

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКИ СКЛОННЫХ К САМОВОЗГОРАНИЮ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

А. А. Сидоренко¹, С. А. Мешков²

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

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

Аннотация: Целью исследований является обоснование параметров технологических схем подготовки и интенсивной отработки запасов выемочных столбов лавами для повышения эффективности при сохранении безопасности отработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов. Низкая эффективность использования современного энерговооруженного очистного оборудования здесь объясняется длительными внеплановыми простоями, вызванными несвоевременной подготовкой новых выемочных участков и значительной продолжительностью выполнения монтажно-демонтажных работ. Анализ эффективности выполнения монтажно-демонтажных работ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» показал неудовлетворительную эффективность выполнения демонтажных работ при отработке мощных пластов, где наблюдается превышение плановых сроков в 1,7–2 раза. Высокая длительность выполнения демонтажных работ связана с неудовлетворительным эксплуатационным состоянием демонтажных камер, низкой пропускной способностью используемых подвесных монорельсовых дорог, а также возрастанием массы грузов, перевозимых в связи с увеличением длины лав на шахтах. Анализ российского и зарубежного опыта работы лав длиной 400 м и более с целью изыскания путей повышения их эффективности позволил сделать вывод о нецелесообразности дальнейшего увеличения длины лав мощных угольных пластов, прежде всего склонных к самовозгоранию. Рассмотрены основные направления сокращения сроков демонтажных работ и указана необходимость обоснования их области применения. Обоснована необходимость учета влияния зон повышенного горного давления при выборе места формирования демонтажной камеры. В качестве основного направления совершенствования технологических схем отработки угольных пластов лавами предложено применение технологических схем многострековой подготовки выемочных столбов.

Ключевые слова: подземная разработка, угольные пласты, лава, монтажно-демонтажные работы, очистное оборудование, производительность, простои, технико-экономические показатели, эндогенные пожары, демонтажная камера.

Для цитирования: Сидоренко А. А., Мешков С. А. Обоснование параметров технологических схем интенсивной отработки склонных к самовозгоранию мощных угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6–1. – С. 83–99. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_83.

Justification of technologies parameters for intensive mining of prone to spontaneous combustion thick coal seams

A. A. Sidorenko¹, S. A. Meshkov²

¹ Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: sidorenkoaa@mail.ru

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

Abstract: The purpose of the researches were adjustments of technological schemes of preparation and intensive mining of longwall panels for an increase in efficiency and safety of mining of coal seams, thick gas-bearing prone to spontaneous combustion. The low performance of use of the modern powerful longwall equipment in coal mines is explained by the long unplanned outages caused by untimely preparation of new longwall panels and considerable duration of moving of longwall equipment. Efficiency analysis of move works in mines of JSC SUEK Kuzbass showed unsatisfactory efficiency when mining thick seams where an excess of planned dates by 1.7–2 times is observed. The high duration of move works is connected with an unsatisfactory operational state of recovery rooms, the low handling capacity of the used suspended monorail roads and also an increase in weight of longwall equipment in connection with the increase of longwall panel width in underground coal mines. The analysis of the Russian and foreign experience of application of longwalls with the increased length (400 m and more) allowed to draw a conclusion on inexpediency of increase in lengths of longwalls when mining thick coal seams and especially in the conditions of endogenous fire danger. The main directions of reduction of terms of longwall move works are considered and the need for justification of their scope is shown. The need of taking note of high rock pressure zones when choosing the place of forming of the recovery room by longwall is shown. As the main direction of improvement of technological schemes of longwall mining of coal seams specified application of technological schemes of multiple entries of longwall panels.

Key words: underground mining, coal seams, longwall, longwall equipment move works, productivity, downtimes, technical-and-economic indices, longwall equipment, endogenous fires recovery room.

For citation: Sidorenko A. A., Meshkov S. A. Justification of technologies parameters for intensive mining of prone to spontaneous combustion thick coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6–1):83–99. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_83.

Введение

Применение длинных комплексно-механизированных очистных забоев, оснащенных современным надежным энерговооруженным очистным оборудованием, позволило существенно повысить производительность и общую эффективность подземной угледобычи. Нагрузка на комплексно-механизированную лаву, обрабатывающую мощный угольный пласт в благоприятных горно-геологических условиях, в отдельные периоды времени может достигать 65 тыс. тонн в сутки, или 1,6 млн тонн

в месяц [1–3]. В то же время анализ эффективности использования высокопроизводительного очистного оборудования свидетельствует о чрезвычайно низком уровне освоения его производственного потенциала, который реализуется лишь на 10–20%, достигая в лучших случаях 30–32% [4]. Такая низкая эффективность использования дорогостоящего оборудования определена большим числом и высокой длительностью плановых и неплановых простоев, связанных как с несовершенством применяемых технологических

схем и их параметров, так и с низким уровнем организации и взаимоувязки основных производственных процессов [5–7]. Следует выделить две основные причины длительных неплановых простоев очистного оборудования: недостаточную эффективность проходческих работ [2], которые не обеспечивают при интенсивной отработке запасов своевременную подготовку новых выемочных участков, и недопустимо высокую продолжительность монтажно-демонтажных работ [4]. Таким образом, ближайшие перспективы повышения производительности подземной угледобычи определяются возможностью совершенствования технологических схем проходческих и монтажно-демонтажных работ, недостаточная эффективность которых в настоящее время являются сдерживающим фактором для полной реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования.

Простои высокопроизводительного оборудования наносят огромный ущерб, в первую очередь из-за недополучения потенциальной прибыли. Существуют различные подходы к оценке ущерба от простоев оборудования, наиболее распространенный из них основан на оценке величины упущенной прибыли и показывает, по нашему мнению, завышенный уровень ущерба в предположении полной потери прибыли за время простоя, тогда как на деле прибыль шахты при простоях полностью не теряется никогда, а лишь переносится во времени на более поздние сроки. Соответственно, величина ущерба в предположении полной потери добычи определяется величиной маржи, которая зависит от себестоимости добываемого угля и его отпускной цены, а также от фактической производственной мощности предприятия,

достигая 50 млн руб./сут, что представляется нереальным. Больше соответствует действительности, по мнению авторов, подход к оценке ущерба от простоев оборудования, в котором учтено увеличение сроков отработки выделенных запасов, а также ущерб от отсрочки в получении прибыли. При таком походе ущерб от простоев очистного оборудования в шахте-лаве для сопоставимых горнотехнических условий составит 2–5 млн руб./сут.

Несмотря на кратное снижение расчетной величины упущенной прибыли остаются существенными причины потерь прибыли от простоев и сопутствующих издержек производства, а также от существенного возрастания опасности подземных горных работ при отработке угольных пластов, например, угли которых склонны к самовозгоранию.

Подземная разработка угольных пластов в условиях эндогенной пожароопасности строго регламентирована, в том числе должна быть обеспечена своевременная надежная изоляция отработанных выемочных участков и исключение продолжительного движения воздушных потоков в выработанных пространствах. Разумеется, увеличение продолжительности монтажно-демонтажных работ приводит к существенному повышению опасности самовозгорания угля в выработанном пространстве отработываемого столба вследствие длительного поступления воздуха, содержащего кислород, в выработанное пространство для проветривания демонтажной камеры и невозможности надежной изоляции отработанного выемочного столба. В связи с тем, что большинство разрабатываемых угольных пластов основного угледобывающего бассейна России — Кузбасса, являются склонными к самовозгоранию и перспективы раз-

вития подземной угледобычи связаны с разработкой наиболее продуктивных мощных угольных пластов, задача обеспечения эффективности и безопасности разработки таких пластов является чрезвычайно актуальной.

Целью исследований является обоснование параметров технологических схем подготовки и интенсивной отработки запасов выемочных столбов длинными очистными забоями (лавами), обеспечивающих повышение эффективности и безопасности отработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов.

Методика проведения исследований

При проведении исследований выполнялся анализ опыта и показателей монтажно-демонтажных работ в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс», современного опыта отработки мощных угольных пластов в США и Китае, а также исследовалось влияние основных горно-геологических и горнотехнических факторов на экономическую эффективность и безопасность подземной разработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов.

Анализ влияния длины лавы на эффективность и безопасность горных работ

Увеличение длины выемочных столбов до 4–8 км и длины лав до 400–480 м при подземной разработке пластов длинными очистными забоями является современным трендом для всех ведущих угледобывающих стран мира (Китай, США, Австралия, Россия) [8, 9]. На шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» также наблюдается постоянное увеличение длины столбов и лав [3, 4]. В нашей стране наибольшую длину имеют очистные забои

на шахте «Имени В. Д. Ялевского», где в одновременной работе находятся две лавы длиной 400 м каждая. Как видно из рис. 1, длина лавы на шахте «Имени В. Д. Ялевского» увеличивалась постепенно: вначале с 230 до 300 м, а после подтверждения технических возможностей (с 2017 года) — до 400 м. Размеры выемочных столбов на данной шахте увеличилась в то же время с 2 до 4,5 км. Предполагалось, что увеличение длины лавы снизит долю и длительность трудоемких перемонтажей оборудования в целом в пределах шахтного поля и удельные объемы проходческих работ, а также увеличит долю рабочего времени и тем самым повысит эффективность использования дорогостоящих очистных комбайнов. В то же время увеличение длины лавы привело к росту затрат на приобретение габаритного добычного оборудования и, как следствие, к возрастанию массы оборудования для перемонтажа. Проблемы с увеличением массы оборудования для перемонтажа усугубляются ростом длины выемочных столбов, что увеличивает протяженность транспортных маршрутов при перемонтажах оборудования и стоимость такого транспорта.

Наибольший положительный эффект от увеличения длины лавы с высокопроизводительным оборудованием отмечен при отработке выемочных столбов по пласту 50 в благоприятных горно-геологических условиях (рис. 1). Здесь в 2017 и 2018 годах были установлены мировые рекорды производительности лав [3, 4]. Однако по мере увеличения глубины горных работ и роста газоносности разрабатываемого пласта 50 нагрузка на лаву снизилась более чем в 2 раза (рис. 1). Эффективное управление метановыделением на выемочных участках современных российских шахт основыва-

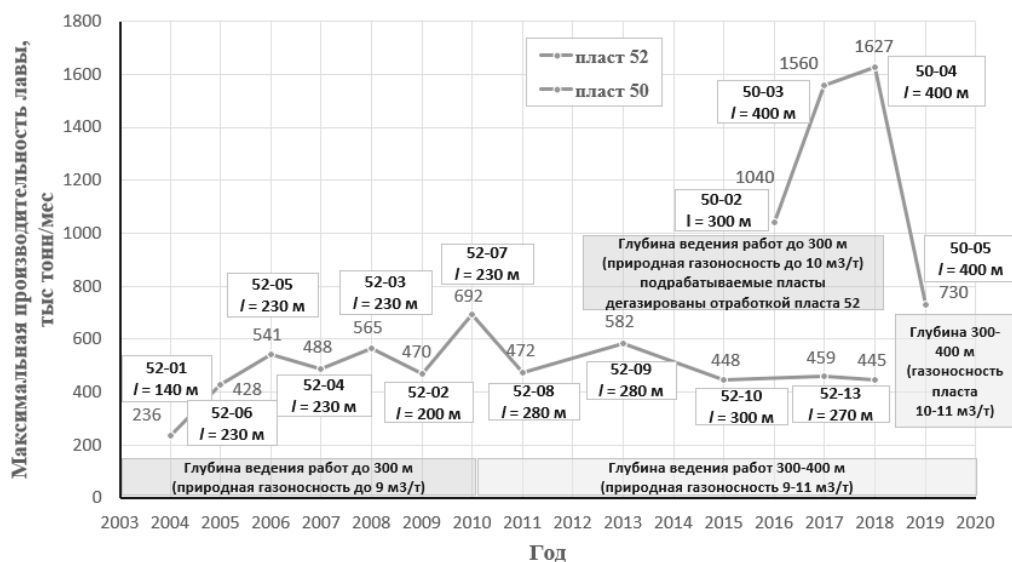


Рис. 1. Динамика производительности и длины лавы на шахте «Имени В. Д. Ялевского»
 Fig. 1. Dynamics of production rates and lengths of longwalls in the mine "of V. D. Yalovsky"

ется на применении комбинированных схем проветривания с изолированным отводом метана на заднюю сбойку и с дегазацией выработанного пространства вертикальными скважинами, пробуренными с земной поверхности. Вместе с тем остается нерешенным вопрос эффективной дегазации разрабатываемого пласта, метановыделение из которого является в настоящее время основным фактором, ограничивающим производительность очистного забоя. Следует отметить, что на шахте «Имени С. М. Кирова» АО «СУЭК-Кузбасс» имеется опыт успешного снижения метановыделения из разрабатываемого пласта путем проведения гидроразрыва с дегазации пласта [10], однако такая технология пока не получила широкого распространения на шахтах России. В этой связи задачи обеспечения безопасности подземных горных работ, в общем [11–13], и эффективного управления метановыделением, в частности [14–16], остаются чрезвычайно актуальными для шахт, ведущих отра-

ботку газоносных пластов на глубинах 400 м и более.

Следует отметить, что в настоящее время на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» длины лав при отработке мощных пластов превысили соответствующие длины лав на шахтах США. Как видно из рис. 2, длина лавы в США на мощных пластах не превышает 380 м (среднее значение 310 м), а все 15 лав длиной более 400 м (максимальное значение до 482 м) — отрабатывают пласты средней мощности. В то же время в России в первую очередь была увеличена длина лавы при отработке мощных пластов 50 ($m = 3,7$ м) и 52 ($m = 4,3$ м) на шахте «Имени В. Д. Ялевского». Оперативный анализ опыта работы шахты «Имени В. Д. Ялевского» показал, что при отсутствии ограничений нагрузки на лаву по газовому фактору увеличение длины лавы не имеет негативных последствий и позволяет повысить эффективность использования очистных комбайнов. Однако по мере увеличения глубины ведения

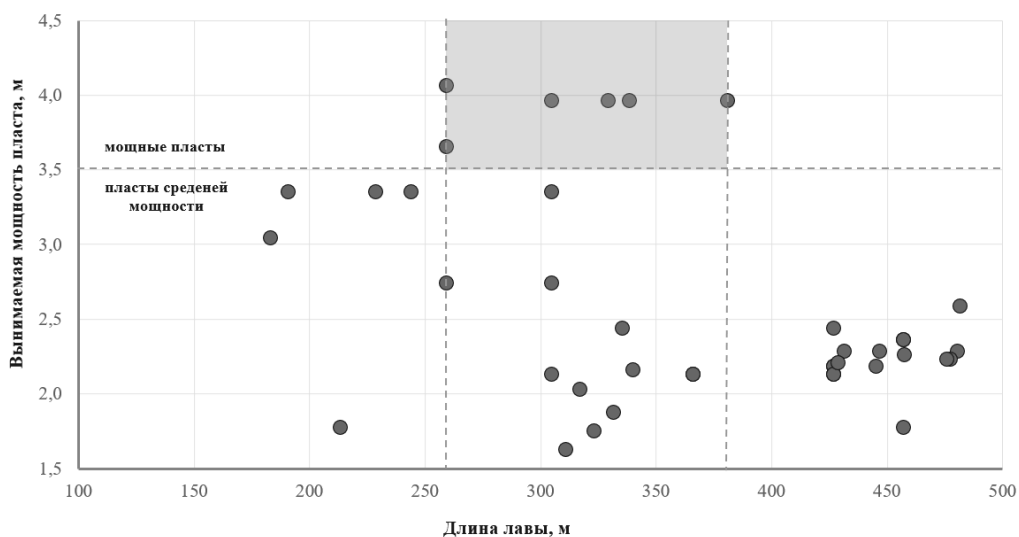


Рис. 2. Взаимосвязь длины лав и вынимаемой мощности пласта в США (по данным [9])
 Fig. 2. Interaction between of length of faces and the extraction height of seams in the USA (by data [9])

горных работ и снижения нагрузки на лаву в 2—3 раза (см. рис. 1) прямо пропорционально снижается скорость подвигания очистного забоя и наблюдается рост интенсивности проявлений горного давления вследствие развития процессов трещинообразования и обрушения пород основной кровли, что негативно сказывается на состоянии участковых выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ.

Следует отметить, что основной эффект от увеличения длины лавы заключается в снижении удельных затрат на подготовительные работы и количество перемонтажей оборудования в пределах шахтного поля вследствие уменьшения количества выемочных столбов. Разумеется, при отработке мощных пластов удельные затраты на подготовку выемочных участков существенно ниже таковых на пластах средней мощности и тонких. Следовательно, увеличение длины лавы на тонких пластах имеет большее влияние на показатели подземной угледобычи.

Аналогично следует, что при отработке мощных пластов увеличение длины лавы ведет к существенному росту капитальных затрат, а ограничение нагрузок на лавы по газовому фактору снижает эффективность реализации потенциала дорогостоящего высокопроизводительного очистного оборудования. Имеются и ограничения на скорость подвигания очистного забоя, так определяемые нормативным документом «Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности»: «... на пластах угля, склонных к самовозгоранию, очистные забои должны подвигаться со скоростью, при которой за время инкубационного периода самовозгорания угля обеспечивается их перемещение на расстояние, равное размеру зоны активного проветривания выработанного пространства». Как следствие, при отработке газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов с применением

комбинированных схем проветривания с изолированным отводом метано-воздушной смеси на заднюю сбойку и дегазацией выработанного пространства скважинами, пробуренными с земной поверхности, необходимо предусмотреть как сокращение расстояния между сбойками, так и уменьшение расстояния до дальней действующей дегазационной скважины. Элементарные расчеты показывают, например, что при длине лавы 400 м, вынимаемой мощности пласта 5 м и нагрузке на очистной забой по газовому фактору порядка 10 тыс. т/сут, расстояния между сбойками, а также расстояние до дальней скважины не должны превышать 150 м.

Следует учесть, что в мировой практике подземной угледобычи в настоящее время наблюдается тенденция к отказу от слоевой разработки мощных пластов и к переходу на выемку такого пласта на полную мощность. Так, например, в Китае уже в 2013 году работало не менее 60 очистных забоев на пластах с вынимаемой мощностью более 6 м [17], так что к настоящему времени вынимаемая в один слой мощность пластов достигла 8,6 м. Следует оговориться, что при отработке таких мощных пластов длина лавы, как правило, не превышает 300—310 м.

Анализ эффективности монтажно-демонтажных работ в шахтах АО «СУЭК-Кузбасс»

В условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» демонтаж оборудования лав осуществляют из демонтажных камер, которые формируются очистными комплексами с креплением кровли анкерами и затяжкой полимерной сеткой. Такая технология, как правило, обеспечивает эксплуатационное состояние демонтажной камеры в течение всего срока ее эксплуатации, в отличие

от ранее применявшейся технологии, которая предусматривала въезд комплекса в заранее проведенную демонтажную камеру. В настоящее время демонтажные камеры заранее не сооружают, поскольку при приближении к ним комплекса для демонтажа из-за возникающих значительных по величине и интенсивности проявлений опорного давления зачастую демонтажные камеры оказывались разрушенными [18–21]. Разумеется, технология создания демонтажной камеры комплексом продолжает совершенствоваться, прежде всего в направлении учета места и размера шага обрушения основной кровли очистного забоя при выборе места формирования демонтажной камеры с целью минимизации влияния смещения блоков основной кровли на деформацию демонтажной камеры [21, 22]. В то же время при выборе места формирования демонтажной камеры при ведении горных работ в зоне влияния подработки или надработки от сближенных пластов следует учитывать параметры зон повышенных проявлений горного давления и уровень напряжений в этих зонах. Здесь наибольшую опасность для состояния демонтажной камеры представляют зоны повышенных напряжений от опорных целиков на сближенных пластах, поскольку в таких зонах опорное давление увеличивает смещения на контуре демонтажной камеры в 2—3 раза [23–25]. Проблемой являются и сроки формирования демонтажной камеры, которые в среднем составляют на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» не менее 21 дня и являются недопустимо высокими, особенно при отработке пластов, склонных к самовозгоранию, что предопределяет необходимость поиска более эффективных технических и технологических решений.

Выбор способа демонтажа оборудования, в свою очередь, определяется горно-геологическими условиями, в том числе прочностью пород почвы выработки. Здесь хорошо зарекомендовали себя установки небольших габаритов и массы, например, одноконцевая лебедка в сочетании с подвесной монорельсовой дорогой или машины с гусеничным ходом с повышенной опорной площадью и уменьшенным давлением на почву, как, например, специальный кран-тягач «Petitto mule» (рис. 3).

Сравнительный анализ производительности монтажно-демонтажных работ на пластах различной мощности позволил сделать вывод, что эффективность перемонтажей при отработке пластов средней мощности в большинстве случаев может быть оценена как удовлетворительная, а при отработке мощных пластов — как неудовлетворительная. Так, если при отработке пластов средней мощности превышение плановых сроков в среднем составляет две-три недели, то при отработке мощ-

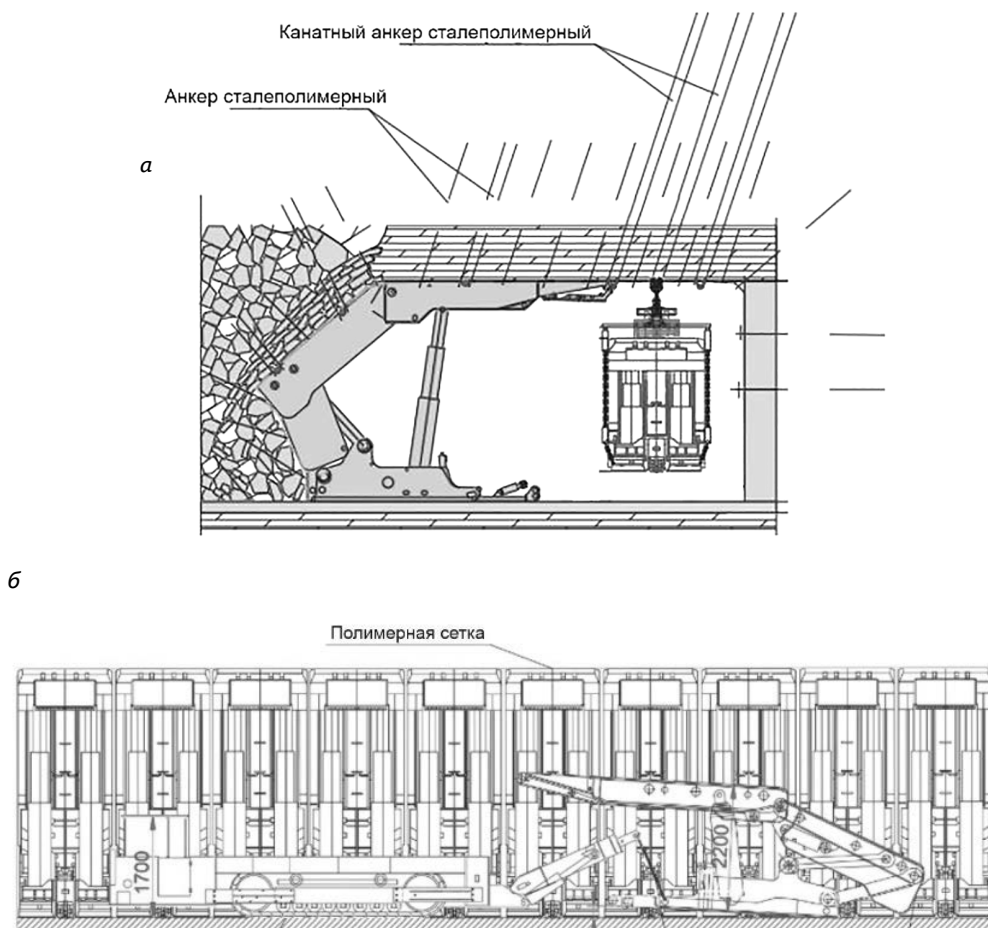


Рис. 3. Варианты демонтажа оборудования лавы: а — с использованием лебедок и подвесной монорельсовой дороги; б — с использованием крана-тягача «Petitto mule»

Fig. 3. Options of removal of the installation from a coalface area: a — with use of winches and the suspended monorail road; б — with use of the Petitto mule crane tractor

ных пластов она составляет уже более 1,5 месяцев, то есть почти в 2 раза превышает плановую продолжительность монтажно-демонтажных работ и инкубационный срок самовозгорания угля при отработке мощных пластов, склонных к самовозгоранию (рис. 4).

Детальный анализ производительности монтажно-демонтажных работ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» показал, что в отдельных горнотехнических ситуациях осложнений при перемонтаже оборудования не возникало, так что планируемые работы были выполнены в срок или даже с опережением плана (рис. 5).

Например, на шахте «Имени 7 ноября» при отработке пласта «Байкаимский» (лавы 13–58, 13–78, 13–80, 13–85, 13–86), на состоянии демонтажной камеры существенные проявления горного давления не сказались, что обусловлено было незначительной (120–230 м) глубиной ведения горных работ при доработке запасов пласта, наличием непосредственной кровли со средней устойчивостью и незначительным установившимся шагом обрушения основной кровли (порядка 20 м). Вместе с тем большая часть перемонтажей потребовала значительных, зачастую много-

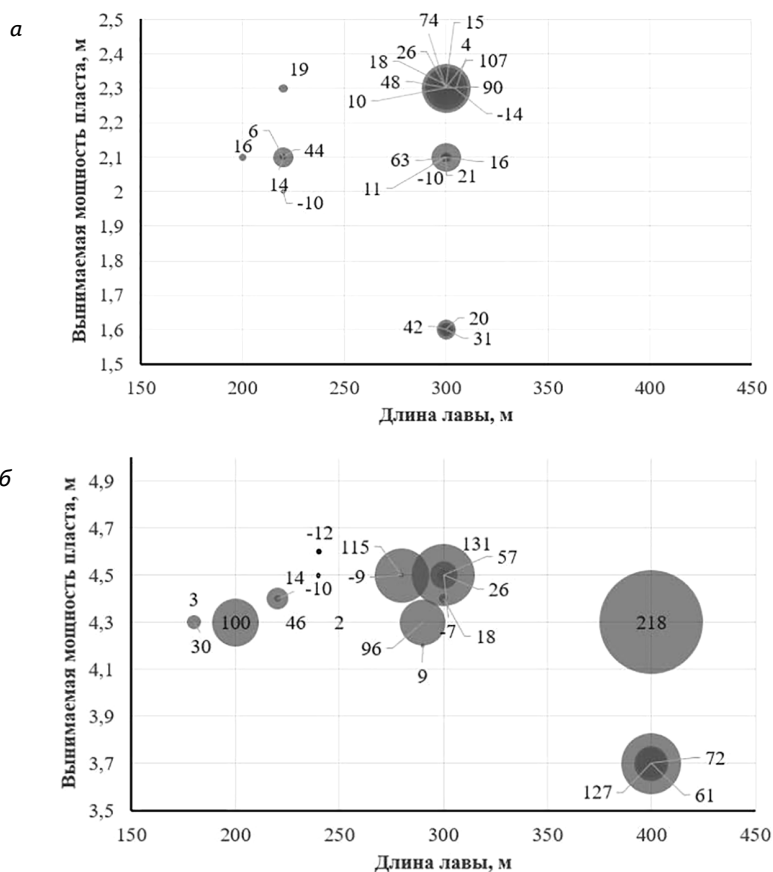


Рис. 4. Влияние мощности пласта и длины лавы на превышение плановых сроков демонтажных работ: а – отработка пластов средней мощности; б – отработка мощных пластов
 Fig. 4. Influence of a seam thickness and longwall panel width on excess of planned terms of moving works: а – mining of seams of average thickness; б – mining of thick seams

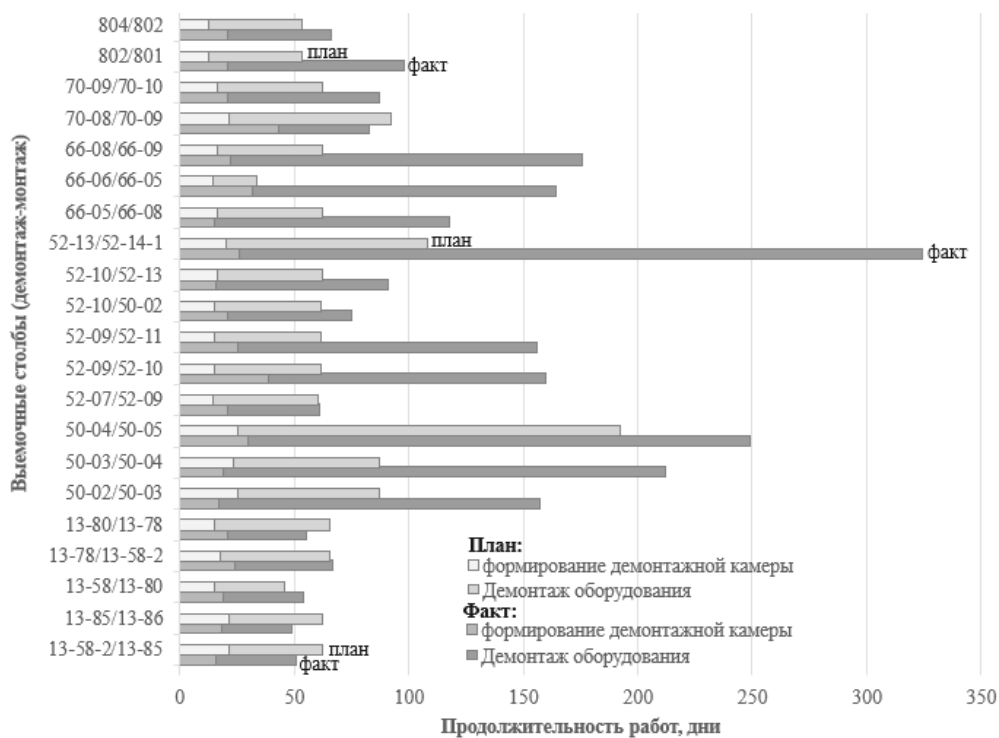


Рис. 5. Сравнительный анализ плановых и фактических сроков демонтажных работ при отработке мощных пластов

Fig. 5. The comparative analysis of planned and actual terms of moving works when mining thick seams

кратно превышающих плановые, сроков выполнения работ (см. рис. 5). Чаще всего причинами нарушения плановых сроков перемонтажей являлось неудовлетворительное эксплуатационное состояние демонтажной камеры, в том числе пучение ее почвы и/или вывалы пород из кровли с образованием куполов, что требовало значительных объемов механизированных работ (поддир почвы, расклиновка секций крепи, укрепление кровли и т.д.). Кроме того, скорость перемонтажа оборудования сдерживалась возможностями монорельсового транспорта — скоростью движения дизельных локомотивов. Однако наиболее длительные простои были обусловлены несвоевременной подготовкой новых выемочных участков.

Перспективные направления сокращения сроков монтажно-демонтажных работ

В качестве перспективных направлений сокращения сроков перемонтажей рассмотрим следующие:

1. Выдача оборудования из демонтажной камеры по нескольким направлениям [8, 26], что ускоряет демонтаж. Такой способ может быть реализован, например, с использованием дополнительных выработок, проводимых заранее навстречу очистному забою — к месту будущего формирования демонтажной камеры. К недостаткам способа следует отнести увеличение затрат на проведение дополнительных выработок, усложнение схемы их проветривания и организации демонтажных работ.

2. Приобретение дополнительного комплекта оборудования (очистной комбайн, лавный конвейер, перегружатель — без секций крепи) для сокращения сроков их монтажа и выдачи первого комплекта из демонтажной камеры для ремонта [8]. Основным недостатком такого способа сокращения сроков перемонтажей является увеличение капитальных затрат на приобретение дополнительного оборудования.

3. Применение пневмоколесного транспорта для транспортирования оборудования при его перемонтаже. Позволяет существенно увеличить скорость перевозки оборудования. Способ требует приобретения специального оборудования и наличия свободного пространства в участковых выработках, а также предъявляет высокие требования к качеству почвы выработок, используемых для движения тяжелых пневмоколесных машин.

4. Применение схем отработки с изменением направления подвигания лавы — при подготовке выемочных столбов парными выработками. Минимальные затраты времени и средств обеспечиваются при перемонтаже оборудования в монтажную камеру, которая находится в непосредственной близости от демонтажной камеры. Однако смена направления подвигания лавы в большинстве случаев невозможна из-за влияния различных специфических условий ведения горных работ: повышенных водопритоков (рекомендуется восходящее движение лавы) или метанообильности лавы (рекомендуется нисходящее движение лавы), а также в связи с тем, что такой подход, как правило, требует при изменении направления движения лавы соответствующего изменения схемы проведения выемочных участков и транспорта угля в пределах шахтного поля.

5. Применение схем отработки с изменением направления подвигания

лавы — при использовании подготовки тремя штреками. Многоштрековая подготовка в варианте три штрека (группа из трех подготовительных выработок проводится с каждой стороны выемочного столба) получила широкое распространение на шахтах США, где она используется в качестве основной. К числу главных недостатков многоштрековой подготовки следует отнести увеличение затрат на подготовку выемочных столбов и потери в межстолбовых угольных целиках. В то же время наличие дополнительной выработки создает условия для использования ее в качестве грузодоставочной с применением пневмоколесного транспорта.

6. Обеспечение эксплуатационного состояния демонтажной камеры за счет рационального расположения этой камеры относительно пригружающего блока основной кровли и формируемой зоны повышенного горного давления от ранее отработанных сближенных угольных пластов. Такой способ обеспечения эксплуатационного состояния должен обязательно использоваться при отработке пластов любой мощности, поскольку позволяет минимизировать уровень напряжений в массиве горных пород [27–29] в окрестности демонтажной камеры. Для монтажной камеры необходимо учитывать лишь влияние зон повышенных напряжений от краевых частей и целиков, сформированных по сближенным пластам (при их наличии).

Обсуждение результатов

К числу основных современных тенденций при интенсивной подземной угледобыче следует отнести увеличение длины лав и выемочных столбов, существенный рост дальности и массы перевозимого при выполнении перемонтажей лав оборудования. Наиболее ощутимым рост объемов работ при перемонтажах наблюдается при отработке

мощных угольных пластов. Современная мировая тенденция к увеличению вынимаемой мощности пластов в один слой предопределила рост массы машин и механизмов, используемых для ведения работ по пластам с мощностью 5–8 м. Анализ эффективности технологических схем по ремонту оборудования на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» показывает их неприемлемо низкую эффективность в современных условиях. С увеличением глубины ведения горных работ и мощности разрабатываемого пласта эффективность монтажно-демонтажных работ, как правило, снижается, что обусловлено ухудшением эксплуатационного состояния демонтажных камер. При отработке мощных пластов ухудшается состояние краевой части массива и кровли, что объясняется ростом зоны предельного состояния в краевой части массива (борту демонтажной камеры). Таким образом, разгрузка демонтажных камер от опорного давления за счет их рационального расположения относительно трещины обрушения основной кровли и зон повышенного горного давления от краевых частей массива и целиков, сформированных на сближенных угольных пластах, остается актуальной задачей. Существенное увеличение по этим причинам сроков демонтажных работ в лавах пластов, склонных к самовозгоранию, повышает опасность эндогенных пожаров, которые являются основными причинами взрывов метановоздушной смеси в угольных шахтах [30].

Предложенные перспективные направления сокращения сроков монтажно-демонтажных работ требуют всестороннего обоснования и определения областей рационального применения, поскольку имеют свои достоинства и недостатки, что предопределяет необходимость изучения каждой конкретной горнотехнической ситуа-

ции на каждой шахте, с учетом специфики горно-геологических условий. Так, например, сокращение дальности транспортирования за счет расположения монтажной камеры вблизи демонтажной камеры потребует изменения направления отработки выемочных столбов и может быть осуществлено в ограниченном диапазоне горнотехнических условий, поскольку, как правило, требует изменения схемы транспорта и проветривания в пределах вынимаемого блока.

Следует отметить, что на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» уже имеется опыт демонтажа оборудования с выдачей его из лавы на разные транспортные выработки. Однако такой демонтаж выполнялся не одновременно, а последовательно — сначала демонтаж части секций на один штрек и только затем оставшейся части — на другой. Разумеется, одновременное извлечение оборудования на выработки разных направлений усложняет схему проветривания демонтажной камеры в период демонтажных работ.

Заключение

В результате выполненных исследований сформулированы рекомендации по выбору рациональных параметров технологических схем для обеспечения экономической эффективности и безопасности интенсивной отработки мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов.

1. Выполненный анализ показателей монтажно-демонтажных работ в шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» показал, что при отработке мощных пластов фактические сроки выполнения монтажно-демонтажных работ почти в 2 раза превышают сроки аналогичных работ на пластах средней мощности и более чем в 70% случаев в 1,5–3 раза превышают планируемые сроки ремонта,

что приводит к созданию эндогенной пожароопасности из-за превышения по времени инкубационного периода самовозгорания угля, который для разрабатываемых мощных угольных пластов указанных шахт составляет 40–50 дней.

2. Основными причинами затянутых сроков монтажно-демонтажных работ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» являются:

- увеличение массы оборудования и пути его транспортирования в связи с увеличением длины лав и выемочных столбов. Особенно растет трудоемкость перемонтажа оборудования для отработки мощных угольных пластов;

- ухудшение состояния демонтажной камеры от влияния зон повышенного горного давления приводит к необходимости выполнения дополнительных работ в процессе демонтажа оборудования и затрудняет операции с секциями механизированной крепи при их демонтаже;

- ограничение пропускной способности транспортных линий при использовании монорельсовых дизельных дорог из-за малой провозной способности таких транспортных систем;

- ограничение возможности применения эффективных схем транспорта и проветривания при использовании традиционно применяемых схем подготовки выемочных столбов парными штреками.

3. При отработке мощных газоносных склонных к самовозгоранию угольных пластов целесообразность увеличения длины лавы требует дополнительного обоснования, кроме применяемого в настоящее время подхода, основанного на оценке только экономической эффек-

тивности [31–32], поскольку в условиях ограничения нагрузок на очистной забой по газовому фактору существенно снижается скорость его подвигания, что приводит к увеличению времени нахождения разрушенного угля в выработанном пространстве в зоне интенсивного проветривания (на пути управляемых утечек воздуха от призабойного пространства к дегазационным скважинами или задней сбойке — при изолированном отводе метановоздушной смеси) и росту опасности возникновения эндогенного пожара. Кроме того, увеличение длины лавы на мощных пластах приводит к росту массы оборудования и увеличению продолжительности монтажно-демонтажных работ.

4. Применение подготовки выемочных участков с использованием трех штреков, проводимых с каждой стороны выемочного столба, позволяет использовать прогрессивные схемы транспорта и проветривания, успешно применяемые в ведущих угледобывающих странах. Следует рассматривать применение таких схем, наряду с широким использованием пневмоколесных транспортных машин, как наиболее перспективное направление совершенствования технологии подземной добычи угля лавами.

Вклад авторов

Сидоренко А. А. — постановка задачи, анализ результатов исследования, написание статьи;

Мешков С. А. — сбор, подготовка и анализ шахтных данных, проведение исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.

2. *Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Meshkov A. A., Sidorenko S. A.* Reproduction of the longwall panels: Modern requirements for the technology and organization of the development operations at coal mines // *Eurasian Mining*. 2020, no. 2, pp. 19–23. DOI: 10.17580/em.2020.02.05.
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. *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.
5. *Stebnev A. V., Mukhortikov S. G., Zadkov D. A., Gabov V. V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass // *Eurasian mining*. 2017, no. 2, pp. 28–32. DOI: 10.17580/em.2017.02.07.
6. *Reshetnyak S., Bondarenko A.* Analysis of Technological Performance of the Extraction Area of the Coal Mine // *E3S Web of Conferences*, 2018, vol. 41, 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101014.
7. *Nguyen L. K., Gabov V. V., Zadkov D. A.* Improvement of drum shearer coal loading performance. *Eurasian Mining*, 2018, no. 2, pp. 22–25. DOI: 10.17580/em.2018.02.06.
8. *Peng S. S.* Longwall mining. London, CRC Press, 2019. 562 p. DOI: 10.1201/9780429260049.
9. Longwall production remains steady. *Coal Age*. January/February 2020. pp. 16–24. [электронный ресурс] — режим доступа: <https://www.coalage.com/flipbooks/january-february-2020> (обращение 12.11.2021).
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.2017.1.130.
11. *Чемезов Е. Н.* Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // *Записки Горного института*. — 2019. — Т. 240. — С.649–653. DOI:10.31897/PMI.2019.6.649.
12. *Мешков А. А., Попов А. Л., Попова Ю. В., Смолин А. В., Шабаров А. Н.* Прогноз опасных явлений в пределах рабочих угольных пластов для шахтного поля им. В. Д. Ялевского // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 2. — С. 22–33. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0–22–33.
13. *Rudakov M., Gridina E., Kretschmann J.* Risk-based thinking as a basis for efficient occupational safety management in the mining industry // *Sustainability*. 2021, vol. 13, iss. 2, no. 470, pp. 1–14. DOI: 10.3390/su13020470.
14. *Гендлер С. Г., Нгуен Т. Х.* Обоснование рациональных способов обеспечения воздухом выемочных участков действующих угольных шахт Вьетнама при углублении горных работ // *Записки Горного института*. — 2018. — Т.234. — С. 652–657. DOI: 10.31897/pmi.2018.6.652.
15. *Копылов К. Н., Кубрин С. С., Решетняк С. Н.* Актуальность повышения уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты // *Уголь*. — 2018. — № 10. — С. 66–70. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10–66–70
16. *Rudakov M. L., Kolvakh K. A., Derkach I. V.* Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining // *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020, vol. 11, iss. 3(43), pp. 579–588. DOI:10.14505/jemt.v11.3(43).10.
17. Ultra-thick seam longwall mining in China. *Coal age*. 2013. [электронный ресурс] — режим доступа: <https://www.coalage.com/features/ultra-thick-seam-longwall-mining-in-china/> (обращение 12.11.2021).
18. *Karpov G. N., Leisle A. V.* Qualitative assessment of strain stress distribution of rock massif in the vicinity of pre-driven recovery room // *Journal of Industrial Pollution Control*. 2017, vol. 33, iss. 1, pp. 840–846.

19. *Wichlacz D., Britten T., Beamish B.* Development of a Pre-Driven Recovery Evaluation Program for Longwall Operations. Coal Operators' Conference. 2009. [электронный ресурс] – режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/30387714_Development_of_a_Pre-Driven_Recovery_Evaluation_Program_for_Longwall_Operations.
20. *Hanson B., Ochsner R., Stankus J. C.* A Case Study of a Low Overburden Longwall Recovery with Pre-Developed Recovery Entries // ICGCM. 2014, vol. 33, pp. 1–8.
21. *Klimov V. V.* Geomechanical feasibility of underground coal mining technology using control systems of electro-hydraulic shield supports for longwall mining // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 560, no. 012067. DOI: 10.1088/1757–899X/560/1/012067.
22. *Ремезов А. В., Климов В. В.* Что может являться уточненной границей отработки выемочного столба, как определить точку остановки очистного забоя и дальнейшее формирование очистным забоем демонтажной камеры? // Уголь. – 2017. – № 1. – С.27–29.
23. *Mark C., Chase F. E., Pappas D. M.* Multiple-seam mining in the United States: design based on case histories. Proceedings on the New Technology for Ground Control in multiple seam mining. Pittsburgh. 2007, pp. 15 – 27.
24. *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.
25. *Suchowerska A. M.* Geomechanics of single seam and multi-seam longwall coal mining: PhD thesis. University of Newcastle, Australia, 2014. – 268 p.
26. *Chase F., Worley P., McComas A.* Longwall Shield Recovery Using Mobile Roof Supports // Proceedings of the 26th International Conference on Ground Control in Mining, 2007, pp 173–179.
27. *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.
28. *Mark C.* An updated empirical model for ground control in U. S. Multiseam coal mines // International Journal of Mining Science and Technology. 2021, vol. 31, iss. 2, pp. 163–174. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.12.024.
29. *Mark C., Agioutantis Z.* Analysis of coal pillar stability (ACPS): A new generation of pillar design software. International Journal of Mining Science and Technology, 2019, vol. 29, iss. 1, pp. 87 – 91. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.007.
30. *Скрицкий В. А., Шпаков П. А., Колыхалов В. В., Ерастов А. Ю.* О результатах анализа аварий на высокопроизводительных выемочных участках шахта Кузбасса // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1. – С.125–129.
31. *Trackemas J. D.* Factors considered for increasing longwall panel width Master's Degree Thesis. Morgantown. West Virginia University. 2013. 49 p.
32. *Ralston J. C., Hargrave C. O., Dunn M. T.* Longwall automation: trends, challenges and opportunities // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 27 (5), pp. 733–739. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.07.027. **ИДБ**

REFERENCES

1. *Yutyaev E. P.* Present day challenges and prospects of flat gas containing coal beds underground mining technologies. *Ugol'*. 2017, no.5, pp. 30–36. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-5-30 – 36.
2. *Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Meshkov A. A., Sidorenko S. A.* Reproduction of the longwall panels: Modern requirements for the technology and organization of the development operations at coal mines. *Eurasian Mining*. 2020, no. 2, pp. 19–23. DOI: 10.17580/em.2020.02.05
3. *Meshkov A. A., Volkov M. A., Ordin A. A.* On record length and productivity of longwall mining the V. D. Yalevskogo mine. *Ugol'*. 2018, no. 7, pp. 4–7. [In Russ]. DOI:10.18796/0041-5790-2018-7-4 – 7.

4. Kazanin O. I., Sidorenko A. A., Meshkov A. A. Organisational and technological principles of realization of modern high productive longwall equipment capacity. *Ugol'*. 2019, no. 12, pp. 4–13. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12–4-13.
5. Stebnev A. V., Mukhortikov S. G., Zadkov D. A., Gabov V. V. Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass. *Eurasian mining*, 2017, no. 2, pp. 28–32. DOI: 10.17580/em.2017.02.07.
6. Reshetnyak S., Bondarenko A. Analysis of Technological Performance of the Extraction Area of the Coal Mine. *E3S Web of Conferences*. 2018, vol. 41, no. 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101014.
7. Nguyen L. K., Gabov V. V., Zadkov D. A. Improvement of drum shearer coal loading performance. *Eurasian Mining*. 2018, no. 2, pp. 22–25. DOI: 10.17580/em.2017.02.07.
8. Peng S. S. Longwall mining. London. CRC Press, 2019. 562 p. DOI: 10.1201/9780429260049.
9. Longwall production remains steady. *Coal Age*. January/February 2020. pp. 16–24, available at: <https://www.coalage.com/flipbooks/january-february-2020> (accessed 12.12.2022).
10. Slastunov S. V., Yutyaev E. P. Justifies Selection of a Seam Gegassing Technology to Ensure Safety of Intensive Coal Mining. *Journal of Mining Institute*. 2017, vol. 223, pp.125–130. DOI:10.18454/PMI.2017.1.130.
11. Chemezov E. N. Industrial safety principles in coal mining. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 240, pp. 649–653. DOI:10.31897/PMI.2019.6.649.
12. Meshkov A. A., Popov A. L., Popova Yu. V., Smolin A. V., Shabarov A. N. Prediction of hazardous phenomena within operating coal seam for the Yalovsky mine field. *MIAB. Mining informational and analytical bulletin*, 2020, no. 2, pp. 22–33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0–22–33.
13. Rudakov M., Gridina E., Kretschmann J. Risk-based thinking as a basis for efficient occupational safety management in the mining industry. *Sustainability*. 2021, vol. 13, iss. 2, no. 470, pp. 1–14. DOI: 10.3390/su13020470.
14. Gendler S. G., Nguen T. K. Justification of rational methods for provision of air to faces of operating coal mines of Vietnam during deepening of mining. *Journal of Mining Institute*. 2018, vol. 234, pp. 652–657. DOI: 10.31897/pmi.2018.6.652.
15. Kopylov K. N., Kubrin S. S., Reshetnyak S. N. The importance of improving energy efficiency and safety of coal mine extraction. *Ugol'*. 2018, no. 10, pp. 66–70. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10–66–70.
16. Rudakov M. L., Kolvakh K. A., Derkach I. V. Assessment of environmental and occupational safety in mining industry during underground coal mining. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020, vol. 11, iss. 3(43). pp. 579–588. DOI:10.14505/jemt.v11.3(43).10.
17. Ultra-thick seam longwall mining in China. *Coal age*. 2013. [электронный ресурс] режим доступа: <https://www.coalage.com/features/ultra-thick-seam-longwall-mining-in-china/>
18. Karpov G. N., Leisle A. V. Qualitative assessment of strain stress distribution of rock massif in the vicinity of pre-driven recovery room. *Journal of Industrial Pollution Control*. 2017, vol. 33, iss. 1, pp. 840–846.
19. Wichlacz D., Britten T., Beamish B. Development of a Pre-Driven Recovery Evaluation Program for Longwall Operations. Coal Operators' Conference. 2009. [электронный ресурс] режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/30387714>
20. Hanson B., Ochsner R., Stankus J. C. A Case Study of a Low Overburden Longwall Recovery with Pre-Developed Recovery Entries. *ICGCM*. 2014, vol. 33, pp. 1–8.
21. Klimov V. V. Geomechanical feasibility of underground coal mining technology using control systems of electro-hydraulic shield supports for longwall mining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 560, no. 012067. DOI: 10.1088/1757–899X/560/1/012067.

22. Remezov A. V., Klimov V. V. What can serve as the extraction column verified boundary, how can be stope limit defined with further break-down chamber formation. *Ugol'*. 2017, no.1, pp. 27–29. [In Russ].

23. Mark C., Chase F. E., Pappas D. M. Multiple-seam mining in the United States: design based on case histories. *Proceedings on the New Technology for Ground Control in multiple seam mining*. 2007, pp. 15–27.

24. 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.

25. Suchowerska A. M. Geomechanics of single seam and multi-seam longwall coal mining. PhD thesis. University of Newcastle, Australia, 2014, 268 p.

26. Chase F., Worley P., McComas A. Longwall Shield Recovery Using Mobile Roof Supports. *Proceedings of the 26th International Conference on Ground Control in Mining*. 2007, pp 173–179.

27. 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.

28. Mark C. An updated empirical model for ground control in U. S. Multiseam coal mines. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021, vol. 31, iss. 2, pp. 163–174. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.12.024.

29. Mark C., Agioutantis Z. Analysis of coal pillar stability (ACPS): A new generation of pillar design software. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, iss. 1, pp. 87–91. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.007.

30. Skritskii V. A., Shpakov P. A., Kolykhalov V. V., Erastov A. Yu. About results of the analysis of accidents on high-performance longwall panels the mine of Kuzbass. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noi promyshlennosti*. 2013, no.1, pp.125–129. [In Russ].

31. Trackemas J. D. Factors considered for increasing longwall panel width Master's Degree Thesis. Morgantown. West Virginia University. 2013. 49 p.

32. Ralston J. C., Hargrave C. O., Dunn M. T. Longwall automation: trends, challenges and opportunities. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27 (5), pp. 733–739. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.07.027.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сидоренко Андрей Александрович — канд. техн. наук, доцент, Доцент кафедры “Разработка 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;

Мешков Сергей Анатольевич — заведующий горными работами, e-mail: Meshkov_SA@suek.ru, АО «СУЭК-Кузбасс», 652507, Кемеровская область, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, д. 1, Россия.

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sidorenko A. A., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, 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; *Meshkov S. A.*, Manager of mining operations, e-mail: Meshkov_SA@suek.ru, JCS SUEK-Kuzbass, 652507, Kemerovo region, Leninsk-Kuznetsky, Vasilyeva St. 1, 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.