ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(12):156-165
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.014.2 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-156-165

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ — КЛЮЧЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ

А.А. Мешков[1], О.И. Казанин[2], А.А. Сидоренко[2]

[1] АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия
[2] Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: sidorenkoaa@mail.ru

Аннотация: Выполнен анализ конъюнктуры российского и международного рынков угля. Сформулированы современные вызовы, стоящие перед угледобывающими шахтами, разрабатывающими энергетические угли. Показана возможность повышения конкурентоспособности угольных шахт за счет увеличения эффективности использования современного надежного высокопроизводительного оборудования. Определены основные принципы реализации производственного потенциала шахт. Предложена методика и выполнена оценка эффективности использования очистного оборудования на ведущих угледобывающих шахтах России (шахта имени В.Д. Ялевского). Выполнен анализ основных причин простоев высокопроизводительного оборудования на шахтах. Выявлены причины нереализации производственного потенциала современного высокопроизводительного оборудования угольных шахт и определены основные направления совершенствования подземной угледобычи, позволяющие существенно повысить ее эффективность. Показано, что для реализации производственного потенциала шахт необходимо обеспечить выполнение следующих условий: наличие высокотехнологичных запасов, применение наилучших доступных технологий угледобычи, а также соответствие применяемых технологий и их параметров меняющимся во времени и пространстве горного отвода горно-геологическим и горнотехническим условиям. В качестве направлений дальнейших исследований определена структурная и параметрическая оптимизация технологических схем интенсивной отработки пологих газоносных угольных пластов.

Ключевые слова: подземная разработка, угольные пласты, длинные очистные забои, оборудование, технико-экономические показатели, простои, производительность.

Для цитирования: *Мешков А.А., Казанин О.И., Сидоренко А.А.* Реализация производственного потенциала высокопроизводительного оборудования — ключевое направление совершенствования подземной добычи энергетических углей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 156–165. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-156-165.

Implementation of production potential of high-performance equipment — A key trend of improvement in underground mining of power-generating coal

A.A. Meshkov[1], O.I. Kazanin[2], A.A. Sidorenko[2]

[1] JSC SUEK-Kuzbass, Leninsk-Kuznetskiy, Russia,
[2] Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: sidorenkoaa@mail.ru

© А.А. Мешков, О.И. Казанин, А.А. Сидоренко. 2020.

Abstract: The Russian and international coal market conditions are analyzed. The challenges of power-generating coal mines are specified. The competitive recoverability of coal mines with enhanced-performance, modern, reliable and high-production equipment is illustrated. The implementation philosophy of the coal mine production potential is formulated. The performance evaluation procedure is proposed and implemented in terms of cutting–loading equipment of Russia's top coal mines (Yalevsky mine). The main causes of high-production equipment downtimes in mines are analyzed. The reasons of mis-implementation of production potential of modern high-production coal mining equipment are revealed, and the top-priority trends of improvement and efficiency enhancement in underground coal mining are identified. The implementation of the production potential of coal mines requires fulfillment of certain conditions, namely, availability of highly workable reserves and advanced coal mining technologies, compliance of the technologies with geological and geotechnical conditions variable in time and in space within the mining lease limits. The further research aims at structural and parametric optimization of process flows in high-rate mining of flat-pitching gas-bearing coal seams.

Key words: underground mining, coal seams, longwalls, equipment, technical and economic performance, downtime, productivity.

For citation: Meshkov A.A., Kazanin O.I., Sidorenko A.A. Implementation of production potential of high-performance equipment—A key trend of improvement in underground mining of power-generating coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):156-165. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-156-165.

Введение

Развитие угледобычи в России в последние десятилетия осуществляется в условиях низкого спроса на внутреннем рынке, обусловленного более низкой стоимостью других энергоносителей (в первую очередь природного газа), и происходит только за счет постоянного наращивания экспорта угля, объемы которого достигли в 2019 г. 215 млн т. Таким образом доля экспорта приблизилась к 50% всей добычи, которая в 2019 г. составила 445 млн т угля. Следует отметить, что снижение потребление угля на внутреннем рынке России до 2040 г. не прогнозируется, кроме того, в указан-

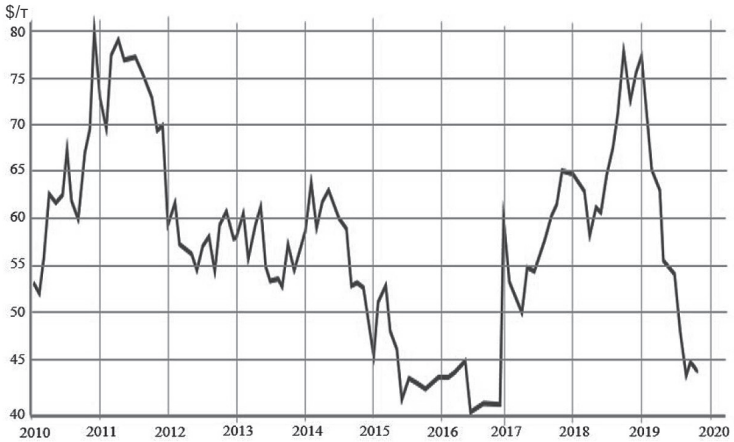

Рис. 1. Динамика цены на уголь на мировом рынке (по данным [2])
Fig. 1. World market coal price movement (according to the data from [2])

ный период по оценкам ОПЕК ожидается незначительный рост спроса на уголь на мировом рынке [1]. Однако современный мировой рынок угля характеризуется снижением спроса на уголь, что при его высокой насыщенности предопределяет периодическое падение цены (рис. 1), а это наиболее сильно сказывается на производителях энергетического угля, стоимость которого на рынке традиционно существенно (в 2 — 3 раза) ниже, чем коксующихся углей.

Для российских экспортеров ситуация усугубляется высокими затратами на транспорт из основного угледобывающего бассейна России — Кузбасса, который удален от основных потребителей и угольных терминалов на тысячи километров. При том, что в объемах экспорта доля энергетического угля превышает 90%, сложившаяся ситуация ставит под вопрос экономическую целесообразность сохранения высоких объемов экспорта, а соответственно и объемов добычи. Снижение спроса (как текущего, так и в долговременной перспективе) и падение цен на мировом и внутреннем рынках являются вызовами для угледобывающей отрасли и требуют поиска новых путей обеспечения конкурентоспособности угледобывающих предприятий. Для угледобывающих регионов с монопрофильными городами сложившаяся ситуация является критической.

Следует отметить, что наиболее остро проблема обеспечения конкурентоспособности стоит перед предприятиями, ведущими добычу энергетических углей подземным способом, поскольку они вынуждены конкурировать с более производительными разрезами. Производительность труда на шахтах в угольной отрасли России отстает от производительности труда на разрезах более чем в 2 раза [3]. Именно более высокая производительность открытого способа предопределила его преобладание и постоянный рост его доли при добыче угля, которая за последние 20 лет увеличилась с 60 до 75%. Таким образом, в сложившейся ситуации остро стоит проблема не просто повышения конкурентоспособности, а обеспечения жизнеспособности поземной добычи энергетических углей в России. Целью данной работы является обоснование принципов повышения конкурентоспособности шахт, ведущих добычу энергетических углей подземным способом в условиях неблагоприятной конъюнктуры рынка.

Основные принципы оценки и реализации производственного потенциала

Разница между уровнем затрат и отпускной ценой — маржа — предопределяет показатели экономической эффективности и возможность обеспечения конкурентоспособности и жизнеспособности предприятия. При низких значениях маржи основным способом обеспечения экономической эффективности работы предприятия является повышение прибыли за счет увеличения объемов производимой продукции.

Решением проблемы повышения эффективности подземной угледобычи энергетических углей, по нашему мнению, является реализация производственного потенциала высокопроизводительного оборудования. В первую очередь речь идет об оборудовании длинных очистных забоев, являющихся основной производственной единицей угледобывающих шахт. Энерговооруженность современных комбайнов, выпускаемых ведущими мировыми фирмами, достигла 2 — 2,9 МВт, надежность составляет 0,98. Благодаря высоким показателям на шахтах России произошло постепенное замещение отечественных марок комбайнов зарубежными [4]. Применение современного надежного и энерговооруженного оборудования позволяет дости-

гать теоретической производительности очистных комбайнов от 15—30 т/мин при отработке тонких пластов до 60—108 т/мин при отработке мощных пластов. Следует отметить, что достижение указанной теоретической производительности в реальных условиях невозможно, однако использование подхода, основанного на расчете теоретической производительности, позволяет осуществлять укрупненную оценку эффективности работы оборудования в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. При этом теоретически возможная производительность комбайна может быть принята за единицу или 100%, а фактическая производительность выражена в долях единицы или в процентах от фактической.

Реалазация потенциала оборудования не только обеспечивает повышение прибыли за счет увеличения объемов выпуска продукции, но и создает условия для существенного снижения себестоимости угледобычи, что подтверждается исследованиями других авторов. Так, например, рассматривается [5] возможность снижения себестоимости в 1,7—1,8 раза за счет реализации потенциала оборудования, что обеспечивается повышением управляемости производственными процессами путем совершенствования функций планирования, мотивации, организации и контроля.

Оценка фактической эффективности реализации потенциала оборудования

Причины низкой реализации потенциала очистного оборудования становятся понятны при рассмотрении структуры времени его работы (рис. 2). Даже при идеальной организации труда и благоприятных горно-геологических условиях из общего календарного времени выпадают значительные периоды, связанных с плановыми и неплановыми простоями оборудования, а также снижением производительности его работы.

На рис. 3 представлены данные о динамике добычи очистных забоев по месяцам при отработке мощных пластов на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». Из диаграмм (рис. 3) видно, что работа лав является очень неустойчивой и характеризуется значительными (многократными) колебаниями уровня нагрузки на очистной забой. На общем фоне суще-

Рис. 2. Структура времени работы очистного оборудования [6]
Fig. 2. Mining equipment duty time structure [6]

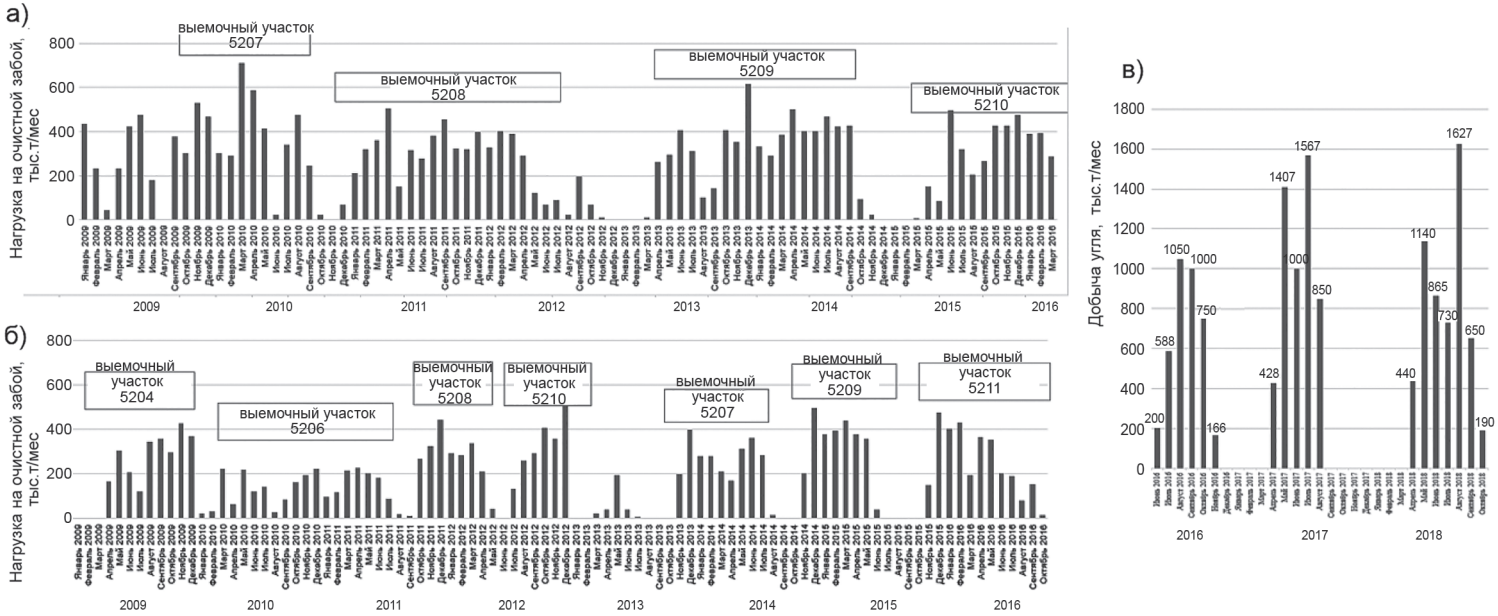

Рис. 3. Динамика добычи лав по месяцам на шахте имени В.Д. Ялевского (бывшие шахты «Котинская» и № 7): пласт 52, шахта «Котинская» (а); пласт 52, шахта № 7 (б); пласт 50, шахта имени В.Д. Ялевского (в)

Fig. 3. Longwall production performance history in Yalevsky mine (former mines Kotinskaya and No. 7) by months: (a) seam 52, Kotinskaya mine; (b) seam 52, mine No. 7; (v) seam seam 50, Yalevsky mine

ственно выделяются показатели работы лавы при отработке пласта 50 (рис. 3, *в*), которые в 2 раза превышают показатели других очистных забоев. Рекордные показатели при отработке пласта 50 достигнуты благодаря применению современной высокопроизводительной техники и лучших технологий управления газовыделением [7]. Однако этот же график (рис. 3, *в*) демонстрирует как отсутствие устойчивости в работе лавы, так и существенные по времени неплановые простои оборудования (3 — 6 месяцев).

Для оценки эффективности использования современного очистного оборудования на ведущих угледобывающих предприятиях России была определена фактическая реализация потенциала оборудования. Круговая диаграмма (рис. 4) демонстрирует фактические показатели использования очистных комплексов на шахте имени В.Д. Ялевского. Реализуемый потенциал оборудования составляет лишь 18,75%. Как видно из диаграммы (рис. 4), плановые простои составляют 27,5% от теоретического потенциала, а нереализованный потенциал, связанный в первую очередь с внеплановыми простоями, достигает 54%.

Следует отметить, что на наличие организационно-технических резервов для повышения эффективности работы оборудования на выемочных участках шахт АО «СУЭК-Кузбасс» за счет снижения времени простоев оборудования указывали и другие авторы [9]. Однако для снижения простоев оборудования в этих работах [8] предлагалось оперативно управлять режимом работы очистного забоя для обеспечения максимальной скорости подачи комбайна. Однако, по нашему мнению, для разработки эффективных мер по повышению уровня использования оборудования необходимо проведение анализа основных причин наиболее длительных простоев оборудования для их сокращения или полной ликвидации.

Рис. 4. Структура фактического времени работы очистного оборудования на шахте имени В.Д. Ялевского

Fig. 4. Actual duty time of mining equipment in Yalevsky mine

Основные причины неплановых простоев оборудования

Выполненные исследования показали, что могут быть выделены следующие группы причин неплановых простоев:

1. Низкая эффективность управления газовыделением на выемочных участках:

- низкая эффективность проветривания;
- низкая эффективность дегазации;
- низкая эффективность изолированного отвода МВС;
- самовозгорание угля.

2. Низкая эффективность управления состоянием массива горных пород:

- нарушение эксплуатационного состояния участковых выработок;
- вывалы кровли в лаве;
- динамические и газодинамические явления.

3. Нарушение работы вспомогательных систем:

- транспорт;
- вентиляция и дегазация;
- водоотлив;
- энергоснабжение.

4. Организационные причины:

- несвоевременная подготовка новых выемочных участков;
- нарушения в организации монтажно-демонтажных работ.

Степень влияния указанных факторов зависит от конкретного сочетания горно-геологических и горнотехниче-

ских условий и применяемых технологических решений. Так, например, в условиях шахты имени В.Д. Ялевского основные причины внеплановых простоев при отработке пласта 50 связаны с несвоевременной подготовкой новых выемочных участков, а при отработке пласта 52 — с недостаточной эффективностью управления газовыделением на выемочных участках; на шахте «Талдинская-Западная-2» — с низкой эффективностью управления состоянием массива горных пород.

Однако следует еще раз отметить, что даже на ведущих угледобывающих предприятиях мира имеющийся производственный потенциал не может быть реализован на 100%. По нашему мнению, необходимо выделить следующие основные причины, препятствующие его реализации (рис. 5):

- несовершенство применяемых технологий;
- сложности горно-геологических условий;
- влияние «человеческого фактора».

Несовершенство применяемых технологий предопределяется ограниченной областью рационального применения различных технологий и наличием целого ряда факторов, снижающих эффективность их применения в конкретных горно-геологических условиях.

Сложность горно-геологических условий является одним из основных факторов, предопределяющих эффективность применения современного высокопроизводительного очистного оборудования [9—10]. К числу основных факторов, осложняющих отработку запасов на шахтах «СУЭК-Кузбасс», следует отнести:

- повышенную метаноносность углепородного массива;
- сближенное залегание пластов;
- неустойчивые вмещающих пород;
- геологическую нарушенность участков;
- склонность разрабатываемых пластов к самовозгоранию.

Ограниченная область применения комплексно механизированных длинных

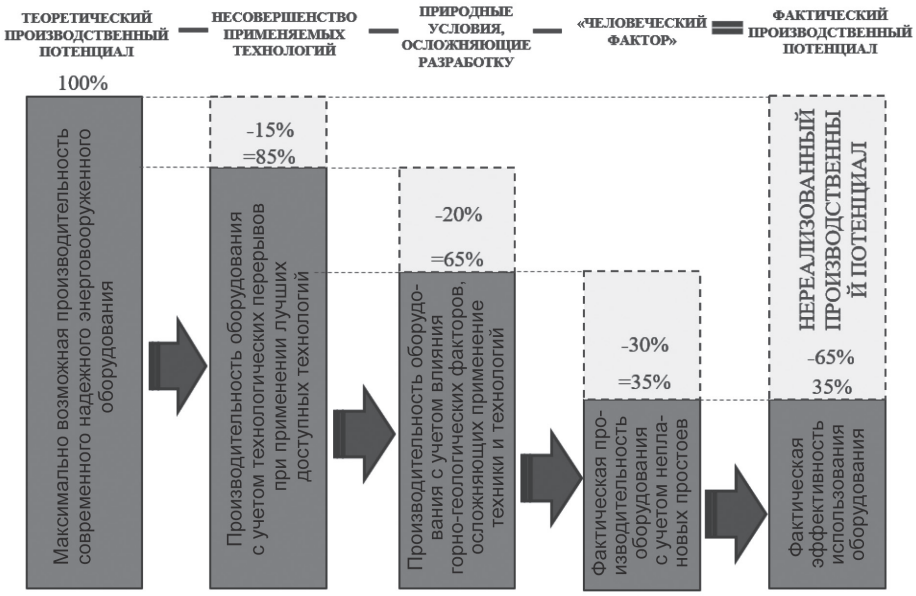

Рис. 5. Причины нереализации производственного потенциала оборудования
Fig. 5. Causes and sources of nonrealized excess capacity of equipment

очистных забоев предопределяет высокие требования к горно-геологическим условиям их эксплуатации.

В этой связи для шахт, отрабатывающих запасы энергетических углей, возрастает значение «технологичности» извлечения запасов, предопределяющей уровень издержек производства и эффективности использования оборудования при их добыче.

Человеческий фактор является основной причиной большинства аварийных случаев на угольных шахтах и простоев высокопроизводительного оборудования. Именно несоответствие принимаемых решений сложившейся горнотехнической ситуации и горно-геологическим условиям является основной причиной низкой эффективности применения оборудования на шахтах.

Совокупность описанных факторов предопределяет возможность реализации даже на ведущих угледобывающих предприятиях производственного потенциала оборудования лишь на 35%.

Выявленные причины нереализации производственного потенциала современного высокопроизводительного оборудования угольных шахт позволили определить основные направления совершенствования подземной угледобычи, позволяющие существенно повысить ее эффективность:

- внедрение подготовки выемочных участков с использованием многоштрековой подготовки выемочных участков (в варианте три штрека) для повышения эффективности управления газовыделением и создания условий для реализации современных схем участкового транспорта;
- обоснование рациональных параметров выемочных столбов (длина лавы и длина выемочного столба);
- обоснование рациональной технологической структуры шахты для повышения эффективности управления газовыделением и состоянием массива горных пород при отработке свит угольных пластов;
- исключение влияния ранее отработанных сближенных пластов за счет взаимоувязки работ по пластам.

Заключение

В условиях неблагоприятной конъюнктуры внутреннего и внешнего рынков угля, преобладания менее затратного и более безопасного открытого способа добычи основным направлением развития подземной добычи энергетических углей является реализация производственного потенциала высокопроизводительного оборудования.

Необходимыми условиями реализации производственного потенциала высокопроизводительного оборудования шахт является наличие у предприятий «высокотехнологичной» ресурсной базы и применение лучших доступных технологий реализации и обеспечения угледобычи.

Указанные условия являются необходимыми, но недостаточными, поскольку также следует обеспечить соответствие применяемых технологий и их параметров меняющимся во времени и пространстве горного отвода горно-геологическим и горнотехническим условиям ведения горных работ.

Повышение интенсивности отработки запасов и увеличение размеров выемочных столбов [7, 11, 12] предопределяют высокую изменчивость условий в пределах даже отдельных выемочных столбов, что обуславливает необходимость повышения качества проектных решений, не позволяя рассматривать только усредненные характеристики и свойства массива горных пород при обосновании параметров технологических схем.

Для повышения эффективности использования высокопроизводительного

оборудования должны быть решены следующие задачи:

• определены целесообразность, условия и области рационального применения высокопроизводительного оборудования;

• обоснованы лучшие доступные технологии добычи и обеспечения угледобычи, определены их оптимальные параметры и области рационального применения;

• выполнено обоснование технологической структуры шахты и необходимости ее изменения для обеспечения устойчивого развития горных работ;

• обоснованы пространственно-планировочные решения для повышения эффективности использования оборудования и снижения (исключения) негативного влияния горнотехнических факторов.

Направления дальнейших исследований будут связаны со структурной и параметрической оптимизацией технологических схем интенсивной отработки пологих газоносных угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копылов А. И.*, *Шаклеин С. В.* Направления совершенствования стратегии развития угольной отрасли Кузбасса // Уголь. — 2018. — № 5. — С. 80—86. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-5-80-86.

2. *Coal price*. [Электронный ресурс]. URL: https://markets.businessinsider.com/commodities/coal-price (дата обращения: 09.03.2020).

3. *Таразанов И. Г.* Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2018 года // Уголь. — 2019. — № 3. — С. 64—79. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-64-79.

4. *Галиева Н. В.* Определение конкурентоспособности отечественных марок очистных комбайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 3. — С. 203—214.

5. *Захаров С. И.*, *Макарова В. А.*, *Яблонских Н. В.* Зависимость себестоимости производственных процессов от уровня использования оборудования на предприятиях открытой и подземной угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 8. — С. 141—143.

6. *Казанин О. И.*, *Сидоренко А. А.*, *Мешков А. А.* Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 4—13. DOI 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13.

7. *Мешков А. А.*, *Волков М. А.*, *Ордин А. А.*, *Тимошенко А. М.*, *Ботвенко Д. В.* О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты имени В.Д. Ялевского // Уголь. — 2018. — № 7. — С. 4—7. DOI 10.18796/0041-5790-2018-7-4-7.

8. *Копылов К. Н.*, Кубрин С. С., *Закоршменный И. М.*, *Решетняк С. Н.* Резервы повышения эффективности работы выемочных участков угольных шахт // Уголь. — 2019. — № 3. — С. 46—49. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.

9. *Разумов Е. А.* Оценка факторов сложности условий ведения горных работ на современных угольных шахтах // Уголь. — 2019. — № 10. — С. 16—21. DOI:10.18796/0041-5790-2019-10-16-21.

10. *Gao Y., Liu D., Zhang X., He M.* Analysis and optimization of entry stability in underground longwall mining // Sustainability. 2017. Vol. 9. No 11. Pp. 2079—2088.

11. *Longwall* production remains steady // Coal Age. 2019. January/February. Pp. 24—28. https://www.coalage.com/flipbooks/january-february-2019.

12. *Peng S. S.* Longwall mining. 2019. 562 pp. DOI: 10.1201/9780429260049. ГИАБ

REFERENCES

1. Kopytov A. I., Shaklein S. V. Trends of Kuzbass coal industry improvement strategy. *Ugol'*. 2018, no 5, pp. 80—86. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-5-80-86.

2. *Coal price*, available at: https://markets.businessinsider.com/commodities/coal-price (accessed 09.03.2020).

3. Tarazanov I. G. Russia's coal industry performance for January — December, 2018. *Ugol'*. 2019, no 3, pp. 64—79. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-64-79.

4. Galiyeva N. V. Determination of competitiveness of domestic brands of shearers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no 3, pp. 203—214. [In Russ].

5. Zakharov S. I., Makarova V. A., Yablonsky N. V. Dependence of cost of production processes on the level of use of the equipment at the enterprises of open and underground coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2007, no 8, pp. 141—143. [In Russ].

6. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Meshkov A. A. Organizational and technological principles of realization of the modern high productive longwall equipment capacity. *Ugol'*. 2019, no 12, pp. 4—13. [In Russ]. DOI 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13.

7. Meshkov A. A., Volkov M. A., Ordin A. A., Timoshenko A. M., Botvenko D. V. On record length and productivity of highwall mining the V.D. Yalevsky mine. *Ugol'*. 2018, no 7, pp. 4—7. [In Russ]. DOI 10.18796/0041-5790-2018-7-4-7.

8. Kopylov K. N., Kubrin S. S., Zakorshmenniy I. M., Reshetniak S. N. Reserves of increase of efficiency of coal extraction sections of coal mine. *Ugol'*. 2019, no 3, pp. 46—49. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.

9. Razumov E. A. Assessment of factors under the most difficult conditions of conducting mining operations on modern coal mine. *Ugol'*. 2019, no 10, pp. 16—21. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-10-16-21.

10. Gao Y., Liu D., Zhang X., He M. Analysis and optimization of entry stability in underground longwall mining. *Sustainability*. 2017. Vol. 9. No 11. Pp. 2079—2088.

11. Longwall production remains steady. *Coal Age*. 2019. January/February. Pp. 24—28. https://www.coalage.com/flipbooks/january-february-2019.

12. Peng S. S. *Longwall mining*. 2019. 562 pp. DOI: 10.1201/9780429260049.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мешков Анатолий Алексеевич — канд. техн. наук,
генеральный директор, АО «СУЭК-Кузбасс»,
Казанин Олег Иванович[1] — д-р техн. наук, профессор,
декан горного факультета,
Сидоренко Андрей Александрович[1] — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: sidorenkoaa@mail.ru,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.
Для контактов: Сидоренко А.А., e-mail: sidorenkoaa@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.A. Meshkov, Cand. Sci. (Eng.), General Director,
JSC SUEK-Kuzbass, 652507, Leninsk-Kuznetskiy, Russia,
O.I. Kazanin[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Dean of Mining faculty,
A.A. Sidorenko[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: sidorenkoaa@mail.ru,
[1] Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: A.A. Sidorenko, e-mail: sidorenkoaa@mail.ru.

Получена редакцией 18.03.2020; получена после рецензии 10.07.2020; принята к печати 10.11.2020.
Received by the editors 18.03.2020; received after the review 10.07.2020; accepted for printing 10.11.2020.