

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

О. И. Казанин¹, А. А. Мешков², А. А. Сидоренко¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, 199106, Россия,
e-mail: Kazanin_OI@pers.spmi.ru

² АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, 652507, Россия, e-mail: Meshkov_AA@suek.ru

Аннотация: Рассмотрены вопросы изменения технологической структуры угольных шахт в соответствии с современными тенденциями развития технологий подземной угледобычи. На фоне роста уровня концентрации горных работ, производительности комплексно-механизированных длинных очистных забоев рассмотрены этапы эволюции технологической структуры российских шахт, результаты преобразования ее технологических подсистем и элементов. В качестве основного направления совершенствования технологий подземной угледобычи выделено создание условий для реализации производственного потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования. Показаны основные проблемы и пути совершенствования технологических подсистем шахт. Подчеркнута необходимость решения проблемы ограничения нагрузок на лавы по газовому фактору и совершенствования технологий дегазации. Дан анализ особенностей реализации современных концепций «Intelligent mine» и «Invisible mine» при добыче угля подземным способом. Рассмотрен пример успешного внедрения отдельных элементов концепции «умная шахта» на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». Показана необходимость периодического контроля соответствия принятых технологических и организационных решений текущей горнотехнической ситуации с учетом наилучших доступных технологий подземной угледобычи. Определены перспективные направления развития технологической структуры современных угольных шахт, обеспечивающих повышение эффективности реализации потенциала современного высокопроизводительного оборудования и конкурентоспособности подземного способа добычи угля.

Ключевые слова: подземная добыча угля, устойчивое развитие, выемочные участки, производительность, горное оборудование, простои, управление рисками, умная шахта, невидимая шахта.

Для цитирования: Казанин О. И., Мешков А. А., Сидоренко А. А. Перспективные направления развития технологической структуры угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6–1. – С. 35–53. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.

Prospects for development of a technological structure of underground coal mines

O. I. Kazanin¹, A. A. Meshkov², A. A. Sidorenko¹

¹ Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: Kazanin_OI@pers.spmi.ru

² JSC SUEK-Kuzbass, Leninsk-Kuznetsky, Russia, e-mail: meshkov_aa@suek.ru

Abstract: The article discusses the issues of changing the technological structure of coal mines in accordance with modern trends in the development of underground coal mining technologies. Against the background of an increase in the level of concentration of mining operations, the longwall's productivity, the stages of evolution of the technological structure of Russian mines, the results of the transformation of its technological subsystems and elements are considered. The creation of conditions for the realization of the production potential of modern high-performance longwall equipment is highlighted as the main direction of improving underground coal mining technologies. The main problems and ways of improving the technological subsystems of mines are shown. The necessity of solving the problem of limiting the longwall's productivity by the gas factor and improving degassing technologies is emphasized. The features of the implementation of modern concepts of "Intelligent mine" and "Invisible mine" in underground coal mining are considered. An example of the successful implementation of individual elements of the "smart mine" concept at the mines of JSC SUEK-Kuzbass is considered. The necessity of periodic monitoring of compliance of the adopted technological and organizational decisions with the current mining situation and their compliance with the best available technologies of underground coal mining is shown. Perspective directions of development of the technological structure of modern coal mines have been identified, ensuring an increase in the efficiency of realizing the potential of modern high-performance equipment and increasing the competitiveness of the underground method of coal mining.

Key words: underground coal mining, sustainable development, longwall panel, productivity, mining equipment, downtimes, risk management, intelligent mine, invisible mine.

For citation: Kazanin O. I., Meshkov A. A., Sidorenko A. A. Prospects for development of a technological structure of underground coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6–1):35–53. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_35.

Введение

Развитие угольной отрасли России в 21 веке характеризуется ростом объемов производства как на шахтах, так и на разрезах. После почти двукратного сокращения в период 1988–1998 гг. начиная с 1999 года добыча угля в стране стабильно росла, а снижение объемов добычи в 2020 году на 41,1 млн тонн по отношению к 2019 году было практически нивелировано в 2021 году и не отрицает общего тренда на рост. Подземным способом добывалось от 90,9 млн т (2000 г.) до 109,4 млн т (2018 г.), с объемом добычи 102,9 млн т в 2020 г. При росте общих объемов подземной угледобычи число действующих угольных шахт за период 2000–2020 гг. уменьшилось со 125 до 58. На шахтах применяются системы разработки длинными столбами, рост производительности угольных шахт обеспечи-

вался, главным образом, за счет роста производительности комплексно-механизированных очистных забоев (КМЗ). Так, за период 2000–2020 гг. среднесуточная нагрузка на КМЗ увеличилась практически в 3 раза, при более чем трехкратном сокращении числа действующих КМЗ (рис. 1) [1].

При этом показатели производительности КМЗ, например, на шахте «Имени В. Д. Ялевского», стабильно превышают 20 000 т/сут, а иногда и 55 000 т/сут [2–3]. Появление надежного производственного энерговооруженного очистного оборудования дало возможность внести изменения в раскройку шахтных полей – увеличились размеры выемочных участков, объем готовых к выемке запасов внутри столба.

Обеспечение стабильно высокого уровня нагрузок на КМЗ является общим трендом для обеспечения конкурентоспособности подземной угледо-

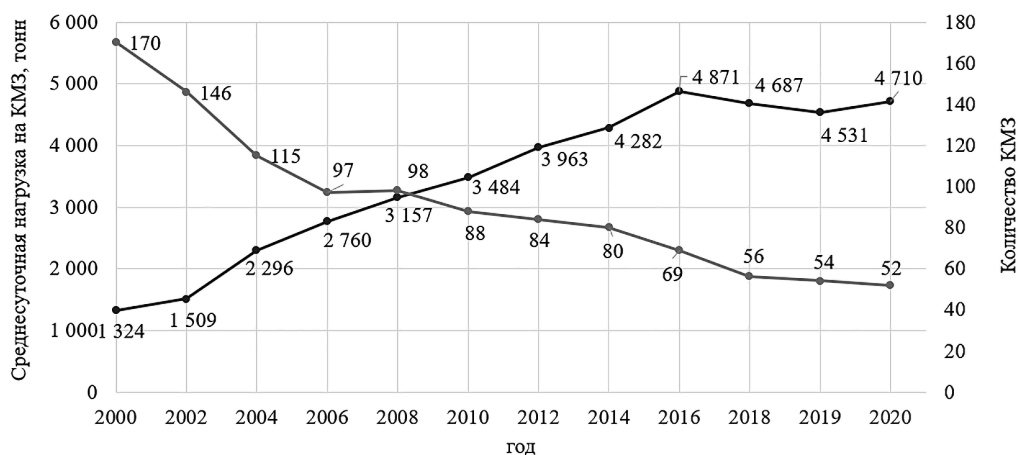


Рис. 1. Динамика среднесуточной нагрузки на КМЗ и числа КМЗ на угольных шахтах России за период 2000–2020 гг.

Fig.1. Dynamics of the longwall daily production and number of longwalls at the coal mines of Russia in the period 2000–2020

бычи [4–5]. Для этого на фоне усложнения горно-геологических условий разработки, вызванного увеличением глубины ведения горных работ, необходима соответствующая настройка всех шахтных подсистем, обеспечивающих своевременное воспроизводство фронта очистных работ [6–8], управление газовыделением (вентиляция, дегазация, изолированный отвод метановоздушной смеси) [9–11], транспорт (уголь, порода, материалы и оборудование, люди) [12], управление состоянием массива [13–15], водоотлив [16] и пр.

Целью данной работы является выбор и обоснование перспективных направлений развития технологической структуры российских угольных шахт для обеспечения конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках угля за счет повышения производительности труда, роста экологичности и безопасности подземной угледобычи.

Эволюция технологической структуры российских угольных шахт

Под технологической структурой шахты в данной работе понимается

совокупность элементов (добычные участки) и подсистем шахты, а также их взаимодействие, связывающее элементы и подсистемы в единую горнотехническую систему, нацеленную на эффективную и безопасную добычу угля. Следует отметить, что эволюция технологических структур происходит под воздействием комплекса влияющих факторов, в рамках этой работы рассматриваются лишь общие закономерности и направления изменения технологических структур российских шахт. Для анализа технологической структуры шахт можно выделить несколько характерных периодов, начиная с 1988 года, когда был достигнут объем добычи угля в России в 425 млн т, превзойти который удалось лишь в 2018 году (441,9 млн т). При этом если в 1988 году подземная угледобыча (более 172,2 млн т) обеспечивалась работой 239 шахт, то в 2018 году было добыто 109,4 млн т на 57 шахтах. Основные характеристики технологической структуры шахт РФ в различные периоды представлены в таблице.

Характеристики технологической структуры шахт РФ
Characteristics of the technological structure of mines of the Russian Federation

Показатель	Рассматриваемый период			
	1988–1993	1994–2001	2002–2018	2019–2035
Критерии эффективности	Объём добычи	Прибыль	Прибыль	ESG, прибыль
<i>Пространственно-планировочные решения</i>				
Схемы вскрытия	вертикальными стволами, наклонными стволами, комбинированная	вертикальными стволами, наклонными стволами, комбинированная	вертикальными стволами, наклонными стволами, комбинированная	наклонными стволами, комбинированная
Подготовка шахтного поля	Панельная, погоризонтная	Панельная, погоризонтная	Панельная, безгоризонтная	Панельная, безгоризонтная
Длина лавы, м	120 – 240	180 – 300	200 – 400	300 – 500
Длина столба, м	800 – 1500	1200 – 2500	до 4000	до 8000
Подготовка выемочных участков	бесцеликовая	бесцеликовая, спаренными выработками	бесцеликовая, спаренными выработками	многоштрековая
<i>Очистные работы</i>				
Количество очистных забоев	до 14	1 – 4	1 – 3	1 – 2
Средства механизации очистных работ	ОМК отечественного или польского производства	ОМК отечественного или польского производства	ОМК, включающие оборудование разных мировых производителей	ОМК ведущих мировых производителей
Нагрузка на очистные забои (КМЗ), т/сут	500 – 3000	900 – 5000	1300 – 60000	5000 – 60000
<i>Подсистемы шахты</i>				
Фронт горных работ	на разных пластах, в разных частях шахтного поля	на разных пластах, в пределах одного горизонта	преимущественно на одном пласте	на одном пласте
Транспорт угля	конвейерный, рельсовый	конвейерный, рельсовый	конвейерный	конвейерный
Транспорт людей	рельсовый, ККД* , конвейерный	рельсовый, ККД, конвейерный	монорельсовый, ККД, конвейерный	монорельсовый, колесный
Вспомогательный транспорт	рельсовый	рельсовый	монорельсовый, рельсовый	монорельсовый, колесный

*Примечание: *ККД – канатно-кресельная дорога.*

Период 1988–1993 гг. Характеризуется общим экономическим спадом, сложными горно-геологическими условиями отработки пластов (более 85% шахт отнесены к сверхкатегорным или отработывающим пласты, опасные по внезапным выбросам). На шахтах отработывались пласты с углами падения от 0 до 90 градусов, от весьма тонких до мощных. При этом порядка 90% подземной угледобычи обеспечивалось при отработке тонких и средней мощности пологих и наклонных пластов. Применяемые для отработки пологих пластов очистные механизированные комплексы (ОМК) не обладали достаточной надежностью и производительностью, производственная мощность шахты обеспечивалась, как правило, работой нескольких очистных забоев, размещаемых на одном или разных пластах, на одном, двух, а иногда и трех одновременно отработываемых горизонтах. Преобладающий способ подготовки пластов — панельный, обеспечивающий возможность размещения в шахтном поле максимального количества очистных забоев. На отдельных шахтах в одновременной работе находилось до 14 очистных забоев, оснащенных отечественными ОМК. В сочетании с отставанием работ по воспроизводству вскрытых запасов (строительству новых горизонтов) это приводило к децентрации, разбросанности горных работ, усложнению схем вентиляции, всех видов транспорта, увеличению протяженности поддерживаемых и проводимых выработок. Разрыв по вертикали между отметками горных работ и подъемными горизонтами на ряде шахт превышал 300 м. Доля условно постоянных затрат, связанных с обеспечением работы шахт, была чрезвычайно высокой и в ряде случаев превышала 60% от общих затрат. Отрасль

работала в планово убыточном режиме, для выхода из которого необходимы были существенные преобразования.

В 1991 году был издан альбом технологических схем разработки пластов на угольных шахтах, в котором в качестве основных технических решений по отработке пологих пластов предлагались панельная подготовка (двукрытые панели), системы разработки пластов длинными столбами с бесцеликовыми схемами подготовки выемочных участков. Очистные забои оборудовались ОМК отечественного или польского производства, имеющими ограниченные производительность и ресурс.

Период 1994–2001 гг. Включает основную фазу реструктуризации угольной отрасли России. Характеризуется массовым закрытием особо убыточных шахт и шахт со сложными горно-геологическими условиями, вывести которые на устойчивый прибыльный режим работы не представлялось возможным. К окончанию периода работали 125 шахт, 51 из которых (41%) были отнесены к сверхкатегорным или отработывающим пласты, опасные по внезапным выбросам. Горные работы начали сосредотачиваться, главным образом, на пологих средней мощности и мощных пластах, при отработке которых обеспечивалась высокая производительность КМЗ. Подземная угледобыча в 2001 году составила 95,2 млн т. В отношении горно-технологической структуры угольных шахт существенных изменений не произошло. Панельная подготовка в сочетании с системами разработки пластов длинными столбами при бесцеликовых схемах подготовки выемочных участков являлись преобладающими.

Вместе с тем началась приватизация предприятий угольной отрасли. У компаний появилась возможность приобретения более надежного и про-

изводительного импортного горного оборудования. Так, например, на шахте «Распадская» после приобретения в 1998 году и внедрения очистных механизированных комплексов Joy нагрузка на очистные забои возросла с 1500 до 4700 т/сут, а их число сократилось с 14 до 4.

Период 2002–2018 гг. Характеризуется завершением реструктуризации отрасли и выходом на траекторию устойчивого развития. Завершился процесс приватизации угледобывающих предприятий, угольные активы сосредоточились, главным образом, внутри крупных частных компаний. В отрасль пришли инвестиции, направленные как на новое шахтное строительство, так и на модернизацию действующего производства, в том числе за счет приобретения и внедрения горного оборудования ведущих мировых производителей. Изменение горно-технологической структуры шахт было направлено на обеспечение максимальной концентрации горных работ в пределах одного пласта, одного горизонта и, в конечном варианте, в пределах одного очистного забоя, работающего в режиме 2,0 млн т/год и более. Таким образом, постепенно сформировалось представление о рациональной технологической структуре высокопроизводительной шахты — «шахта-лава», в которой добыча угля сосредоточена в одном очистном забое.

Обеспечение стабильной работы очистных забоев с высокими нагрузками с применением надежного энерговооруженного очистного оборудования потребовало внесения целого ряда изменений как в пространственно-планировочные решения, так и в базовые технологии угледобычи (добыча, проходка, монтаж-демонтаж), а также отдельные подсистемы шахты. Так, повышение надежности и ресурса оборудования, входящего в состав ОМК, позволило

существенно увеличить размеры выемочных участков, которые возможно отрабатывать без перемонтажа. Длина лав возросла и достигла 400 м, а длина выемочных участков в отдельных случаях превысила 4,0 км (АО «СУЭК-Кузбасс»). Высокий ресурс оборудования ОМК позволил перестроить схемы подготовки: стало возможным нарезать выемочные участки по простиранию от одной до другой границы шахтного поля, без проведения наклонных выработок (бремсбергов, уклонов и ходков) в центре. Шахтное поле в этом случае представляет собой однокрылую панель, на флангах которой пройдены главные и вспомогательные наклонные стволы. Такая схема (рис. 2) была реализована на шахте «Котинская» АО «СУЭК-Кузбасс» (ныне — шахта «Имени В. Д. Ялевского»). Иногда подобную схему подготовки называют безгоризонтной, поскольку горизонты, как совокупность выработок, пройденных на одном высотном уровне с выработанным функциональным назначением (подъемные, вентиляционные и пр.) в данном случае отсутствуют. При такой раскройке максимально упрощаются сеть выработок шахты, схемы транспорта и вентиляции, сокращается удельная протяженность проводимых и поддерживаемых выработок.

При подготовке выемочных участков на смену бесцеликовым схемам пришли схемы подготовки с использованием спаренных выработок с оставлением между ними широких неизвлекаемых целиков, обеспечивающие более благоприятные условия работы КМЗ. Дальнейший рост нагрузок на очистные забои, возрастание газобильности выемочных участков, необходимость подачи на выемочные участки большого количества воздуха, размещение в выработках труб большого диаметра для изолированного

отвода метановоздушной смеси (МВС), необходимость разделения по выработкам разных видов транспорта и прочие факторы привели к тому, что компании в настоящее время рассматривают перспективы перехода на подготовку выемочных участков тремя штреками с каждой стороны выемочного столба.

Возрастание скорости подвигания очистных забоев (в ряде случаев более 400 м/мес) потребовало существенного повышения скорости проведения выработок для обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ. Наибольшее распространение получили выработки прямоугольной формы поперечного сечения с анкерным креплением. Вместе с тем несмотря на внедрение на шахтах современных проходческих комбайнов фронтального типа, проблема своевременного воспроизводства фронта очистных работ остается актуальной [17–19].

Дальнейшее повышение производительности очистных забоев обеспе-

чивается широким использованием в благоприятных горно-геологических условиях ОМК с очистными комбайнами с установленной мощностью 2–2,9 тыс. кВт [2, 20, 21]. Необходимость перестройки технологической структуры современных шахт подтверждается анализом опыта применения современного высокопроизводительного оборудования на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», который показывает недостаточную эффективность основных производственных процессов и подсистем современных шахт [2]:

- проходческие работы не обеспечивают своевременную подготовку новых выемочных участков;
- фактические сроки выполнения монтажно-демонтажных работ, как правило, превышают плановые в 1,5–2 раза;
- применение подвесных монорельсовых дорог и дизельных локомотивов не обеспечивает необходимые скорости доставки материалов и оборудования;

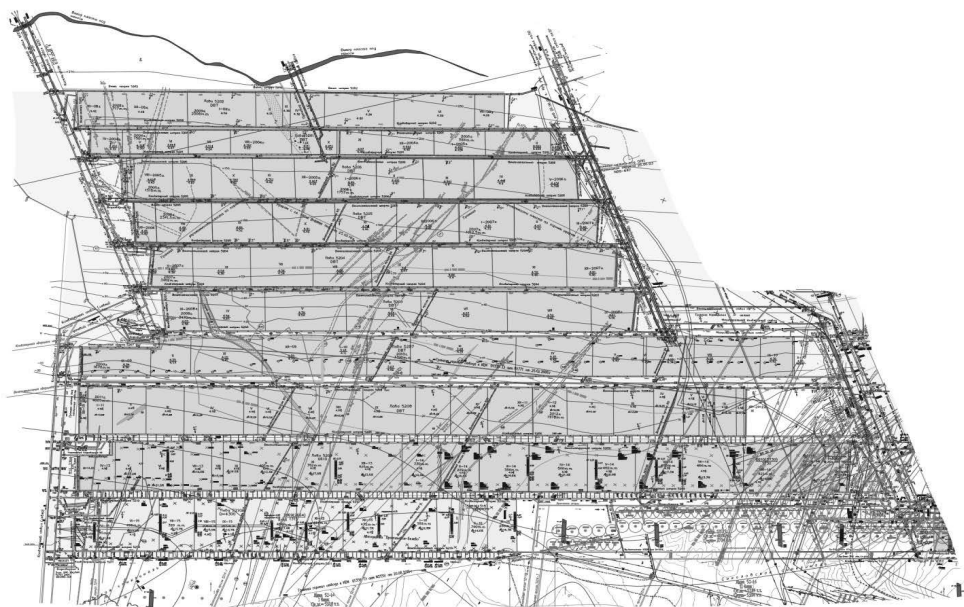


Рис. 2. Выкопировка из плана горных выработок шахты «Котинская»
Fig.2. Mine map — coal mine «Kotinskaya»

– применяемые схемы и способы дегазации не обеспечивают эффективную дегазационную подготовку разрабатываемого пласта и снятие ограничений по газовому фактору.

На рис. 3 показана недостаточная эффективность работы подсистем современной шахты на примере шахты «Имени В. Д. Ялевского», где в 2017–2018 гг. были установлены рекорды производительности очистных забоев [2, 3]. Как видно из рис. 3, периоды работы лавы с рекордной нагрузкой чередуются с длительными простоями высокопроизводительного оборудования, обусловленными несвоевременной подготовкой новых выемочных участков и высокой длительностью монтажно-демонтажных работ. Кроме того, увеличение глубины ведения горных работ и метаноносности разрабатываемого пласта 50 предопределило невозможность сохранения высоких нагрузок и снижение эффективности использования высокопроизводительного очистного оборудования.

Дальнейшее повышение глубины горных работ и метаноносности раз-

рабатываемого пласта привело к формированию ограничения производительности лавы по газовому фактору и сокращению месячной нагрузки на лаву более чем в 2 раза. Недостаточная эффективность технологий дегазации разрабатываемого пласта предопределяет снижение интенсивности его разработки и обуславливает необходимость поиска новых технологических решений [22–24].

Период 2019–2035 гг. Рассматривается как период инновационного развития. Эволюция технологической структуры шахты будет связана с перестройкой технологических подсистем для создания условий для реализации производственного потенциала высокопроизводительного оборудования, комплексного использования ресурсов угольных месторождений и снижения воздействия на окружающую среду. Такой подход предусматривает отказ от локальной оптимизации отдельных систем [7, 25, 26] в пользу глобальной оптимизации всей горнотехнической системы шахты [27, 28], направленной на достижение рационального уровня

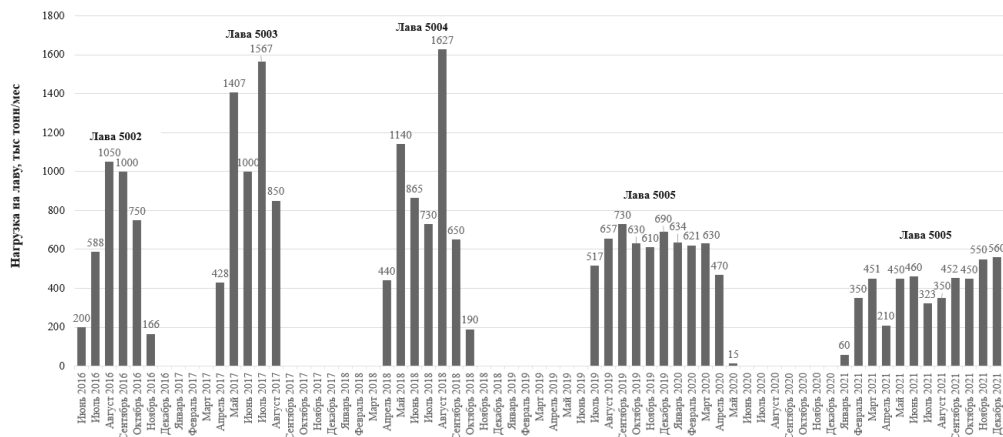


Рис. 3. Динамика месячных нагрузок на очистной забой при отработке пласта 50 в условиях шахты «Имени В. Д. Ялевского»

Fig.3. Dynamics of monthly productivity of the longwall during mining the seam 50 in conditions of «Im. V. D. Yalovsky» mine

эффективности использования очистного оборудования, превышение которого будет сопровождаться существенным ростом издержек и снижением эффекта от инвестиций. Следует отметить, что проведение такой глобальной оптимизации бессмысленно, если не будет решена проблема снятия ограничений нагрузок на очистные забои по газовому фактору. Недостаточная эффективность управления метановыделением на выемочных участках угольных шахт по-прежнему является основной причиной взрывов метана на угольных шахтах [29–31].

Современный этап эволюции технологической структуры угольных шахт проходит под влиянием современных концепций развития горных технологий, учет которых является необходимым условием формирования современных эффективных горнотехнических систем, соответствующих направлениям устойчивого развития общества. При этом наряду с показателями экономической эффективности на первый план выходят ключевые показатели, характеризующие социальную и экологическую эффективность производства (ESG).

Концепция «Intelligent mine». Реализация концепции «умная шахта» (Intelligent Mine) предполагает применение IT-технологий на всех этапах освоения месторождения — от разведки и 3D-моделирования до проектирования и управления технологическими процессами, логистикой и системами обеспечения [32–34]. Цифровая модель месторождения служит основой для дальнейшей эксплуатации шахты. В сочетании с геоинформационными системами работающие проходческие и очистные комбайны, транспортное оборудование с системами позиционирования, а также датчики различных систем обеспечения

безопасности формируют поток данных, которые обрабатываются и представляются в удобном и понятном виде (онлайн-аналитика, оценка рисков). Специфические условия угольных шахт требуют проведения существенной адаптации современных информационных технологий, даже уже нашедших своё применение при добыче угля открытым способом. Уровень развития и доступность современных систем сбора, передачи, обработки и хранения информации позволяет проводить анализ информационных потоков, содержащих сведения о положении и состоянии людей и оборудования, параметрах различных процессов, происходящих в горных выработках и недрах.

Ближайшие перспективы применения информационных технологий нового уровня связывают как с созданием «умной шахты», так и с формированием цифрового двойника (близнеца) угледобывающей шахты, использование которых и на стадии проектирования, и на стадии эксплуатации позволит прогнозировать изменение условий и показателей угледобычи и, в конечном итоге, обеспечит работу предприятия в оптимальном режиме и с достижением максимальных технико-экономических показателей при сохранении высокого уровня промышленной и экологической безопасности.

Примером успешного внедрения отдельных элементов концепции «умная шахта» на шахтах России может служить единый диспетчерско-аналитический центр ЕДАЦ-СУЭК компании «СУЭК-Кузбасс», основными функциями которого являются:

- автоматический контроль параметров, показателей и характеристик производственных объектов;
- коллективное отображение, позволяющее всем участникам про-

екта просто и доступно получить полный объем информации, имеющейся в диспетчерско-аналитической системе (ДАС);

- автоматическое формирование аварийной и предупредительной сигнализации;

- автоматическое формирование отчетов, сравнительных анализов и рекомендаций;

- сбор всей имеющейся информации, унификация и перевод данной информации в удобный формат;

- ведение анализа, а также прогнозирование процессов и состояний;

- ведение постоянного контроля и архивирование всех сигналов и значений;

- организация доступа по определенному алгоритму к результатам информации и анализа;

- рассылка ответственными лицами информации в пределах их компетентности.

Создание и развитие ЕДАЦ, включая внедрение многофункциональной системы безопасности и систем автоматизации, на предприятиях АО «СУЭК» осуществлялось начиная с 2010 г. Несмотря на то, что за период с 2010 г. добыча угля в АО «СУЭК-Кузбасс» выросла более чем на 34 %, а среднесуточная нагрузка на очистной забой увеличилась на 43 % и более, количество несчастных случаев на производстве сократилось в 3 раза.

Внедрение разработанного комплекса технических, технологических и методологических решений позволило достичь лучших в России показателей производительности очистных забоев, включая рекорд, установленный в августе 2018 года на шахте «Имени В. Д. Ялевского» — 1 627 тыс. тонн в месяц.

Дальнейшее развитие данного направления связано с применением

полностью автоматизированного (роботизированного) оборудования, обеспечивающего добычу угля без постоянного присутствия людей в очистных забоях.

Концепция «Invisible mine». Реализация концепции «невидимая шахта» (Invisible Mine, Green Mine) предполагает шахту с минимальным воздействием на окружающую среду за счет применения технологий замкнутого цикла, комплексного использования ресурсов месторождений, переработки и утилизации отходов добычи и обогащения, задействования подземного пространства для размещения отходов. В результате роста спроса в мировом сообществе на «зеленую» и «низкоуглеродную» экономику наблюдается постоянное ужесточение экологических норм, связанных с добычей, переработкой и использованием угля. Современные стандарты предусматривают движение добывающей промышленности в направлении минимизации или полного исключения влияния на окружающую среду. Идеальным предприятием в таких условиях является «невидимая шахта» — шахта, не оказывающая влияния на компоненты биосферы: атмосферу, гидросферу, литосферу.

Функционирование угольных шахт оказывает негативное воздействие на окружающую среду: загрязняет атмосферу, поверхностные и подземные воды, приводит к нарушению земель (выведению из сельскохозяйственного оборота) в результате их подработки, а также образованию значительных объемов отходов производства и отчуждению земельных участков для их хранения [35–37]. Недопустимость таких последствий очевидна. В основе обеспечения экологической безопасности подземной угледобычи должна лежать концепция «невидимой шахты», которая предусматривает

полное исключение воздействия подземной угледобычи на окружающую среду. Однако обоснование принципов эффективной экологически безопасной интенсивной угледобычи должно осуществляться с учетом ключевых специфических особенностей применяемых технологий [38].

К специфическим особенностям современной интенсивной угледобычи следует отнести повышение неравномерности оседания земной поверхности, связанное с широким применением технологии отработки запасов длинными очистными забоями с оставлением неразрушаемых угольных целиков. Оработка запасов выемочных участков с обрушением пород кровли (без закладки выработанных пространств) предопределяет невозможность полного исключения влияния подработки, однако в качестве меры, снижающей последствия многократной подработки (при отработке свит угольных пластов), может быть рекомендовано расположение целиков по сближенным пластам со смещением под выработанное пространство ранее отработанных пластов.

Следующей характерной особенностью, присущей интенсивной угледобыче, является высокая метанообильность выемочных участков, предопределяющая высокий уровень выбросов метана в атмосферу. При отработке свит газоносных угольных пластов выработанное пространство является техногенным коллектором, аккумулирующим свыше 90% метановыделения при подземной угледобыче. Такая локализация метана обуславливает необходимость применения эффективной дегазации выработанного пространства, позволяющей эффективно удалять большую часть шахтного метана. Несмотря на то, что метан угольных шахт рассматривается все

чаще как энергоноситель и большая его часть может успешно утилизироваться на шахте, нерешенным остается вопрос эффективной утилизации метана, содержащегося в шахтном воздухе, выдаваемом из шахты. Низкая концентрация метана в исходящей из шахты струе (<<1%) делает его утилизацию экономически нецелесообразной, а значительные объемы выбросов такой смеси (5–10 тыс. м³/мин и более) обуславливают актуальность проблемы. Необходимым условием минимизации выбросов метана в атмосферу является применение технологий, предусматривающих комплексное управление газовой выделением и обеспечивающим снижение доли метана, удаляемой из шахты средствами вентиляции, что может быть обеспечено путем оптимизации схем дегазации и изолированного отвода метановоздушной смеси. Такой подход не только обеспечит снижение объемов метана, удаляемого средствами вентиляции, но и обеспечит снижение затрат на утилизацию метана.

Объемы шахтных вод, выдаваемых на земную поверхность при подземной добыче угля, определяются в первую очередь климатическими, гидрогеологическими и технологическими особенностями угледобычи. Одним из реальных путей снижения выдачи загрязненных шахтных вод на земную поверхность является изменение порядка отработки выемочных участков в пределах разрабатываемых пластов. Применение восходящего порядка отработки выемочных участков обеспечивает переток шахтных вод из разрабатываемого участка в выработанное пространство ранее отработанных участков. Кроме того, восходящий порядок отработки пластов, по сравнению с нисходящим, как правило, исключает возможность формирования устойчивой гидродинамической

связи с земной поверхностью в течение всего срока отработки запасов пласта. К недостаткам восходящего порядка отработки выемочных столбов следует отнести увеличение сроков строительства шахты, а также ухудшение условий отработки запасов на начальном этапе работы шахты.

Интенсивная отработка пологих пластов длинными очистными забоями обеспечивает снижение удельных показателей техногенного воздействия на окружающую среду за счет повышения интенсивности и сокращения сроков отработки запасов.

Следует отметить, что подземная угледобыча не позволяет использовать высокочрезвычайно дорогие технологии, характерные для других, более ценных полезных ископаемых, что делает невозможным полную реализацию концепции «невидимая шахта» и требует поиска компромисса между экономической и экологической эффективностью производства. Сложность решения задачи экологизации подземной угледобычи усугубляется периодическим многократным падением цен на уголь в периоды мировых кризисов, что требует для обеспечения жизнеспособности шахт поиска в первую очередь наиболее экономически эффективных технологий и в условиях дефицита инвестиций приводит к отказу от целого ряда проектов, связанных с внедрением современных «наилучших доступных технологий», обеспечивающих наряду с высокой экономической эффективностью минимизацию воздействия на окружающую среду.

Обсуждение результатов

Перспективные направления развития технологической структуры современных угольных шахт, по нашему мнению, связаны с созданием благоприятных условий для наиболее пол-

ной реализации производственного потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования. Причем создание таких условий должно обеспечиваться выбором и обоснованием набора наилучших организационно-технологических решений, наиболее полно и правильно отвечающих текущему состоянию и перспективам изменения горнотехнических и горно-геологических условий угледобычи на конкретной шахте. Конечной целью является работа очистного оборудования с максимальной производительностью в режиме 7x24 (7 дней в неделю по 24 часа в сутки) в течение всего года. Однако, обеспечение таких режимов может потребовать значительных неоправданных (с позиции достигаемого эффекта) издержек производства. Основной задачей на пути к достижению поставленной цели является сокращение плановых и неплановых простоев оборудования. Среди плановых следует выделить простои, связанные с выполнением монтажно-демонтажных работ, управлением состоянием горного массива и управлением метановыделением. Среди неплановых простоев — простои, связанные с несвоевременной подготовкой новых выемочных участков, загазированием или затоплением горных выработок, нарушениями работы транспорта и энергоснабжения и т. п.

В связи с возможным существенным изменением горнотехнической ситуации на шахте по мере увеличения глубины ведения горных работ, а также постоянным развитием горного оборудования и технологий возникает необходимость периодического контроля принятых технологических и организационных решений, их соответствия сложившейся горнотехнической ситуации и наилучшим доступным технологиям подземной угледобычи.

В качестве перспективных направлений развития технологической структуры современных угольных шахт, обеспечивающих повышение эффективности реализации потенциала современного высокопроизводительного оборудования, следует выделить:

- проведение перманентной оптимизации технологической структуры шахты с целью поиска и использования наиболее эффективных для текущей горнотехнической ситуации структуры и параметров основных систем и подсистем;

- формирование единой транспортной системы, обеспечивающей повышение скорости доставки оборудования, грузов, материалов и людей с целью минимизации простоев оборудования;

- увязку горных работ по сближенным пластам с целью минимизации негативного влияния подработки (надработки) и максимального использования эффекта разгрузки массива горных пород для повышения эффективности дегазации сближенных угольных пластов;

- совершенствование способов дегазации разрабатываемого пласта для снятия ограничений нагрузки на очистные забои по газовому фактору;

- оптимизация параметров выемочных столбов и межстолбовых целиков;

- определение количества очистных забоев, находящихся в одновременной работе, и изменение, при необходимости, технологической структуры шахты в течение ее жизненного цикла.

Решение существующих задач, связанных с указанными направлениями, является необходимым условием дальнейшей эволюции технологической структуры угольной шахты в направлении формирования современных горнотехнических систем, обеспечивающих достижение высокой устойчивости, интенсивности и безопасности подзем-

ной угледобычи и создающих условия для успешной конкуренции с предприятиями, ведущими угледобычу открытым способом, а также производящими другие энергоносители.

Заключение

Совершенствование технологической структуры угольных шахт и их основных элементов (добычных участков) должны обеспечивать создание условий для достижения целей устойчивого развития посредством реализации производственного потенциала современного очистного оборудования, а также снижения воздействия производства на окружающую среду. В качестве направлений развития могут быть выделены:

- внедрение подготовки выемочных участков с использованием многоштрековой подготовки (в варианте три штрека) для повышения эффективности управления газовыделением и создания условий для реализации современных схем участкового транспорта;

- исключение влияния ранее отработанных сближенных пластов за счет взаимоувязки горных работ по пластам;

- обеспечение заблаговременной дегазационной подготовки выемочных участков с использованием эффекта разгрузки массива при разработке свит газоносных угольных пластов;

- обеспечение резерва времени на подготовку новых выемочных столбов;

- повышение эффективности монтажно-демонтажных работ за счет применения пневмоколесного транспорта;

- сокращение простоев оборудования, повышение уровня безопасности горных работ за счет внедрения информационных технологий (Intelligent Mine);

- снижение воздействия на окружающую среду, комплексное использование ресурсов угольных месторождений (Invisible Mine).

Вклад авторов

Казанин О. И. — постановка задач исследования, описание эволюции технологической структуры российских угольных шахт.

Мешков А. А. — описание концепций «Intelligent mine» и «Invisible mine» при добыче угля подземным способом, определение перспективных направлений совершенствования технологий подземной угледобычи.

Сидоренко А. А. — анализ и описание современных особенностей интенсивной подземной угледобычи и перспективных направлений развития технологической структуры современных угольных шахт, анализ результатов исследований и подготовка данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Таразанов И. Г., Губанов Д. А.* Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года // Уголь. — 2021. — № 3. — С. 27–43. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-3-27–43.
2. *Казанин О. И., Сидоренко А. А., Мешков А. А.* Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного оборудования // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 4–13. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12–4–13.
3. *Мешков А. А., Волков М. А., Ордин А. А.* О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты им. В. Д. Ялевского // Уголь. — 2018. — № 7. — С. 4–7. DOI:10.18796/0041-5790-2018-7-4–7.
4. *Артемьев В. Б.* АО «СУЭК-Кузбасс». Развитие производства в 2008–2017 гг. Основные результаты и факторы их достижения // Горная Промышленность. — 2018. — № 5 (141). — С. 15–20.
5. *Peng S. S.* Longwall mining. London. CRC Press, 2019. 562 p. DOI: 10.1201/9780429260049.
6. *Белодедов А. А., Шурыгин Д. Н.* Комплексный подход для выбора эффективной схемы подготовки шахтного поля // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. — 2020. — № 3. — С. 100–112.
7. *Ordin A. A., Metelkov A. A., Kolenchuk S. A.* Instructional guidelines on optimization of fully mechanized production face length and output in flat coal seam mining // Fundamental and engineering questions of mining sciences. 2014, no. 2, pp. 266–272.
8. *Беляев В. В., Агафонов В. В.* Синтез высокопроизводительных и прогрессивных технологических систем угольных шахт // Уголь. — 2020. — № 11. — С. 36–42.
9. *Каледина Н. О.* Современные проблемы вентиляции угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — №51. С. 141–149.
10. *Сластунов С. В., Ютяев Е. П.* Обоснованный выбор технологии пластовой дегазации для обеспечения безопасности подземных горных работ при интенсивной добыче угля // Записки Горного института. — 2017. — Т. 223. — С. 125–130. DOI: 10.18454/pmi.2017.1.125.
11. *Vinogradov E. A., Yaroshenko V. V., Kislicyn M. S.* Method of gas emission control for safe working of flat gassy coal seams. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, vol. 87(2), 022023.
12. *Ваганов В. С., Гоффарт Т. В.* Шахтная логистика — новые решения // Уголь. — 2018. — № 8. — С.60–61.
13. *Зубов В. П.* Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. — 2017. — Т. 225. — С. 292–297. DOI: 10.18454/pmi.2017.3.292.

14. *Nikiforov A. V., Vinogradov E. A., Kochneva A. A.* Analysis of multiple seam stability // International Journal of Civil Engineering and Technology, 2019, vol. 10, iss. 2, pp. 1132–1139.

15. *Kovalsk E. R., Karpov G. N., Leisle A. V.* Investigation of underground entries deformation mechanisms within zones of high stresses // International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, vol. 9, iss. 6, pp. 534–543.

16. *Александров В. И., Авксентьев С. Ю., Махараткин П. Н.* Энергоэффективность систем шахтного водоотлива // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 2. — С. 253–268.

17. *Егоров А. П., Кондаков И. А.* Оценка возможности и эффективности внедрения технологических схем скоростной проходки подземных горных выработок на угольных шахтах // Уголь. — 2019. — № 10. — С. 22–28.

18. *Привалов А. А., Попов В. В., Ягодкин Ф. И., Хакулов В. А.* Повышение темпов проведения горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 8. — С. 219–224.

19. *Добровольский А. И., Феофанов Г. Л., Руденко С. Т., Эссальников А. О., Захаров С. И.* Организация учета эффективного рабочего времени в процессе проведения горных выработок на шахте «Северная» // Уголь. — 2019. — № 12. — С. 14–19. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-14-19.

20. *Ютяев Е. П.* Современные вызовы и перспективы развития технологий подземной угледобычи // Уголь. — 2017. — № 5. — С. 30–36. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-5-30-36.

21. *Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Поляков А. В.* Техничко-экономические показатели работы шахт в области механизации очистных работ // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. — 2018. — № 3. — С. 389–403.

22. *Щиряев С. Н., Агеев П. Г., Черепов А. А., Петрова О. А., Фрянов В. Н.* Обоснование направлений развития способов и средств дегазации угольных шахт // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. — 2018. — № 3 (25). — С. 28–32.

23. *Золотых С. С.* Заблаговременная дегазация угольных пластов как фактор повышения безопасности на шахтах Кузбасса // Горная промышленность. — 2019. — № 5. — С. 18–22. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-05-18-22.

24. *Каледина Н. О., Малашкина В. А.* Индикаторная оценка надежности функционирования шахтных вентиляционно-дегазационных систем // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — С. 553–561. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.8.

25. *Непша Ф. С., Ефременко В. М.* Оценка эффективности оптимального регулирования напряжения в системе электроснабжения угольной шахты // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2018. — № 1. — С. 149–157.

26. *Gao Y., Liu D., Zhang X., He, M.* Analysis and optimization of entry stability in underground longwall mining // Sustainability (Switzerland), 2017, vol. 9 (11), 2079.

27. *Федорин В. А., Татарнинова О. А.* Основы метода доступа к георесурсам в задачах оптимизации транспортных характеристик освоения угольных месторождений подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 3. — С.176–182. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-176-182.

28. *Тупицын А. В.* Анализ современных подходов к обоснованию проектных решений на основе компьютерного моделирования // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 4. — С. 189–196.

29. *Rudakov M. L., Smirnyakova V. V., Almosova Y. V., Kargopolove A. P.* Factor analysis of industrial injuries with the purpose to improve the procedures for training the employees in occupational safety during coal mining // Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. 2021, iss. 5, pp. 82–87. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-5-82-87.

30. Smirniakov V. V., Smirniakova, V. V. Comprehensive analysis and assessment of the role of hard-to-handle factors in the reasons of methane and coal dust explosions in mines in Russia // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015, vol. 12(1), pp. 59–69.
31. Rudakov M. L., Gridina E. B., Ershov V. S. Utilisation of the safety index (Elmeri index) as the OSH indicator at coal mines // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2019, vol. 56(3), pp. 26–36. DOI: 10.2478/lpts-2019–0017.
32. Mishra R. K., Janiszewski M., Uotinen L. K. T., Szydłowska M., Siren T., Rinne M. Geotechnical Risk Management Concept for Intelligent Deep Mines // Procedia Engineering. 2017, vol. 191, pp. 361–368. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.192.
33. Xue X., Chang J. K., Liu Z. Z. Context-aware intelligent service system for coal mine industry // Computers in Industry. 2014, vol. 65, iss. 2, pp. 291–305, DOI: 10.1016/j.compind.2013.11.010.
34. Hao Y., Wu Y., Zhang K., Zhang H., Chen Y., Li M., Li P. New insights on ground control in intelligent mining with internet of things // Comput. Commun. 2020, vol. 150 (2020), pp. 788–798. DOI: 10.1016/j.comcom.2019.12.032.
35. Ian Z., Inyang H. I., Daniels J. L., Otto F., Struthers S. Environmental issues from coal mining and their solutions // Mining science and technology, 2010, vol. 20 (2), pp. 215–223.
36. Liu H., Wang Y., Pang S., Wang X., He J., Zhang J., Rodriguez-Dono A. Mining footprint of the underground longwall caving extraction method: A case study of a typical industrial coal area in China // Journal of Hazardous Materials, 2021, 127762. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127762.
37. Hou H., Ding Z., Zhang S., Guo S., Yang Y., Chen Z., Mi J., Wang X. Spatial estimate of ecological and environmental damage in an underground coal mining area on the Loess Plateau: implications for planning restoration interventions // J. Clean. Prod. 2021, vol. 287 (1), 125061. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125061.
38. Palyanova N. V., Zadkov D. A., Chubukova S. G. Legal framework for the sustainable economic and ecological development in the coal industry in Russia // Eurasian Mining. 2017, no.1, pp. 3–5. DOI: 10.17580/em.2017.01.01. **ИМАБ**

REFERENCES

1. Tarazanov I. G., Gubanov D. A. Russia's coal industry performance for January–December, 2020. *Ugol'*. 2021, no. 3, pp. 27–43. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-3-27–43.
2. 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.
3. Meshkov A. A., Volkov M. A., Ordin A. A. On record length and productivity of highwall mining the V. D. Yalovsky mine. *Ugol'*. 2018, no. 7. pp. 4–7. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-7-4–7.
4. Artem'ev V. B. AO «SUEK-Kuzbass». Production development in 2008–2017. Main results and factors in achieving them. *Gornaya Promyshlennost'*. 2018, no. 5. (141), pp.15–20. [In Russ].
5. Peng S. S. Longwall mining. London. CRC Press, 2019. 562 p. DOI: 10.1201/9780429260049.
6. Belodedov A. A., Shurygin D. N. An integrated approach for choosing an effective scheme for mine development. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2020, no.3, pp.100–112. [In Russ].
7. Ordin A. A., Metelkov A. A., Kolenchuk S. A. Instructional guidelines on optimization of fully mechanized production face length and output in flat coal seam mining. *Fundamental and engineering questions of mining sciences*. 2014, no.2, pp. 266–272. [In Russ].

8. Belyaev V. V. & Agafonov V. V. Synthesis of high-performance and advanced technological systems for coal mines. *Ugol'*. 2020, no. 11, pp. 36–42. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11 – 36 – 42.
9. Kaledina N. O. Modern coal mines ventilation problems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. S1, pp.141–149. [In Russ].
10. Slastunov S. V., Yutyaev E. P. Justifies Selection of a Seam Degassing Technology to Ensure Safety of Intensive Coal Mining, *Zapiski Gornogo instituta.* 2017, vol. 223, pp.125–130. DOI: 10.18454/pmi.2017.1.125.
11. Vinogradov E. A., Yaroshenko V. V., Kislicyn M. S. Method of gas emission control for safe working of flat gassy coal seams, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2017, vol. 87(2), 022023.
12. Vaganov V. S., Goffart T. V. Mine logistics new solutions, *Ugol'*. 2018, no. 8, pp.60–61. [In Russ].
13. Zubov V. P. Status and directions of improvement of development systems of coal seams on perspective Kuzbass coal mines. *Zapiski Gornogo instituta.* 2017, vol. 225, pp. 292–297. DOI: 10.18454/pmi.2017.3.292.
14. Nikiforov A. V., Vinogradov E. A., Kochneva A. A. Analysis of multiple seam stability. *International Journal of Civil Engineering and Technology.* 2019, vol. 10, iss. 2, pp. 1132–1139.
15. Kovalsk E. R., Karpov G. N., Leisle A. V. Investigation of underground entries deformation mechanisms within zones of high stresses. *International Journal of Civil Engineering and Technology.* 2018, vol. 9, iss. 6, pp. 534–543.
16. Aleksandrov V. I., Avksent'ev S. Yu., Maharatkin P. N. Energy efficiency of mine drainage systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 2, pp. 253–268. [In Russ].
17. Egorov A. P., Kondakov I. A. Evaluation of the possibility and effectiveness of the implementation of technological schemes for high-speed underground mining in coal mine. *Ugol'*. 2019, no.10, pp.22–28.
18. Privalov A. A., Popov V. V., Yagodkin F. I., Hakulov V. A. Increase in the rate of mine drivage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017. no. 8, pp. 219–224. [In Russ].
19. Dobrovol'skij A. I., Feofanov G. L., Rudenko S. T., Essal'nikov A. O., Zaharov S. I. Organization of accounting of effective working time in the process of mining at the “Severnaya” mine. *Ugol'*. 2019, no. 12, pp. 14–19. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12 – 14 – 19.
20. Yutyaev E. P. Present-day challenges and prospects of flat gas containing coal beds underground mining technologies. *Ugol'*. 2017, no. 5, pp. 30–36. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-5-30 – 36. [In Russ].
21. Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zhabin A. B., Polyakov A. V. Technical and economic performance of mines in the field of mechanization of mining operations. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle.* 2018, no. 3, pp.389–403. [In Russ].
22. Shiryaev S. N., Ageev P. G., Cherepov A. A., Petrova O. A., Fryanov V. N. Rationale for the development of coal mine drainage techniques and facilities. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta.* 2018, vol. 3 (25), pp. 28–32. [In Russ].
23. Zolotyh S. C. Advance gas-freeing of coal seams as a factor of improved safety at the Kuzbass mines. *Gornaya promyshlennost'.* 2019, no. 5, pp.18–22. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-05 – 18 – 22.
24. Kaledina N. O., Malashkina V. A. Indicator assessment of the reliability of mine ventilation and degassing systems functioning, *Journal of Mining Institute.* 2021, vol. 250, pp.553–561. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.8.
25. Nepsha F. S., Efremenko V. M. Evaluation of the efficiency of optimal voltage management in the coal mine electricity supply system. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* 2018, no.1, pp.149–157. [In Russ].

26. Gao Y., Liu D., Zhang X., He M. Analysis and optimization of entry stability in underground longwall mining, *Sustainability (Switzerland)*. 2017, vol. 9 (11), 2079.
27. Fedorin V. A., Tatarinova O. A. Principles of the method of getting access to georesources in transportation optimization problems in underground coal mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 3. pp.176–182. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0 – 176 – 182.
28. Tupicyn A. V. Analysis of modern approaches to substantiation of design decisions on the basis of computer modeling. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no. 4, pp.189–196. [In Russ].
29. Rudakov M. L., Smirnyakova V. V., Almosova Y. V., Kargopolove A. P. Factor analysis of industrial injuries with the purpose to improve the procedures for training the employees in occupational safety during coal mining. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2021, iss. 5, pp. 82–87. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-5-82 – 87.
30. Smirniakov V. V., Smirniakova V. V. Comprehensive analysis and assessment of the role of hard-to-handle factors in the reasons of methane and coal dust explosions in mines in Russia. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015, vol. 12(1), pp. 59–69.
31. Rudakov M. L., Gridina E. B., Ershov, V. S. Utilisation of the safety index (Elmeri index) as the OSH indicator at coal mines. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2019, vol. 56(3), pp. 26–36. DOI: 10.2478/lpts-2019 – 0017.
32. Mishra R. K., Janiszewski M., Uotinen L. K. T., Szydłowska M., Siren T., Rinne M. Geotechnical Risk Management Concept for Intelligent Deep Mines. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 191, pp. 361–368. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.192.
33. Xue X., Chang J.-K., Liu Z.-Z. Context-aware intelligent service system for coal mine industry. *Computers in Industry*. 2014, vol. 65, iss. 2, pp. 291–305, DOI: 10.1016/j.compind.2013.11.010.
34. Hao Y., Wu Y., Zhang K., Zhang H., Chen Y., Li M., Li P. New insights on ground control in intelligent mining with internet of things. *Comput. Commun.* 2020, vol. 150, pp. 788–798, DOI: 10.1016/j.comcom.2019.12.032.
35. Ian Z., Inyang H. I., Daniels J. L., Otto F., Struthers S. Environmental issues from coal mining and their solutions. *Mining science and technology*. 2010, vol. 20 (2), pp. 215–223.
36. Liu H., Wang Y., Pang S., Wang X., He J., Zhang J., Rodriguez-Dono A. Mining footprint of the underground longwall caving extraction method: A case study of a typical industrial coal area in China. *Journal of Hazardous Materials*. 2021, 127762, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127762.
37. Hou H., Ding Z., Zhang S., Guo S., Yang Y., Chen Z., Mi J. Wang X. Spatial estimate of ecological and environmental damage in an underground coal mining area on the Loess Plateau: implications for planning restoration interventions. *J. Clean. Prod.* 2021, vol. 287 (1), 125061. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125061.
38. Palyanova N. V., Zadkov D. A., Chubukova S. G. Legal framework for the sustainable economic and ecological development in the coal industry in Russia. *Eurasian Mining*. 2017, no. 1, pp. 3–5. DOI: 10.17580/em.2017.01.01.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Казанин Олег Иванович – докт. техн. наук, декан горного факультета, e-mail: Kazanin_OI@pers.spmi.ru, ORCID ID:0000-0001-9663-6713, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2, Россия;

Мешков Анатолий Алексеевич – канд. техн. наук, генеральный директор, e-mail: Meshkov_AA@suek.ru, АО «СУЭК-Кузбасс», 652507, Кемеровская область, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, д. 1, Россия;

Сидоренко Андрей Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент каф. Разработки месторождений полезных ископаемых, e-mail: Sidorenko_AA@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0003-4224-193X, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2, Россия.

Для контактов: *Сидоренко А. А.*, e-mail: Sidorenko_AA@pers.spmi.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kazanin O. I., Dr. Sci (Eng.), Dean of the Mining faculty, ORCID ID: 0000-0001-9663-6713, Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Vasilievsky Island, 21 line 2, Russia, e-mail: Kazanin_OI@pers.spmi.ru;

Meshkov A. A., Cand. Sci. (Eng.), General director JCS SUEK-Kuzbass, e-mail: Meshkov_aa@suek.ru, JCS SUEK-Kuzbass, 652507, Kemerovo region, Leninsk-Kuznetsky, Vasilyeva St. 1, Russia;

Sidorenko A. A., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mineral Resources Mining, e-mail: Sidorenko_AA@pers.spmi.ru, ORCID ID: 0000-0003-4224-193X, Saint Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Vasilievsky Island, 21 line 2, Russia.

Corresponding author: *Sidorenko A. A.*, e-mail: Sidorenko_AA@pers.spmi.ru.

Получена редакцией 14.01.2022; получена после рецензии 30.05.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 14.01.2022; received after the review 30.05.2022; accepted for printing 10.05.2022.

