освоение угольных месторождений Кузбасса базируется на новых научных концепциях и принципах строительства технологических объектов структурно-сетевой теории вскрытия пологих угольных пластов. В 2022 г. на 38 шахтах Кузбасса работали комплексно-механизированные забои с общей добычей свыше 72 млн т угля. В среднем около 2 млн т на один забой, использующий модульную геотехнологическую структуру вскрытия и подготовки угольных пластов¹. Это позволяет разработать технологические решения по автономным шахтоучасткам модульной структуры (в проектах «шахта-лава») для действующих разрезов с комбинированной (открыто-подземной) разработкой пологих пластов по концепции «Интеллектуальная шахта угольного разреза» [1]. Выделяется необходимая и достаточная горнотехнологическая структура вскрытия и подготовки шахтоучастка, адаптированная к технологической схеме отработки угольного разреза, для одного высокопроизводительного очистного забоя и простого воспроизводства горных работ по комбинированной геотехнологии на угольных пластах мощностью 3–5 и более метров [2].

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН разработаны модульные горно-технологические структуры шахтоучастков, адаптированные к комбинированным технологиям добычи угля, защищенные 18 патентами на изобретения Российской Федерации. Патентная защита в Институте продолжается [3]. Эти нематериальные активы – интеллектуальная собственность в виде патентов на изобретения – представляют особую ценность для бизнеса, ориентированного на проведение научных исследований и коммерциализацию результатов интеллектуальной деятельности (рис. 1).

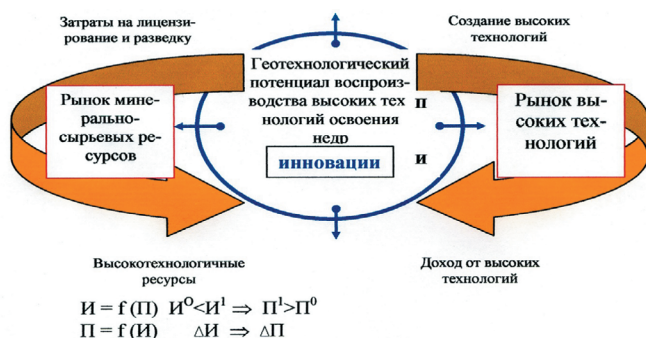


Рис. 1
Схема расширенного воспроизводства геотехнологического потенциала

Fig. 1
Schematic diagram featuring extended reproduction of geotechnological potential

Геотехнологический потенциал комбинированной разработки угольных месторождений рассматривается в научной работе как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения открытых и подземных работ для выполнения в регламентированных горно-геологических условиях добычи угля заданных технологических процессов или операций (высоких технологий) в расширенном воспроизводстве геотехнологического потенциала угольной промышленности России.

Объединяющей идеей группы горных наук «Геотехнология» является анализ научных предпосылок для технических решений, расширяющих и углубляющих функциональные возможности горных предприятий с открытыми, подземными и комбинированными способами добычи полезных ископаемых. При этом в качестве теоретической базы могут быть приняты положения о ресурсовоспроизводящих функциях и подобных же технологиях горного производства. Движущей силой является потенциал воспроизводства на основе инноваций.

Расширенное воспроизводство геотехнологического потенциала угольной промышленности России

Инновации в данном случае рассматриваются как основные движущие силы технического и технологического преобразования угольной отрасли.

Процедура создания угледобывающего предприятия мирового технико-экономического уровня рассматривается на основе инноваций как целеустремленных систем с новыми схемами планировки горных работ и применением современных организационно-технологических схем строительства и реконструкции угледобывающих предприятий [4].

Управление инновациями является составной частью процесса преобразований в угольной отрасли и отражает сущность стратегии инновационной политики в отрасли, которую целесообразно осуществлять за счет:

- выбора различных направлений технических нововведений, рациональных пропорций и сочетаний этих нововведений;
- использования передовой методологии проектирования преобразований отрасли на основе создания угледобывающих предприятий мирового технико-экономического уровня;
- применения новых способов разработки угледобывающих предприятий на основе высоких технологий;
- внедрения эффективных организационно-технологических схем нового строительства и реконструкции угледобывающих предприятий на основе использования инноваций;
- разработки долгосрочных прогнозов развития угольной отрасли на основе сценариев возможного использования новой технологии разработки угольных пластов и новой продукции отрасли.

Развитие техники и технологии добычи оказали главное воздействие на развитие отраслевого рынка по добыче угля. Новые технологии разрабатываются и внедряются: для снижения издержек производства; повышения производительности труда рабочих и оборудования; открытия новых месторождений и продления срока жизни существующих; повышения безопасности рабочих и снижения вредных воздействий на окружающую среду [5].

Комбинированная геотехнология – раздел горных наук, обеспечивающий исследованиями технологий добычи твердых полезных ископаемых, сочетающих чаще элементы открытой и подземной геотехнологий, увязанных в единый комплекс для повышения эффективности, безопасности и экологической сбалансированности добычи полезных ископаемых [6].

Проведена классификация способов комбинированной (открыто-подземной) технологии разработки угольных месторождений (рис. 2).

¹ Угольная промышленность Кузбасса. Основные показатели работы. Ежемесячный сборник №12. АО ИВТ. Кемерово; 2022. 80 с.



Рис. 2
Классификация комбинированных (физико-технических) способов разработки угольных месторождений

Fig. 2
Classification of combined (physical and technological) mining methods of coal deposits

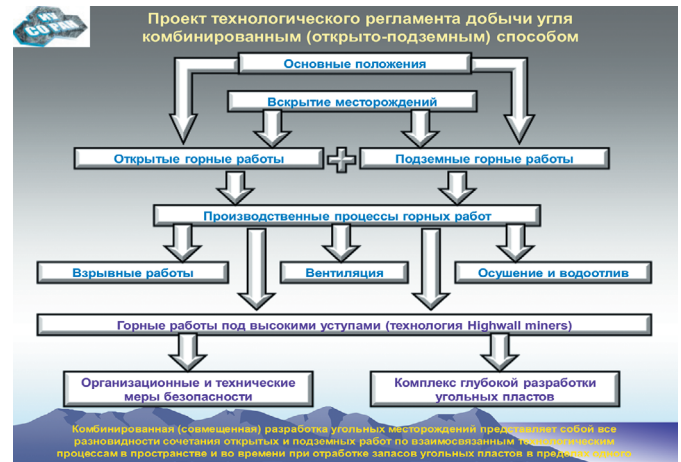


Рис. 3
Структура проекта технологического регламента комбинированным (открыто-подземным) способом с учетом переходного звена по технологии «Highwall miners»

Fig. 3
The structure of technological regulation draft for combined (open-cast and underground) method of coal mining considering a transitional link based on the Highwall miners technology

Классификация как метод системного анализа позволяет упорядочить угледобывающие предприятия по их наиболее существенным признакам, структурному единству и является одним из фундаментальных процессов в горной науке.

На основе классификации разработан проект технологического регламента ведения комбинированных (открыто-подземных) горных работ по освоению угольных месторождений Кузбасса (рис. 3) с учетом требований Ростехнадзора РФ.

Технологические схемы открыто-подземных (комбинированных) разработок хорошо сочетаются с модульными структурами и позволяют быстро вводить в действие новые мощности, полнее использовать запасы месторождения, обеспечить более экономичную их разработку [7].

Научно-технологическое обеспечение комплексного освоения угольных месторождений должно быть направлено на создание и совершенствование комбинированных геотехнологий с соответствующей интеллектуальной собственностью, ориентированной на инновационную составляющую патентного портфеля, стоимость которого может во много раз превышать стоимость иного имущества угледобывающей компании. Поэтому интеллектуальная собственность может рассматриваться как перспективный кредитный инструмент комплексного освоения недр [8].

Горные работы под высокими уступами необходимо проводить с соблюдением мер безопасности по специально разработанным мероприятиям безопасного ведения работ под высокими уступами и уступами в зонах тектонической нарушенности.

Открыто-подземная разработка пологого угольного пласта включает подземную безлюдную технологию «Highwall miners» с комплексом глубокой разработки пласта (КГРП) [9; 10]. Впервые в России эта технология была испытана на угольном разрезе Распадский в Кузбассе. В Кузбассе системой КГРП обрабатывали угольные пласты

на участках открытых горных работ: ЗАО «Распадская», ЗАО «Разрез Купринский», ООО «Разрез Южный».

В процессе работы учтены **Организационные и технические меры безопасности горных работ под высокими уступами** как один из разделов проекта технологического регламента добычи угля комбинированным (открыто-подземным) способом.

В развитие работ по совершенствованию технологий открытой разработки добычи угля на пологопадающих и наклонных пластовых месторождениях с максимальным использованием техногенного ресурса выработанных пространств угольного разреза создан метод выбора рационального порядка разработки пологопадающих и наклонных пластовых месторождений двумя очередями с внутренним отвалообразованием для циклично-поточного комплекса [4]. В основу метода положены новые принципы формирования и развития технологического пространства, обеспечивающие наиболее выгодные условия эксплуатации месторождений по сравнению с известными принципами, используемыми в технологиях с традиционным продольно-поперечным порядком развития рабочей зоны угольного разреза.

Основой исследований авторов являются научно-методические разработки специалистов ИПКОН РАН, ИГД СО РАН и НТЦ-НИИОГР применительно к комбинированной (открыто-подземной) геотехнологии комплексного освоения угольных месторождений. Для визуализации модели объектов в трехмерном пространстве используется компьютерная технология на основе системы MINEFRAME (ГоИ КНЦ РАН) с модернизацией для угольных месторождений.

Использование горнотехнологической структуры модульных шахтоучастков (в проекте «шахта-лава») для добычи подземным способом на горных отводах угольного разреза значительно увеличивает эффективность комбинированной (открыто-подземной) геотехнологии комплексного освоения угольных месторождений Кузбасса [2].

Применительно к угледобывающей промышленности комбинированные геотехнологии – это совокупность зна-

2 Highwall Miners Extend Mine-able Reserves. Bucyrus. Available at: <http://www.sacee.org.za/docs/Highwall%20Mining%20Extend%20Mine-able%20Reserves%20-%20J%20Fouche.pdf>

ний о совмещении в пространстве и во времени открытого и подземного способов разработки угольных месторождений, закономерностях поведения системы «угольный разрез–подземные выработки» в массиве горных пород, технических, экономических, экологических и организационных взаимосвязях технологических процессов при добыче угля [11].

Технологический комплекс комбинированной разработки угольных месторождений рассматривается как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения открытых и подземных работ для выполнения в регламентированных горно-геологических условиях добычи угля заданных технологических процессов или операций в расширенном воспроизводстве геотехнологического потенциала угольной промышленности России и остальных стран мира [12; 13]

Практическое применение комбинированного способа разработки в Кузбассе началось с 2003 г. благодаря научно-методическому обоснованию комбинированной физико-технической геотехнологии в Институте угля СО РАН и технико-экономическому обоснованию инвестиций для шахты «Сибиргинская» угольного разреза «Сибиргинский» (Гипроуголь, г. Новосибирск) и угольного разреза «Моховский» (шахта «Байкаимская»). В настоящее время в Кузбассе работают 12 угледобывающих предприятий открыто-подземным способом. В 2022 г. добыча угля комбинированным способом составила 60 128 тыс. т, или 27% от общей добычи 223 638 тыс. т в Кузбассе (рис. 4). Без учета комбинированного способа – шахтами (подземным способом) добыто 46 002 тыс. т, угольными разрезами (открытым способом) – 117 508 тыс. т (рис. 4).

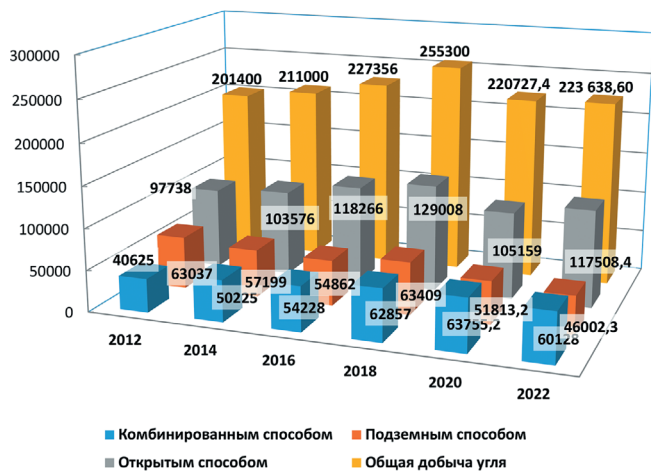


Рис. 4 Годовая добыча угля в Кузбассе по способам разработки (открытый, подземный, комбинированный)

Fig. 4 Annual coal production in Kuzbass by the mining methods (surface, underground, combined)

Область применения схем вскрытия и подготовки полей угольных разрезов по модульной горнотехнологической структуре комбинированного способа охватывает практически весь диапазон условий действующих, проектируемых и перспективных разрезов на пологих пластах Кузбасса [14]. Особенно целесообразна она для разработки первоочередных подземных участков при предельном коэффициенте вскрыши разреза, так как предусматривает увеличение срока существования угледобывающего пред-

приятия без значительных капитальных затрат в условиях рационального использования недр. Целесообразно применение комбинированной разработки при дренаже поля разреза для угольных месторождений со сложными гидрогеологическими условиями, где требуется взаимная увязка горной и дренажной частей проекта угольного разреза.

С 2012 по 2022 г. добыча угля в Кузбассе комбинированным способом увеличилась в 1,5 раза – с 40 до 60 млн т в год (рис. 5). Используются данные следующих предприятий.

1. ОАО «УК Кузбассразрезуголь» (р. Моховский – ш. Байкаимская, р. Ерунаковский – ш. Ерунаковская VIII, р. Осиниковский – ш. Алардинская + р. Калтанский).
2. ОАО «СУЭК-Кузбасс» (ш/у Талдинское-Западное, в нем ш. Талдинская-Западная – р. Заречный и Талд.-Зап. II, р. Камышанский ш/у Котинская, ш. имени В.Д. Ялевского).
3. ОАО ХК «СДС-уголь» (р. Черниговец – ш. Южная).
4. ОАО «Южный Кузбасс» (р. Сибиргинский – ш. Сибиргинская, р. Ольжерасский – ш. Ольжерасская-Новая,). Отдельно ш. УК Инская – Рр Сартаки.
5. Распадская УК (ш. Распадская – р. Распадский), (в том числе и с добавкой КОКС).

Проведен также анализ добычи угля в Кузбассе комбинированным способом разработки с выделением как открытого способа добычи, так и подземного по модульной геотехнологической структуре шахтоучастков на угольных разрезах с использованием единой производственной инфраструктуры угледобывающего комплекса (рис. 5).



Рис. 5 Структура добычи угля в Кузбассе комбинированным (открыто-подземным) способом, тыс. т/год

Fig. 5 The structure of coal production in Kuzbass using the combined (surface and underground) mining method, thousand tons per year

Установлено, что добыча на модульных шахтоучастках угольных разрезов за 10 лет была увеличена с 15,8 до 25,9 млн т. Открытым способом при комбинированной технологии добыча угля была увеличена с 24,8 до 34,2 млн т.

Установлена высокая эффективность комбинированного способа разработки угольных пластов с прибылью выше среднего по Кузбассу в 1,5 раза [14].

Заключение

В результате анализа технико-технологических решений открытого способа освоения угольных месторождений установлено, что лучшие технико-экономические и экологические показатели в сравнении с продольной системой разработки (принятой за базовую) обеспечивают поперечные и комбинированные системы, позволяющие за счет более эффективного использования выработанного пространства оптимизировать режим ведения горных работ. Для систематизации приведены предлагаемые технологии открытой угледобычи с внутренним отвалообразованием по относительному коэффициенту экологической чистоты (КЭЧ), учитывающему степень воздействия горного производства на все виды природных ресурсов [4].

Применительно к угледобывающей промышленности геотехнологический кластер комбинированной технологии – это совокупность знаний и совмещений в пространстве и во времени открытого и подземного способов разработки угольных месторождений, закономерностях поведения системы «угольный разрез–подземные выработки» в массиве горных пород, технических, экономических, экологических и организационных взаимосвязях технологических процессов при добыче угля [14].

На основе предложенных принципов формирования и рационального использования пространства угольного разреза могут быть созданы эффективные технологии открытой и комбинированной добычи угля, дающие возможность:

- минимизировать объем технологического пространства угольного разреза;
- разместить максимальный объем вскрышных пород в контурах поля угольного разреза;
- производить непрерывную засыпку выработанного пространства угольного разреза на всех этапах эксплуатации разреза с одновременной рекультивацией нарушенных земель;
- обеспечить условия для эффективного использования транспорта угольного разреза.

Разработанные в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН программы позволяют определить параметры системы разработки с внутренним отвалообразованием при отработке пологих и пластовых месторождений, обеспечивающие размещение на внутреннем отвале до 80% от общего объема пород вскрыши, с оценкой уровня экологической безопасности по относительному коэффициенту экологической чистоты (КЭЧ), учитывающему степень воздействия горного производства на все виды природных ресурсов.

Список литературы

1. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Михайлов А.Ю. Интеллектуальная шахта угольного разреза. *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2018;(4):306–313.
2. Федорин В.А., Шахматов В.Я., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Открыто-подземный способ разработки угольных месторождений Кузбасса. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2018;5(1):177–182.
3. Клишин В.И., Анферов Б.А., Кузнецова Л.В., Никитенко С.М. Способ открыто-подземной разработки пологого угольного пласта. Патент РФ №2768345. Опубл. 23.03.2022 бюл. №9.
4. Опарин В.Н. (ред.). *Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твердых полезных ископаемых*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2010. 254 с.
5. Шишков Р.И., Федорин В.А., Шахматов В.Я. Открыто-подземный способ вскрытия и подготовки пологих угольных месторождений. *Уголь*. 2020;(10):13–16. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-10-13-16>
6. Ордин А.А., Васильев И.В. Обоснование оптимальной глубины перехода от открытых горных работ к подземным при отработке мощных угольных пластов участка «Разрез Распадский». *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2015;(2):44–51.
7. Варфоломеев Е.Л., Татарина О.А. Выявление особенностей применения открыто-подземного способа разработки для угольных месторождений Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(S38):199–207. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-199-207>
8. Клишин В.И., Кузнецова Л.В., Анферов Б.А. Применение шагающей крепи для безопасной добычи угля с борта разреза комплексом глубокой разработки пластов. *Безопасность труда в промышленности*. 2022;(6):28–33. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-6-40-45>
9. Sasaoka T., Karian T., Hamanaka A., Shimada H., Matsui K. Application of highwall mining system in weak geological condition. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2016;3(3):311–321. <https://doi.org/10.1007/s40789-016-0121-6>
10. Нецветаев А. Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Развитие технологии безлюдной угледобычи с применением комплексов КГРП. *Горная промышленность*. 2015;(4):87.
11. Clarkson L. Effect of punch longwall retreat on highwall stability. In: Aziz N., Kininmonth B. (eds.) *Proceedings of the 16th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 10–12 February 2016*, pp. 509–521. Available at: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2299&context=coal>
12. Montiel L., Dimitrakopoulos R., Kawahata K. Globally optimising open-pit and underground mining operations under geological uncertainty. *Mining Technology*. 2016;125(1):2–14. <https://doi.org/10.1179/1743286315Y.0000000027>
13. Bowen L. et al. Influence of underground mining direction under plane condition over slope under open-underground combined mining. *Physical and Numerical Simulation of Geotechnical Engineering*. 2015;(21):51–55.
14. Fedorin V., Shakhmatov V., Opruk G., Kuznetsova E. Analysis of combined open-pit and underground mining method for Kuzbass coal deposits. *E3S Web of Conferences*. 2021;330:01006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133001006>

References

1. Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya., Mikhailov A.Yu. Intelligent open pit coal mine. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov*. 2018;(4):306–313. (In Russ.)
2. Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya., Anferov B.A., Kuznetsova L.V. Hybrid opencast/underground method for mining coal deposits in Kuzbass. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2018;5(1):177–182. (In Russ.)
3. Klishin V.I., Anfyorov B.A., Kuznetsova L.V., Nikitenko S.M. *Open-underground method for development of flat coal seam*. Patent RF No.2768345. Publ. 23.03.2022 bulletin No.9. (In Russ.)
4. Oparin V.N. (ed.) *The ways for advancing effectiveness and ecological safety of solid mineral deposit open mining*. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2010. 254 p. (In Russ.)
5. Shishkov R.I., Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya. Surface-underground method for opening and preparing shallow coal deposits. *Ugol*. 2020;(10):13–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-10-13-16>
6. Ordin A.A., Vasiliev I.V. Substantiation for optimal depth of shifting from open to underground mining while working over thick seams of “Razrez Raspadsky” section. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov*. 2015;(2):44–51. (In Russ.)
7. Varfolomeev E.L., Tatarinova O.A. Detection of peculiarities of application of open-underground method of development for coal deposits of Kuzbas. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(S38):199–207. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-199-207>
8. Klishin V.I., Kuznetsova L.V., Anferov B.A. Use of the walking support for coal safe extraction from the side of an open pit by the deep reservoir development complex. *Occupational Safety in Industry*. 2022;(6):28–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2022-6-40-45>
9. Sasaoka T., Karian T., Hamanaka A., Shimada H., Matsui K. Application of highwall mining system in weak geological condition. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2016;3(3):311–321. <https://doi.org/10.1007/s40789-016-0121-6>
10. Netsvetaev A.G., Grigoryan A.A., Pruzhina D.I. Progress of highwall miner-based unmanned coal mining technology. *Russian Mining Industry*. 2015;(4):87. (In Russ.)
11. Clarkson L. Effect of punch longwall retreat on highwall stability. In: Aziz N., Kininmonth B. (eds.) *Proceedings of the 16th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 10–12 February 2016*, pp. 509–521. Available at: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2299&context=coal>
12. Montiel L., Dimitrakopoulos R., Kawahata K. Globally optimising open-pit and underground mining operations under geological uncertainty. *Mining Technology*. 2016;125(1):2–14. <https://doi.org/10.1179/1743286315Y.0000000027>
13. Bowen L. et al. Influence of underground mining direction under plane condition over slope under open-underground combined mining. *Physical and Numerical Simulation of Geotechnical Engineering*. 2015;(21):51–55.
14. Fedorin V., Shakhmatov V., Opruk G., Kuznetsova E. Analysis of combined open-pit and underground mining method for Kuzbass coal deposits. *E3S Web of Conferences*. 2021;330:01006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133001006>

Информация об авторах

Федорин Валерий Александрович – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: fedorinva@ic.sbras.ru

Шахматов Вячеслав Яковлевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

Опрук Глеб Юрьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

Аникин Михаил Вячеславович – ведущий программист, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

Information about the authors

Valeriy A. Fedorin – Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: fedorinva@ic.sbras.ru

Vyacheslav Ya. Shakhmatov – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

Gleb Yu. Opruk – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

Mikhail V. Anikin – Principal Software Engineer, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.07.2023

Поступила после рецензирования: 29.08.2023

Принята к публикации: 30.08.2023

Article info

Received: 16.07.2023

Revised: 29.08.2023

Accepted: 30.08.2023