

Воспроизводство выемочных участков лавы: современные требования к технологии и организации разработки в угольных шахтах

О.И. КАЗАНИН¹, А.А. СИДОРЕНКО¹, А.А. МЕШКОВ², С.А. СИДОРЕНКО¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

² АО «СУЭК-КУЗБАСС», Ленинск-Кузнецкий, Россия

Ссылка для цитирования оригинальной статьи: Kazanin, Oleg & Sidorenko, Andrey & Sidorenko, Sergey & Meshkov, A. (2020). Reproduction of the longwall panels: modern requirements for the technology and organization of the development operations at coal mines. *Eurasian Mining*. 19-23. DOI: 10.17580/em.2020.02.05

Аннотация: Авторы указывают на важность своевременного воспроизводства выемочных участков в угольных шахтах для устойчивой и высокопроизводительной добычи угля на основе использования потенциала современного очистного оборудования. На примере шахт СУЭК-Кузбасс показана необходимость изменения подходов к повышению экономической эффективности и конкурентоспособности угледобычи и перехода от привычной практики снижения себестоимости к повышению производительности за счет внедрения возможностей высокопроизводительного оборудования. Проанализирована эффективность проходки на шахтах СУЭК-Кузбасс, выявлены основные причины длительных простоев в работе современных высокопроизводительных выемочных комбайнов непрерывного действия (ВКНД) или проходческих комбайнов непрерывного действия (ПКНД). Разработаны рекомендации по совершенствованию планирования подготовительных работ в шахтах и введению значительного запаса времени для ликвидации простоев при отставании фактической производительности проходки от плановых данных. Представлена структура времени действия современных ПКНД и даны рекомендации по оценке эффективности ПКНД как фактического времени действия при зарубании пород забоя. Обоснованы области применения различных типов современных ПКНД. Предложены рекомендации по изменению параметров выемочных участков и переходу на многозабойные выемочные участки с целью повышения эффективности подготовительных работ и фактической добычи угля. Описана целесообразность широкого применения челночных вагонеток для повышения эффективности транспортировки горных пород и материалов. Обоснованы организационно-технологические принципы повышения эффективности подготовительных работ на угольных шахтах.

Ключевые слова: подземная добыча, угольный пласт, проходческий комбайн непрерывного действия, технико-экономические показатели, оборудование, организация работ, простои, коэффициент использования машин, производительность труда.

Reproduction of the longwall panels: modern requirements for the technology and organization of the development operations at coal mines

Oleg I. KAZANIN¹, Andrey A. SIDORENKO¹, Anatoliy A. MESHKOV², Sergey A. SIDORENKO¹

¹ Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

² SUEK Kuzbass, Leninsk-Kuznetsky, Russia

Abstract: The authors point at the criticality of timely reproduction of longwall panels in coal mines toward sustainable and high-rate coal mining based on the utilization potential of modern longwall equipment. A case-study of SUEK-Kuzbass mines shows that there is a need to change approaches to improvement of economic efficiency and competitiveness of coal mining and to shift from the common practice of production cost reduction to productivity enhancement through implementation of high-performance equipment capabilities. Efficiency of road heading in mines of SUEK-Kuzbass is analyzed, and the main causes of long downtime in operation of modern high-performance continuous miners (CM) or continuous bolter miners (CBM) are identified. Recommendations have been developed for improved planning of preparatory works in mines and for introduction of significant action time margin to eliminate downtime when actual drivage performance lags behind the planning data. The action time structure of modern CBM is presented, and recommendations are given on CBM efficiency evaluation as actual action time in cutting road face rocks. The application areas of various modern CBM types are justified. Recommendations are proposed for changing the parameters of longwall panels and to change to multi-entry longwall panels in order to increase efficiency of preparatory works and actual coal production. The authors describe expediency of widespread use of shuttle cars to improve efficiency of haulage of rocks and materials. The organizational and technological principles of the efficiency increase in preparatory works in coal mines are substantiated.

Keywords: underground mining, coal seam, continuous bolter miner, technical-and-economic indices, equipment, work management, downtime, machine utilization factor, productivity.

* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2025.

Введение

Современное, надежное и высокомогущее оборудование, внедренное на угольных шахтах России, обеспечило пиковую производительность по лавам. Например, при отработке толстого и пологого угольного пласта 50 на шахте им. В.Д. Ялевского комплексно-механизированные очистные забои достигают производительности 1-1,6 Мт/месяц, а иногда добывают до 65 тыс. т угля в сутки [1]. Однако, несмотря на высокую среднемесячную производительность, годовая производительность комплексно-механизированных очистных забоев не превышает 6 Мт. Такой дисбаланс объясняется длительными простоями высокопроизводительного очистного оборудования из-за замедленного воспроизводства фронта лавы и несвоевременной подготовки новых рабочих участков [2]. Низкая эффективность проходки является общей проблемой [2-7], и она становится еще более острой при более высокой производительности на забой в лавах, полностью оборудованных современными высокопроизводительными машинами.

Анализ эффективности проходки на шахтах СУЭК-Кузбасс показывает, что скорости проходки отстают от темпов продвижения в лавах, что сдерживает и замедляет добычу угля. Так, в 2018 году средняя скорость проходки по шахтам составила 160 и 210 м/месяц при селективном и многоточечном продвижении комбайнов, соответственно. При этом скорость продвижения лавы длиной 400 м по пласту 50 на шахте им. В.Д. Ялевского составляла от 320 до 725 м/месяц. Для своевременного воспроизводства фронта лавы, даже при подготовке рабочих участков проходкой спаренных штреков, скорость проходки должна составлять 2,3-2,8 м на 1 м продвижения лавы, что невозможно даже при встречной проходке или использовании четырех комбайнов при проходке спаренных штреков на выемочных участках.

В такой ситуации очевидным решением является приобретение и внедрение современного проходческого оборудования ведущих мировых производителей – выемочных и проходческих комбайнов непрерывного действия, способных в благоприятных условиях эксплуатации обеспечить продвижение проходки на 1000-2000 м в месяц. Такие темпы проходки помогут решить нынешнюю проблему, связанную с подготовкой рабочих площадей. В то же время, история передовых комбайнов на шахтах СУЭК-Кузбасс показывает, что необходимо также модифицировать и совершенствовать как технологические схемы, так и планирование и управление проходкой. В связи с этим целью данного исследования является разработка и обоснование рекомендаций по совершенствованию управления, технологической надежности и эффективности проходческих работ для повышения воспроизводительной способности длинных очистных забоев, а также для стабильной и высокопроизводительной добычи угля на шахтах СУЭК-Кузбасс.

Современные тенденции в области технологий и оборудования для проходки

Технологический прогресс в добыче угля привел к повышению производительности на забой, увеличению скорости продвижения и высоты разработки. В настоящее время производительность одного забоя может достигать 65 тыс. т/сут [1], скорость продвижения – 70 м/сут [8], высота разработки – 8 м. Современные горные машины тяжелее и крупнее прежних. Высокие темпы добычи угля обусловили увеличение темпов и сечений длинных забоев. Поэтому были разработаны новые горные машины, такие как проходческие комбайны и проходческие комбайны-спутники [8], обеспечивающие независимую работу нескольких лав, а также одновременную нарезку угля и установку кровельной крепи. Разработанные в 1990-х годах (Sandvik Alpine Bolter Miner АВМ20), постоянно совершенствуемые и модифицируемые горные машины сформировали новый стандарт высокопроизводительного оборудования, что привело к постепенному отказу от более ранних моделей. Так, например, на шахтах США отказались от ранее популярных выемочных комбайнов непрерывного действия Joy 12 CM и 14 CM [8].

В настоящее время на американских шахтах используются две схемы работы горных машин: (1) выемочный комбайн непрерывного действия; (2) чередование в лаве выемочного комбайна и проходческого комбайна непрерывного действия. Во втором варианте выемка длинных забоев без проходческого комбайна проводится на расстояние от 6,1 до 12,2 м. Максимальная

достигнутая производительность проходческого комбайна составляет 76 м/сут. Для полного использования производительности комбайнов на американских шахтах проходческие комбайны комбинируются с гибкими конвейерными поездами. Натурные испытания показали, что такое оборудование в таком сборе достигает производительности от 61 до 111 за смену продолжительностью 12 часов [8]. В то же время, стандарты, предъявляемые к условиям эксплуатации и обслуживанию такого оборудования, очень высоки. Следует также отметить, что технология и оборудование горных работ постоянно совершенствуются [8-25].

Обеспечить такую же производительность аналогичного оборудования на российских шахтах очень сложно из-за гораздо более сложных геолого-географических условий. Основными осложняющими факторами являются неустойчивость вмещающих пород и высокая газоносность угля. Несмотря на существенный разрыв в производительности между шахтами России и ведущих угледобывающих стран, достижение проходческими бригадами российских шахт средних показателей проходки в этих странах является первостепенным условием конкурентоспособности российских горнодобывающих компаний на международном рынке.

Перспективы роста подземной добычи угля в России закономерно связаны с внедрением многозабойной подготовки рабочей зоны с трех сторон выемочных участков. Такой подход позволяет повысить эффективность проходки, контроля выбросов метана и схем монтажа/демонтажа оборудования за счет дифференциации назначения проходческих участков, а также исключить диагональную вентиляционную крестовую проходку. Структура проходки в этом случае требует применения современных комбайнов в сочетании с самоходными вагонетками или гибкими конвейерными поездами для обеспечения высоких темпов проходки по прямым участкам. При оконтуривании лавы с трех сторон забой всех трех входов должны обрабатываться одной бригадой проходчиков для согласованной работы трех забоев и исключения простоев, когда один забой опережает другой, путем оперативной передислокации оборудования и персонала на более медленно продвигающиеся участки забоя. Проходка несколькими забоями с трех штреков является основной схемой на шахтах США, а проходка парными штреками применяется только в условиях повышенной динамической опасности, при глубокой разработке на глубине более 350 м, при наличии высокопрочных и сложных пород кровли, с податливыми целиками между парными штреками благодаря малой ширине целиков (менее 9 м).

Проходка в шахтах СУЭК-Кузбасс

Серийно выпускаемый на Копейском машиностроительном заводе проходческий комбайн КП21, постоянно модернизируясь, обеспечил более высокую скорость проходки и установил несколько рекордных показателей работы на шахтах СУЭК-Кузбасса. На наиболее эффективных проходческих участках скорость продвижения достигала 700 м/месяц, однако средняя производительность редко превышала 200 м/месяц.

Высокие темпы продвижения (до 35 м/сутки и 800 м/месяц) в лавах, оборудованных современными высокопроизводительными горными машинами, потребовали переоснащения шахт СУЭК-Кузбасс для обеспечения своевременной подготовки рабочих участков. Устаревшие проходческие комбайны К21 были заменены на проходческие комбайны Sandvik MB670-1. Последний – модификации 2015 года, предназначенной для ускоренного оконтуривания выемочных участков. Внедрение современных проходческих комбайнов увеличило скорость проходки в 1,5 раза. Тем не менее, средняя производительность бригад по проходке горных выработок, несмотря на оснащенность передовыми машинами, остается недопустимо низкой и значительно отстает от показателей ведущих угледобывающих компаний.

Анализ эффективности работы различных горных машин на шахтах СУЭК-Кузбасс в 2019 году свидетельствует о крайне неустойчивой работе большинства бригад проходчиков (рис. 1). Скорость проходки подъездных путей в грунтовых породах колеблется от 20 до 160 м/месяц (рис. 1а). При реальной выемке угля машиной КП21 темпы продвижения также колеблются в широких пределах (рис. 1б). Существенные колебания темпов проходки наблюдаются и у комбайнов непрерывного действия Joy12CM30 (рис. 1с). Темпы проходки проходческими комбайнами MB 670-1 выше, но также нестабильны во времени (рис. 1д).

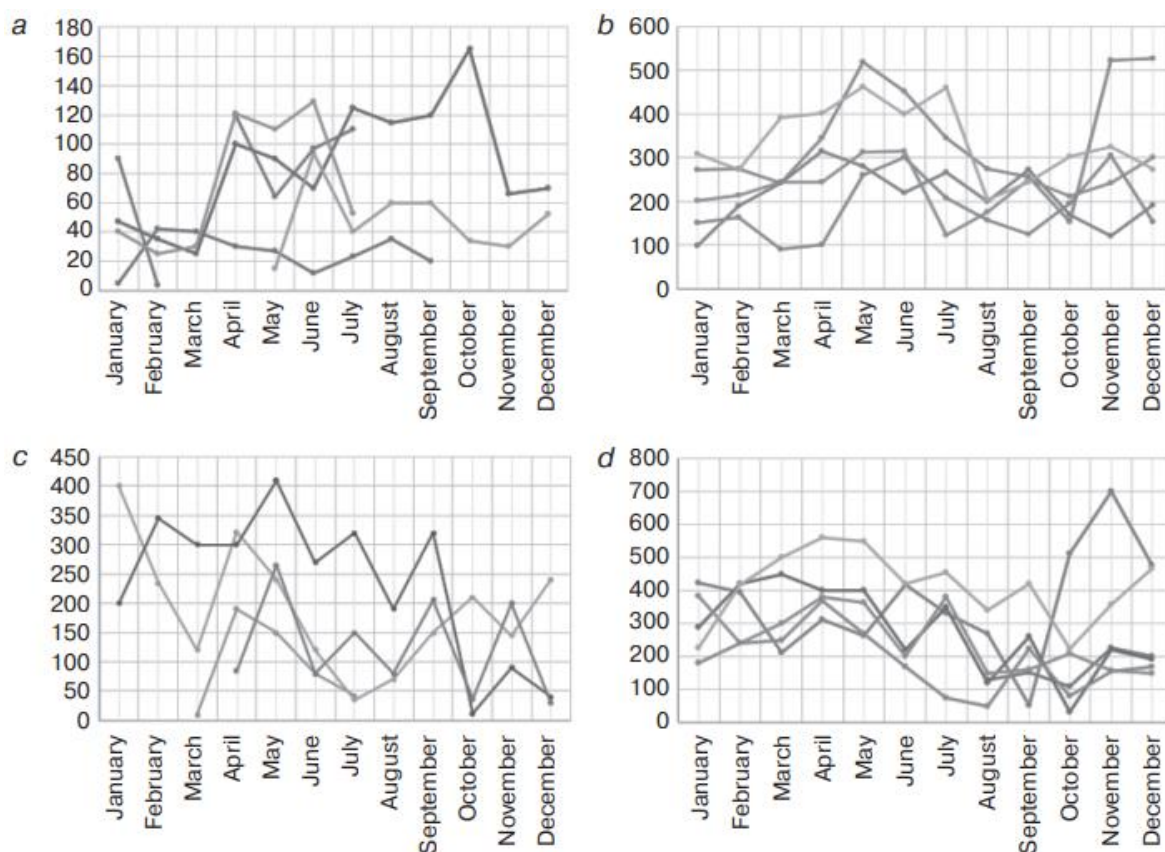


Рис. 1. Динамика проходки с различными горными машинами:
 (а) выборочная резка породы; (б) выборочная резка угля;
 (с) комбайн непрерывного действия; (д) проходческий комбайн

Низкая эффективность проходки и, как следствие, несвоевременная подготовка новых рабочих участков являются основными сдерживающими факторами прогрессивной добычи угля при подземной высокоскоростной выемке пологих угольных пластов с использованием современной высокопроизводительной техники. Чаще всего трудности возникают при выемке длинными забоями со скоростью продвижения забоя более 40 м/сут. Такие темпы продвижения нетипичны для шахт СУЭК-Кузбасс, где единственная лава иногда может достигать скорости продвижения 35 м/сутки (пласт 50 на шахте им. В.Д. Ялевского). Экономический ущерб от простоя высокопроизводительного оборудования на шахтах СУЭК-Кузбасс в таком случае превышает 100 тыс. долларов США в сутки, а внеплановые простои каждой высокопроизводительной лавы могут длиться 90 и более дней. В связи с этим крайне важно обеспечить своевременную подготовку выемочных участков при минимизации времени простоя, поскольку от эффективности решения этой задачи зависит конкурентоспособность и даже живучесть подземных энергогенерирующих угольных шахт в условиях нестабильного рынка.

Распространенный подход к снижению себестоимости добычи угля, основанный на сокращении производственных затрат, приводит к потере эффективности производственных процессов, в том числе проходки, простоя высокопроизводительных машин и существенному увеличению потерь за счет удлинения периода добычи или снижения добычи, что в конечном итоге приводит к резкому увеличению себестоимости продукции шахты. Чтобы избежать перебоев в работе лавы, целесообразно увеличить объемы средств, направляемых на приобретение и применение наилучших доступных технологий и оборудования (основных и вспомогательных горных машин и транспортных систем), необходимых для эффективной проходки, внедрить современные подходы к стимулированию и мотивации персонала, а также привлечь высокопрофессиональных специалистов для обеспечения своевременной подготовки выемочных участков и непрерывной работы лавы.

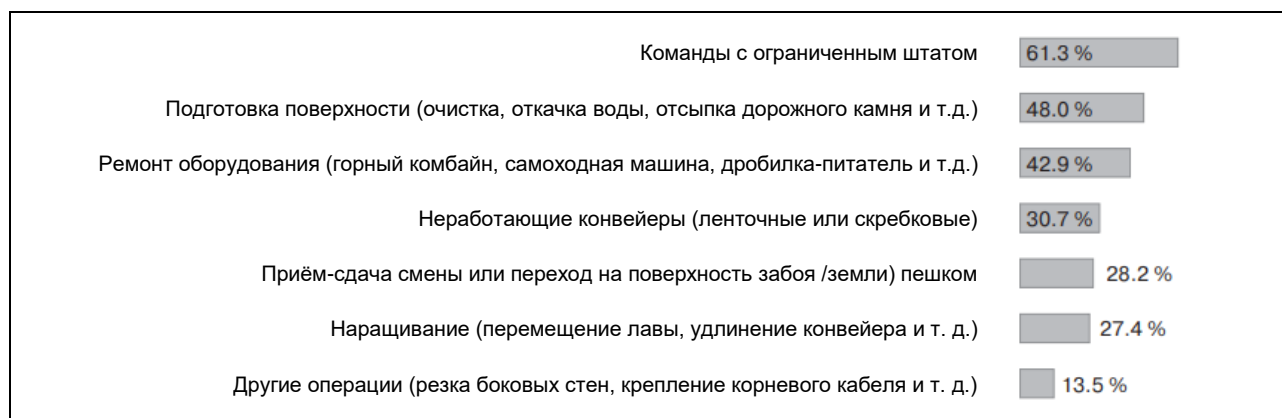


Рис. 2. Время простоя шахты по группам причин

Низкая эффективность горных комбайнов: причины и устранение

Основной причиной низкой скорости проходки является неэффективное использование современных горных комбайнов (см. рис. 1) из-за отсутствия проходчиков горизонтальных выработок и несовершенства технологических схем (рис. 2), которые в большинстве своем являются неблагоприятными в силу:

- длительных простоев оборудования из-за неэффективного выполнения вспомогательных операций, отсутствия вспомогательных средств и материалов, несвоевременного подвоза персонала;
- простоев горных машин в парных проходческих штреках из-за отставания одного из штреков при проходке забоя горной машиной;
- устаревших технологических схем проходки (например, использования скребковых конвейеров SR-70);
- низкой эффективности контроля притока воды в главных штреках, что приводит к намочанию основания, образованию натеков и постоянной необходимости поддержания удовлетворительного эксплуатационного состояния основания в выработках;
- использования проходчиков для выполнения вспомогательных и дополнительных работ, а также ручная транспортировка материалов на забойные площадки.

Анализ работы современных горных машин на мощных и пологих угольных пластах показывает, что даже полностью укомплектованные горные бригады страдают от длительных простоев техники, а время работы комбайнов составляет не более 32 % от общего времени работы машин при установленном нормативе в 60 %.

Чтобы устранить эти недостатки графиков проходки, необходимо:

- использовать эффективные схемы оконтуривания выемочных участков, применяя проходческие комбайны для работы в длинных лавах и комбайны непрерывного действия для проходки диагональных вентиляционных крестообразных штреков (в парной проходке);
- использовать специальные графики для строительства коротких выработок (длиной до 500 м), без конвейеров, с использованием двух самоходных вагонеток, которые перегружают уголь с одной вагонетки на другую, чтобы сократить расстояние транспортировки;
- повышать эффективность установки крепи, занимающей до 75 % общего цикла проходки, используя оптимизированные конструкции крепи без тросового крепления проходческого забоя (при работе вне зон повышенного давления вскрышных пород и осевого давления);
- применять усовершенствованные технологические схемы, при этом скребковые конвейеры SR-70 заменяются самоходными вагонетками (кроме пластов под углом более 12 град.);
- повышать эффективность работы проходческих комбайнов за счет снижения объема ручного труда (исключение ручной транспортировки штанговой крепи и установки стальных лент на длинных пролетах, пешего передвижения персонала шахты на большие расстояния) и привлечения рабочих вспомогательных участков к выполнению работ по очистке, строительству и ремонту;

- увеличить парк самоходных вагонов для перевозки горной массы, а также погрузочно-доставочных машин для создания благоприятных условий эксплуатации (очистки) и перевозки материалов с использованием приобретенной современной и надежной техники;
- обеспечить эффективный контроль притока и отвода воды, а также повысить производительность насосных станций для устранения скопления воды в выработках.

Эти рекомендации могут помочь повысить эффективность работы проходческих бригад, но не способны повысить производительность техники. В связи с этим необходимым условием является изменение подходов к планированию и управлению проходками.

Рекомендуемые подходы к планированию и управлению проходками

По мнению авторов, повышение эффективности оборудования является ключевым фактором высокой эффективности подземной добычи угля. Существует несколько подходов к оценке эффективности оборудования, основанных, как правило, на оценке времени работы оборудования, или процента времени работы, или коэффициента производительного времени. Однако, авторы данной статьи считают, что эти подходы определяют только время работы машин за смену или день, а не эффективность работы машин в течение этого времени. В этом контексте более эффективным подходом является простая оценка скорости продвижения проходческого забоя. Для эффективной реализации потенциала горных комбайнов необходимо проанализировать структуру времени их работы. Для любого типа горных комбайнов структура времени действия может быть представлена схемой на рис. 3. Фактическое время действия, которое используется в качестве точки отсчета при планировании проходки и оценке эффективности, определяется продолжительностью плановых и внеплановых простоев, обусловленных технологией проходки, оборудованием и управлением в организации. В настоящее время на шахтах компании «СУЭК-Кузбасс» оценивается эффективность использования проходческих комбайнов с заданным временем действия 60 %. Однако при таком подходе не учитывается эффективность работы машин в пределах этого времени. Основной задачей современных высокопроизводительных горных комбайнов является увеличение скорости проходки за счет синхронизации основных операций. В этом случае время эффективной работы проходческого комбайна следует оценивать только как время проходки забоя, а остальное время – как время простоя из-за неэффективного использования машины. Этот подход, ранее предложенный авторами для оценки полноты использования систем длинных лав [2], применим и в рассматриваемом случае, поскольку он позволяет сопоставить технологические схемы и выбрать наиболее эффективную из них для конечной реализации возможностей передовых горных комбайнов.



Рис. 3. Структура времени работы и простоя горных комбайнов

Необходимым условием воспроизводства лавы в условиях высокой неопределенности и сложности геологических и геотехнических условий является активизация планирования лавы путем установления значительных резервов времени или объемов проходки (рис. 4) с целью нивелирования последствий значительного отставания фактических работ от проектных показателей.

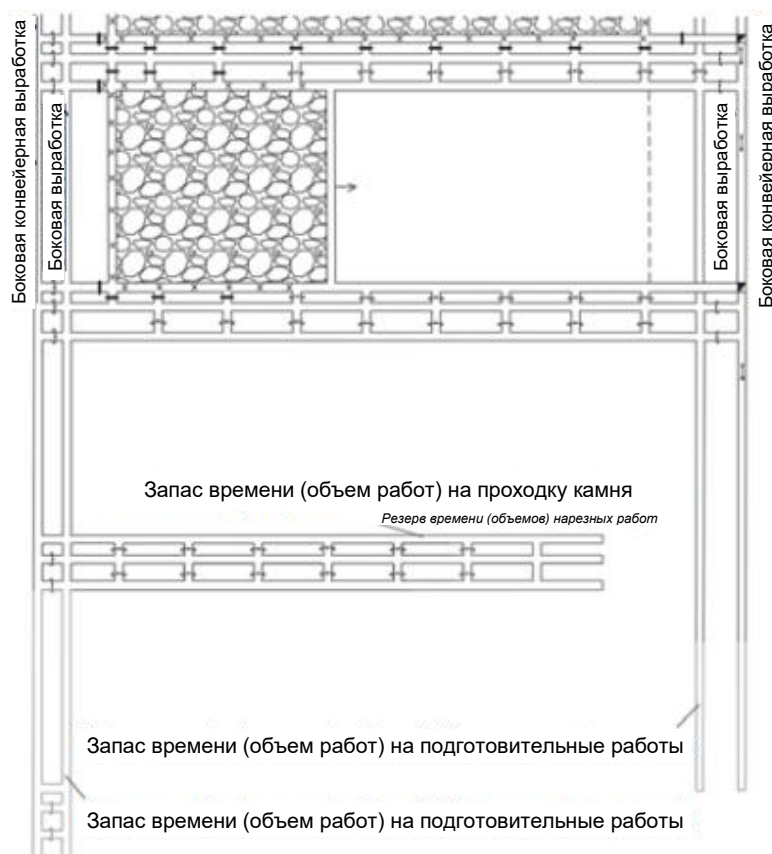


Рис. 4. Запас времени за счет ранней подготовки

Например, избежать простоя высокопроизводительного оборудования лавы можно путем формирования временного запаса не менее 2 месяцев от завершения всех подготовительных работ на новом рабочем участке до начала демонтажа оборудования на отработанном участке. При таком временном запасе влияние снижения проектных темпов проходки может быть минимизировано с учетом фактически достигнутых темпов проходки в конкретных геологических условиях и с учетом дополнительных осложняющих факторов (работа в зонах повышенного давления вскрышных пород или в зоне влияния разломов).

Чтобы избежать влияния проходки боковых выработок на разграничение выемочных участков, боковые выработки должны быть продвинуты относительно новой лавы не менее чем на длину этой лавы (см. рис. 4). Учитывая реальные темпы продвижения лав, такой запас времени может составлять не более 6 месяцев, но это поможет избежать длительного простоя высокопроизводительного оборудования. Чтобы обеспечить своевременное и быстрое перемещение проходческих комбайнов на новые пути после завершения работ, необходимо заранее спланировать рациональные маршруты движения машин и своевременно проводить очистку, обеспечивающую перемещение оборудования без разборки. Следует отметить, что для перебазирования проходческих комбайнов без разборки требуются проезжие части большого сечения; в то же время, практика показала, что разборка увеличивает срок ввода машины в эксплуатацию на новых площадках до нескольких месяцев.

Еще больше свободного времени для подготовки новых лав можно получить за счет увеличения длины лав до 400 м. Такой подход наиболее эффективен при разработке угольных пластов средней толщины. Например, при разработке угольных пластов толщиной до 3 м около 30 % всех лав в США имеют длину более 400 м (максимальная длина – 482 м) [8, 26].

Использование современных и надежных машин оптимизирует режим работы забоя, так как целая смена может быть назначена ремонтной и обслуживающей. Ремонт и обслуживание могут осуществляться по мере необходимости. Такое организационное управление проходкой позволяет повысить эффективность использования современных горных машин и ускорить темпы проходки.

Выводы

Проведенное исследование позволяет сформулировать основные рекомендации по технологии проходки и управлению на высокопроизводительных угольных шахтах, которые приведены ниже.

1. Выбор и обоснование технологических, календарных, пространственных и планировочных решений должны основываться на критерии максимальной эффективности использования современного высокопроизводительного оборудования. Эффективность использования современной горной техники на лучших шахтах России в настоящее время составляет менее 25 % от теоретического значения (оценка выполнена по методике, предложенной авторами данной работы ранее [2]), что обусловлено низкой эффективностью проходческих комбайнов, время работы которых составляет не более 32 %. Размер ущерба (недополученной прибыли) из-за простоя высокопроизводительных лав и проходческих комбайнов при высокодебитной добыче угля может превышать 1 млрд руб. в год на шахту.

2. Неэффективное использование горных комбайнов является основным препятствием для повышения эффективности подземной добычи угля с использованием передовых очистных систем. Крайне важно, чтобы руководство шахты осознало всю значимость проходки и уделяло повышенное внимание проходке (наравне с выемкой длинными забоями).

3. Большинство горнодобывающих компаний осуществляют экономию затрат на добычу угля на основе снижения производственных расходов, что приводит к снижению эффективности технологических схем, простоям высокопроизводительного оборудования и ощутимым экономическим потерям, многократно превосходящим временный эффект от локального снижения затрат.

4. Выбор и обоснование эффективных технологий должны основываться на предлагаемой временной структуре действий и фактическом времени проходки горного комбайна (скорости проходки в выработке). Предложенный подход позволяет оценить эффективность современных проходческих комбайнов, выполняющих несколько основных операций одновременно, а также оценить эффективность технологических схем и управления горными комбайнами.

5. В условиях высокой неопределенности и многообразия осложняющих геологических и геотехнических факторов повышение эффективности планирования проходки может быть обеспечено только за счет формирования запаса времени или объема проходки для нивелирования последствий значительного разрыва между плановыми показателями и фактическими данными проходки. Таким образом, существует значительный потенциал для существенного повышения эффективности и конкурентоспособности подземной угледобычи в России. Реализация этого потенциала возможна только на основе совершенствования управления производством, направленного на повышение эффективности использования современных горных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meshkov A.A., Volkov M.A., Ordin A.A., Tymoshenko A.M., Botvenko D.V. On record length and productivity of highwallmining the V.D. Yalovsky mine. *Ugol*. 2018. No. 7. pp. 4–7. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-7-4-7
2. Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Meshkov A.A. Organizational and technological principles of realization of potential of the modern high productive longwall equipment capacity. *Ugol*. 2019. No. 12. pp. 4–13. DOI 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13
3. Gantry S.V., Zamyslyayev V.F., Linnik V.Yu. Technological level and efficiency of application of domestic and foreign clearing and heading equipment in the coal industry of the Russian Federation. *GIAB*. 2013. No. OB1. pp. 435–460.
4. Yutyaev E.P. Present-day challenges and prospects of flat gas containing coal beds underground mining technology. *Ugol*. 2017. No. 5. pp. 30–36.
5. 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
6. Kopylov K.N., Kubrin S.S., Zakorshmeny I.M., Reshetnyak S.N. Reserves of increase in overall performance of longwall panels of coal mines. *Ugol*. 2019. No. 3. pp. 46–49.
7. Kazanin O.I., Yutyaev E.P. Technologies of underground mining of coal seams: modern calls and prospects. *GIAB*. 2018. No. 11, Iss.1. pp. 26–36.
8. Peng S.S. Longwall mining. 3rd Edition. CRC Press, 2019. 562 p.
9. Bolter Miners. Available at: http://www.undergroundcoal.com.au/roadway/bolter_miners.aspx (accessed: 07.07.2020).
10. Qiao S., Xia Y., Liu Z., Liu J., Ning B., Wang A. Performance evaluation of bolter miner cutting head by using multicriteria decision-making approaches. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. 2017. Vol. 11, Iss. 5. DOI: 10.1299/jamdsm.2017jamdsm0059
11. Ma P., Qian D., Zhang N., Shimada H., Pan D., Huang K. Application of Bolter Miner Rapid Excavation Technology in Deep Underground Roadway in Inner Mongolia: A Case Study. *Sustainability*. 2020. Vol. 12(7). 2588.

12. Qiao S. Performance Evaluation of Different Pick Layouts on Bolter Miner Cutting Head. *Journal of Mining Science*. 2018. Vol. 54, Iss. 6. pp. 969–978.
13. Reed W.R., Joy G.J., Shahan M. et al. Laboratory results of a 3rd generation roof bolter canopy air curtain for respirable coal mine dust control. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2019. Vol. 6. pp. 15–26.
14. Dengyun Gao, Yingjie Liu, Wen Luo. The Application of Speedy Drivage System in Daliuta Coal Mine. *IOP Conf. Ser. Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 490. 062073.
15. Ma C.B. Study of load characteristics by bolter miner cutting unit. *Railway Construction Technology*. 2017. Vol. 4. pp. 124–126.
16. Qiao S., Xia Y.M., Liu Z.Z., Liu J.S., Ning B., Wang A.L. Finite element analysis of load characteristic of shield bolter miner cutting head under complex coal seam condition. *Mining Science*. 2017. Vol. 24. pp. 85–97.
17. Baafi E., Gray G., Porter I., Rojas O. The modelling of roadway development to support longwall mining. Simulation Modelling Services Pty Ltd and School of Civil, Mining & Environmental Engineering, University of Wollongong. 2009. 55 p.
18. Zubov V.P. Status and directions of improvement of development of coal seams on perspective Kuzbass coal mines. *Zapiski Gornogo instituta*. 2017. Vol. 225. pp. 292–297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292
19. Rudakov M.L. "Zero accident" corporate programmes as an element of strategic planning in the field of occupational safety and health at coal mining enterprises. *Zapiski Gornogo instituta*. 2016. Vol. 219, p. 465–471. DOI: 10.18454/PMI.2016.3.465
20. 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.
21. 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
22. Zubov V.P. Applied technologies and current problems of resource-saving in underground mining of stratified deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2018. No. 6. pp. 77–83. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.16
23. Gabov V.V., Zadkov D.A. Peculiarities of stress field formation during cutting isotropic material by mining machine cutters. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 87(2). 022007.
24. Sidorenko S.A., Ivanov V.V. Improving the efficiency underground mining of coal beds in difficult mining and geological conditions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12(3). pp. 882–888
25. 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(6). pp. 534–543.
26. Fiscor S. Longwall production remains steady. *Coal Age*. January/February 2019. pp. 24–28. Available at: <https://www.coalage.com/wp-content/uploads/2019/09/jan-feb-2019min.pdf> (accessed: 07.07.2020).