

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.12.4.004

УДК 622.236.4 (075.8)

© В.В. Семенцов, Д.В. Осминин, М.С. Добровольский, Е.В. Нифанов, С.А. Прокопенко, 2019

**В.В. СЕМЕНЦОВ**

канд. техн. наук,  
заведующий лабораторией  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru



**Д.В. ОСМИНИН**

канд. техн. наук,  
ведущий научный сотрудник  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: odw-sds@yandex.ru



**М.С. ДОБРОВОЛЬСКИЙ**

инженер, старший научный сотрудник  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: m.dobrovolsky@nc-vostnii.ru



**Е.В. НИФАНОВ**

инженер, научный сотрудник  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово  
e-mail: e.nifanov@nc-vostnii.ru



**С.А. ПРОКОПЕНКО**

д-р технических наук, профессор,  
старший научный сотрудник  
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово;  
e-mail: sibgp@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ УГЛЯ ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЕ В ЗАРУБЕЖНЫХ ШАХТАХ

*Камерно-столбовая отработка (КСО) угольных пластов в российских шахтах используется на участках, непригодных для разработки длинными столбами, тогда как в зарубежных шахтах она применяется как основная с высокими технико-экономическими показателями. Изучение возможностей расширения области применения КСО в отечественных условиях определяет необходимость углубленного изучения зарубежных технологий угледобычи высокого уровня эффективности.*

*Рассмотрены технологические схемы отработки целиков угля при камерно-столбовой системе разработки угольных пластов в шахтах США, Австралии, ЮАР и т. д. Описана конструкция самоходных крепей для управления кровлей на этапе доработки угольных панелей. Изучено влияние самоходных крепей на безопасность и эффективность отработки целиков. Применение прогрессивного оборудования позволяет довести уровень извлечения угля до 90 % и более.*

Ключевые слова: ШАХТА, УГОЛЬ, КАМЕРА, ОТРАБОТКА, СТОЛЬ, ЦЕЛИК, СХЕМА, КРОВЛЯ, ТЕХНОЛОГИЯ, КРЕПЬ, ИЗВЛЕЧЕНИЕ.

### Введение

Технология камерно-столбовой отработки (КСО) угольных пластов нашла широкое применение в мире. В США она используется как основная в 56 шахтах. В 2015 г. объем добычи угля подземным способом в США составил 350 млн т, при этом 150 млн т было добыто с применением камерно-столбовой системы [1]. Кроме того, КСО применяется в Австралии, Мексике, Китае, Канаде, ЮАР. Она достаточно детально изучена и подробно описана во многих научных публикациях иностранных ученых.

Во второй половине 20 века в России КСО начали использовать как второстепенную технологию на участках пластов, непригодных для разработки длинными столбами с применением высокомеханизированных комплексов оборудования [2, 3]. С помощью КСО добывали уголь в кузбасских шахтах: «Усинская», «Сибиргинская», «Распадская» [4, 5]. Медленное расширение области ее применения сдерживалось рядом факторов: высокая газоопасность и выбросоопасность угольных пластов; отсутствие необходимого оборудо-

вания отечественного производства; относительно высокие потери угля.

В настоящее время КСО применяется в кузбасских шахтах им. В.И. Ленина и «Распадская-Коксовая». В шахте «Распадская-Коксовая» по этой технологии ведут экспериментальную отработку пологого пласта III с углом падения 10–12 и мощностью 10 м. Пласт относится к угрожаемым по горным ударам, внезапным выбросам газа и склонен к самовозгоранию. Тем не менее с применением специальных мероприятий и под контролем ученых удается извлекать уголь технологией КСО и в таких сложных условиях [5]. В российских шахтах «Межегейуголь» в Тыве и «Денисовская» в Нерюнгри, имеющих более простые горно-геологические условия, технология КСО нашла применение как основная [5].

Большая (до 30–40 %) доля запасов угля в фонде кузбасских шахт, непригодных к отработке механизированными комплексами, и неуклонное сокращение количества благоприятных участков повышают внимание к технологии КСО. Кроме того, формируемый в последние годы научно-технический задел

и происходящее в зарубежной и отечественной угольной промышленности развитие технологий и систем организации разработки угольных пластов [6–9], совершенствование горно-проходческого и добычного оборудования [10–16], повышение квалификации персонала [17–19], освоение более совершенных систем безопасности горного производства [20–23] повышают потенциал использования КСО в российских шахтах.

По своей сути камерно-столбовая отработка предусматривает двухстадийный процесс извлечения угля из пласта. На первой стадии добыча ведется из камер, проводимых по пласту проходческим комбайном параллельно друг другу с оставлением целиков между ними. Сохранение целиков наряду с креплением кровли камер сталеполимерными анкерами служит временному сохранению выработок. Эта стадия разработки успешно освоена российскими горняками при проведении подготовительных выработок как по пластам, так и по вмещающим их породам.

На второй стадии разработки пласта после нарезки нескольких камер проходческий комбайн приступает к добыче угля из целиков. Образованные целики могут иметь вытянутую призматическую форму или квадратную столбчатую. В зависимости от этого применяют различные методы расчета устойчивости целиков и технологические схемы их отработки. По мере удаления комбайна от первых выемочных заходок и возрастания

давления на целики происходит их разрушение и опускание кровли. Зона обрушения пород постепенно перемещается вслед за продвижением фронта добычных работ.

Вторая стадия КСО в российских шахтах освоена меньше, недостаточно оснащена соответствующим оборудованием, имеет слабое научное обеспечение и сопряжена с наибольшими рисками. Подтверждением может служить внезапное обрушение пород на участке КСО-3 в шахте «Межегейуголь», произошедшее 28 апреля 2018 г. и приведшее к смертельному исходу.

Перспектива расширения области применения КСО в российских шахтах определяет актуальность углубленного анализа передовых зарубежных технологий и опыта их применения. Первостепенной для научного изучения выступает стадия отработки междукамерных целиков угля в пластах.

### Перспективные технологии отработки вытянутых междукамерных целиков угля

В шахтах США, Австралии, ЮАР и т. д. первичная отработка угольной панели камерно-столбовой системой приводит к образованию целиков, представляющих по форме вытянутые угольные призмы. Классическая схема последующей добычи угля из целиков приведена на рис. 1 [1].

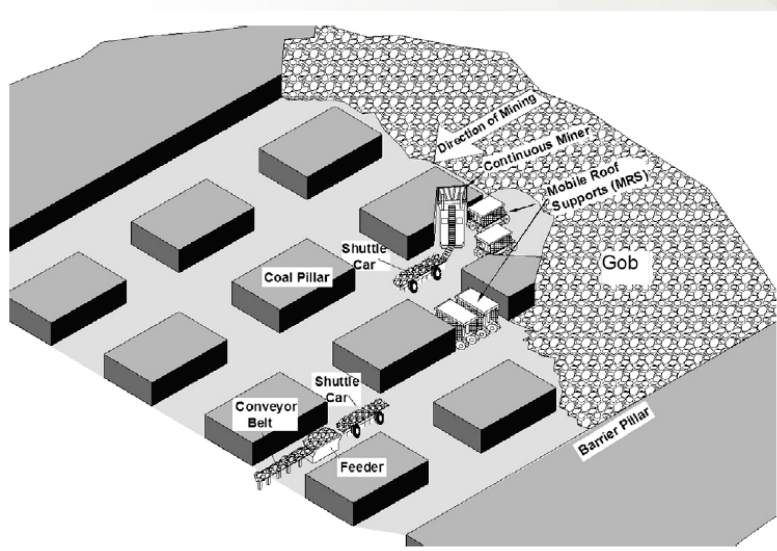


Рис. 1. Отработка угольных целиков вытянутой формы

Целики отработывают отступающим ходом проходческого комбайна, последовательно вырезающего в оставленном массиве заходки с погрузкой угля в самоходный вагон. Если раньше для поддержания кровли вблизи комбайна применяли деревянные стойки и костры, то в последние три десятилетия на этом этапе применяют самоходные крепи Mobile Roof Support (MRS) [23, 24]. Крепи устанавливают в местах сопряжения камер и затем перемещают вслед за продвижением комбайна. В отработанном пространстве через некоторое время происходит обрушение пород кровли (Gob). Появление самоходных крепей выступило существенным фактором повышения безопасности и эффективности КСО.

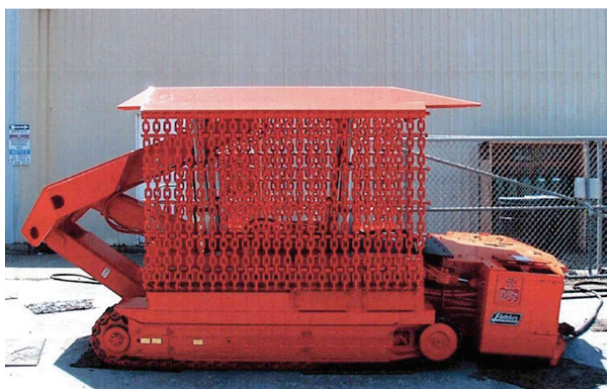
Первый вариант такой мобильной крепи был испытан компанией J.H. Fletcher & Co. еще в 1979 г. с неудовлетворительными результатами, что повлекло за собой концептуальную переработку машины. Опора превратилась в машину с гладким навесом, похожую на длинную крепь. Прототип устройства, построенного Voest Alpine Mining and Tunneling, был предоставлен шахте Middlebult в эксплуатацию в 1987 году в горном комплексе «САСОЛ» возле Secunda в ЮАР. Эти опоры, называемые тогда как Breaker Line Supports–BLS (Держате-

ли Линии Обрушения), использовались для удержания кровли камер при отработке целиков угля. Структурно установка BLS представляла собой гусеничную платформу с плоским навесом, поддерживаемым четырьмя гидроцилиндрами. Опора была рассчитана на общую нагрузку 544 т.

Первое коммерческое применение BLS в США было вначале 1988 года на участке «Дональдсон» компании The Valley Camp Coal Co., недалеко от Чарльстона (Западная Виргиния). В 1988 г. компания J.H. Fletcher & Co. Huntington, WV начала производство комплекта 544-тонных опор, которые были поставлены в том же году шахте Martin County Coal (Кентукки). Эти машины стали результатом развития и доработки прототипа, проведенных Дж. Флетчером с 1984 года. Опоры стали называть Mobile Roof Support (MRS), что можно перевести как «мобильный держатель кровли» или «мобильная крепь».

Мобильный держатель кровли, изготавливаемый сегодня, представляет собой электрогидравлический агрегат с двигателем мощностью 37 или 55 кВт, приводящим в действие поршневой гидравлический насос для подъема четырьмя гидроцилиндрами козырька (рис. 2).

а



б



Рис. 2. Общий вид современной конструкции мобильного держателя кровли (MRS) с раздвижностью до 1600 мм (а) и до 5000 мм (б)

Все функции держателя реализуются гидравлическим приводом и задаются с дистанционного пульта. Машина имеет гидравлический двигатель хода с управлением крутящим моментом и скоростью. Для этого двигатель оснащен блоками клапанов, которые снижают скорость опоры, если встречаются препятствия, такие как неубранный впереди уголь, и автоматически увеличивают доступный крутящий момент после преодоления препятствия. Ходовая тележка MRS имеет плуг для уборки остатков угля по ходу движения. Для защиты оборудования от повреждений падающей породой имеются цепные занавеси с боков опоры и наклонный металлический скат сзади. Питающий электрический кабель наматывается на барабан, снижая риск повреждения.

Если ранее компания J.H. Fletcher & Co. Huntington, WV производила опоры мощностью 544 т, то в настоящее время она производит опоры, каждый цилиндр которой способен удерживать 181 т, что дает общую несущую способность 727 т. Высота подъема

козырька может достигать 5 м. Козырек изготавливается из стали наивысшей прочности (T1) и имеет толщину 350 мм. Это обеспечивает опоре жесткий навес, который не изгибается под нагрузкой и сохраняет ровную гладкую поверхность, обеспечивая возможность выдавливания опоры опускающейся кровлей. Этому же способствует и наклонный скат позади опоры. Такая конструкция крепи обеспечивает перевод вертикальной нагрузки обрушающейся кровли в горизонтальном направлении. Конструктивные особенности машины наряду с мощным ходовым двигателем обеспечивают условия для надежного перемещения MRS и самостоятельного выхода из заваливаемого пространства.

Технология извлечения угля из вытянутых целиков отступающим ходом с помощью передвижных крепей MRS предусматривает размещение пары установок в выработке под линией возможного обрушения (рис. 3). Суммарная удерживающая способность крепей составляет 1450 т, что позволяет им работать на глубине до 600 м [25].



Рис. 3. Размещение передвижных крепей в горной выработке

Проходческий комбайн извлекает заходку угля из целика под защитой крепей MRS с размещением операторов в безопасной зоне и дистанционным управлением (рис. 4).

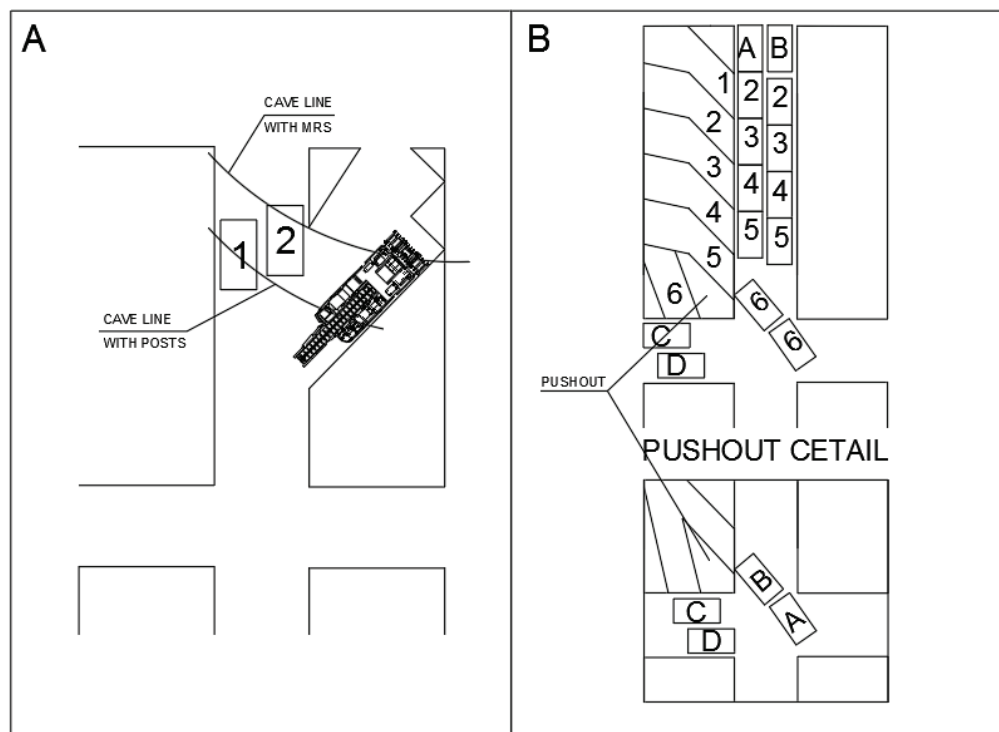


Рис. 4. Схема установки крепей MRS в забое (А) и последовательность отработки заходок в целике (В)

Извлечение угля в заходе ведут без крепления кровли. При этом длина заходок достигает 12,2 м. После завершения отработки заходки комбайн удаляют из нее. На ближней к выработанному пространству крепи оператор с дистанционного манипулятора опускает на несколько дюймов козырек и передвигает ее по выработке примерно на половину длины (1,8–2,1 м), после чего козырек снова распирает в кровлю. Также оператор поступает и со второй опорой, подготавливая условия для отработки следующей заходки. Продолжительность цикла передвижки крепей составляет от одной до четырех минут и совмещается с перегонком комбайна и выбором слабины электрических кабелей. Сложенная работа операторов позволяет быстро удалять оборудование из опасной зоны. Обрушение породы в выработанном пространстве происходит за пределами рабочей зоны [25].

Односторонняя отработка вытянутого целика последовательными заходками продолжается до его границы. Угловой сектор целика (pushout), как правило, оставляют нетронутым, рядом с ним размещают две опоры. В это время комбайн перегоняют в соседнюю выработку к началу целика с другой стороны и начинают аналогичную его отработку под защитой двух других крепей MRS.

В благоприятных горно-геологических условиях передвижные держатели кровли позволяют вести двустороннюю выемку угля сразу из двух целиков отступающим ходом. Последовательность отработки заходок при этой схеме поочередная с обоих целиков. За характерную древовидную форму образуемых выработок технологическая схема получила название «елка» (рис. 5).

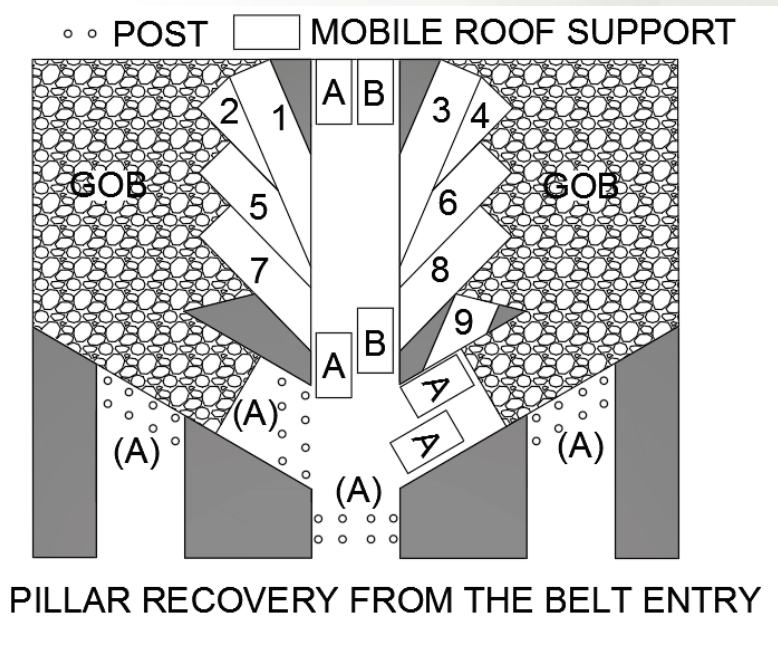


Рис. 5. Двустороннее извлечение угля из целиков по схеме «елка»

При отработке пластов на большой глубине или при неустойчивой непосредственной кровле полное извлечение угля из целиков является слишком рискованным. В этих условиях в качестве временных опор могут

оставлять небольшие защитные целики по центру угольного столба, а также его угловые сегменты (рис. 6) [23, 25]. Дополнительные потери угля выступают вынужденной платой за безопасность людей и оборудования.

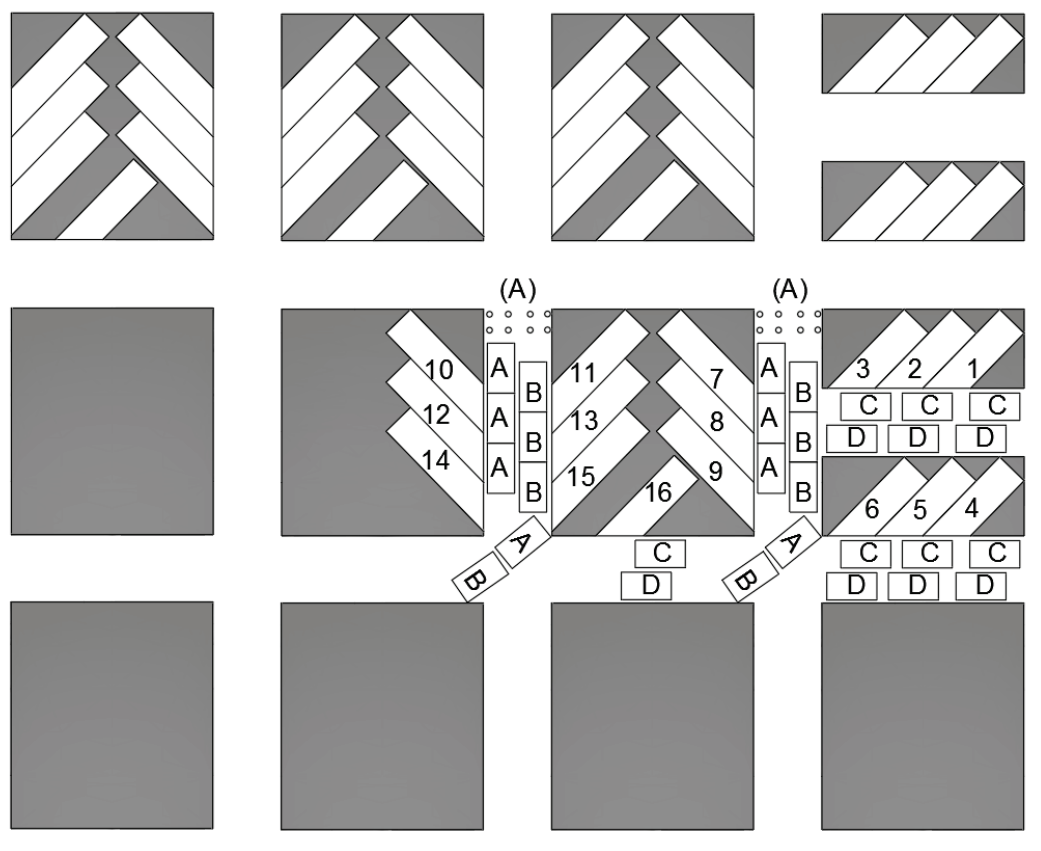


Рис. 6. Временные угольные опоры при отработке целиков

Как пишет автор статьи [24], применение передвижных крепей обеспечило более производительную работу комбайна. При этом требовалась меньшая численность бригады, чем при проведении выработок с креплением деревянными стойками. С крепями MRS проходческий комбайн способен добывать больший объем угля без перегона. Возрастает уровень извлечения угля из добычной панели.

Дистанционное электронное управление машинами повысило безопасность труда рабочих по сравнению с прежним креплением кровли деревянными стойками. При этом перемещение линии удержания кровли передвижными опорами происходит в 4-5 раз быстрее, чем при прежнем креплении. Однако следует понимать, что применение крепей MRS обеспечивает поддержку только непосредственной кровли и не может «удержать всю толщу», как иногда ожидают. Благодаря повышению эффективности работы комбайнов и самоходных челночных вагонов схемы вторичной добычи угля отступающим ходом из целиков стали более производительными в сравнении с начальной добычей из выработок [24].

Как отмечается в статье [25], случаи завала передвижных опор обрушенной породой являются редкими и происходили с неопытными бригадами. Крепи MRS имеют мощный двигатель хода и, как правило, сами выбираются из завала. Примерно в 10 % подобных случаев требуется помощь в виде тяги от проходческого комбайна. Как правило, используется трос толщиной 30 мм или короткий кусок лавной цепи. Во всех случаях кроме двух, приведенных автором, в течение последних трех лет для надлежащего и безопасного извлечения опор потребовалось менее 20 минут.

Lind G. в своей статье представляет опыт отработки целиков угля в шахтах Нового Южного Уэльса (Австралия) [26]. Он рассматривает динамику кровли пласта и состояния угольных целиков в отработанном пространстве (рис. 7).

Автор пишет, что по мере удаления горных работ от целика породная консоль, поддерживаемая им, изгибается и оседает. Постепенно под воздействием горного давления

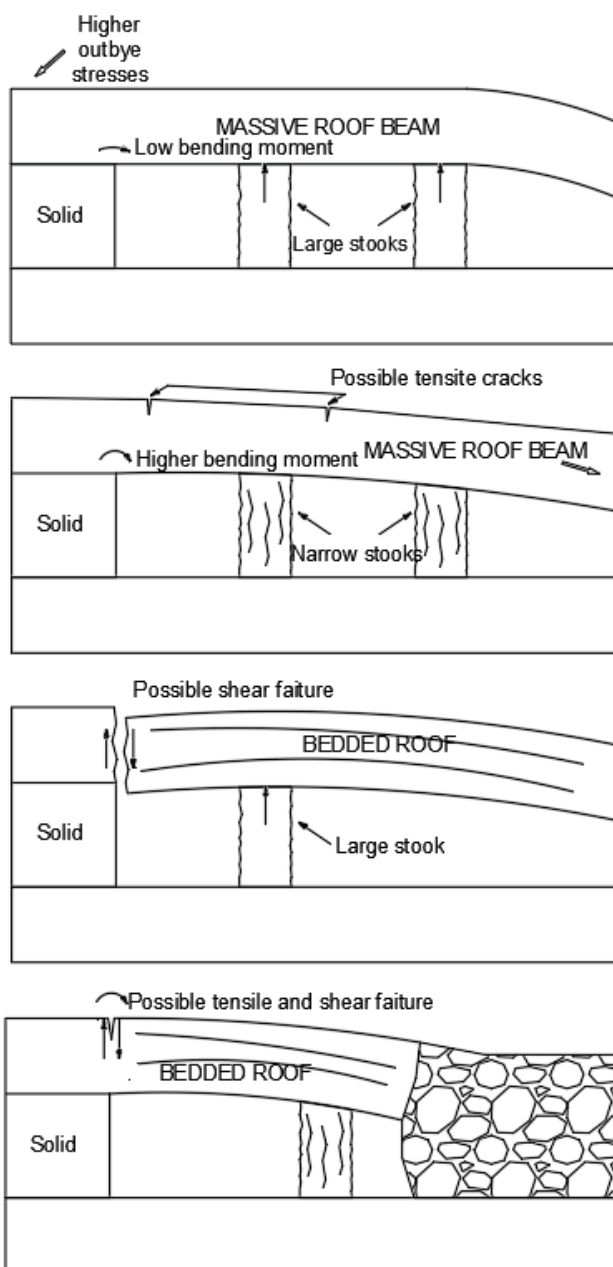


Рис. 7. Динамика разрушения целиков и обрушения кровли после отработки выемочных заходок

целики, оставленные в выработанном пространстве, саморазрушаются и теряют несущую способность. Консоль начинает поворачиваться относительно плоскости контакта с нетронутым пластом. Образуются трещины отрыва, и порода кровли обрушается, окончательно раздавливая целики.

С целью отработки угольных целиков и увеличения объемов добычи в шахтах Нового Южного Уэльса в 90-е годы 20 века были внедрены дистанционно управляемые проходческие комбайны и передвижные



опоры, названные мобильными держателями линии обрушения (Mobile Breaker Line Supports (MBLS)). Конструкция такой опоры включает козырек, четыре гидравлических цилиндра, ограждающий скат, двигатель и гидронасос, установленные на гусеничной тележке. Конструктивно машина повторяла крепь MRS [27].

Использовались держатели с мощностью 5340 кН (540 т), которые зарекомендовали себя надежными временными опорами, так как превосходили по удерживающей способности деревянные стойки, хотя и уступали целикам угля. В Новом Южном Уэльсе MBLS, как правило, использовались на одну треть их максимальной грузоподъемности, что было достаточным для безаварийной работы. Управление опорами осуществлялось дистанционно по радио. Мобильные BLS устанавливали как можно ближе к месту добычи и по возможности на прямой линии (рис. 8).

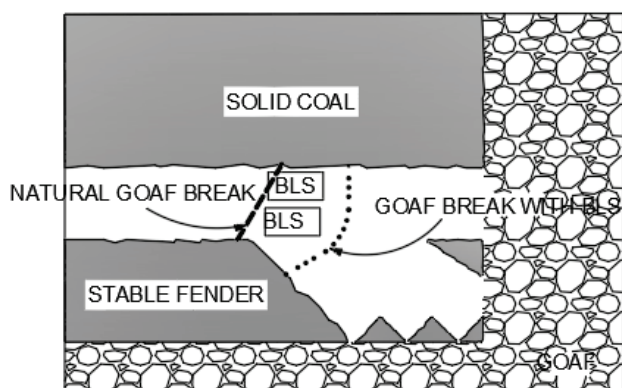
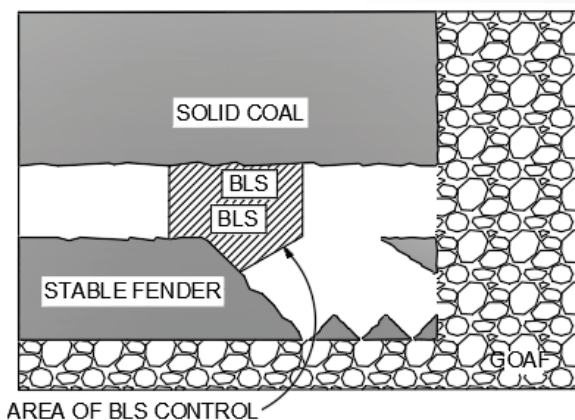


Рис. 8. Размещение мобильных держателей линии обрушения в выработке

Черным цветом на рисунке показана площадь кровли, удерживаемой двумя мобильными держателями BLS. При их использовании естественную линию обрушения кровли (показана пунктиром) удавалось смещать на удаление в положение (показано точками), обеспечивающее безопасную работу комбайна в добычной зоне без его заваливания породой. Передвигали опоры по отдельности, при этом перемещаемая опора могла опережать соседнюю не более чем на 50 % длины корпуса. Располагали опоры на одной линии, совпадающей с направлением отработки заходок в целике.

Вариант двусторонней отработки целиков угля при использовании трех передвижных крепей BLS с безопасными условиями работы комбайна представлен на рис. 9 [26, 28].

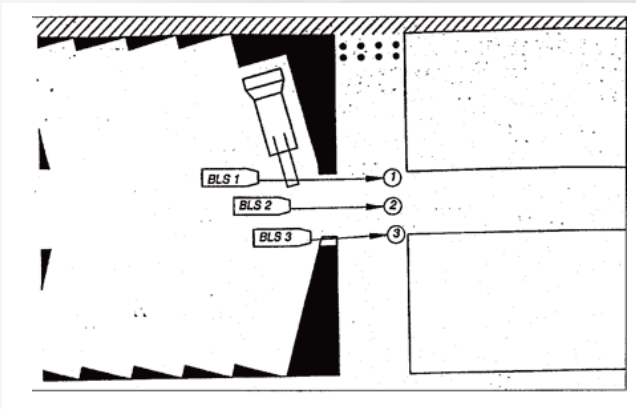


Рис. 9. Доработка двух целиков с использованием трех мобильных крепей

При такой схеме возростала производительность работы комбайна вследствие меньших его перегонов и увеличивалась степень извлечения угля из целиков. В статьях отмечается, что внедрение мобильных держателей линии обрушения наряду с дистанционно управляемыми проходческими комбайнами позволило вывести людей из опасной зоны обрушения пород кровли, повысить скорость отработки целиков и удвоить добычу угля в шахте. В то же время такая технология потребовала специального обучения персонала работе в условиях повышенного риска.

Результаты исследования давления породы между двумя парами (1, 2 и 3, 4) опор MRS, установленных в 5,5 м друг от друга, приведены в статье Maleki, Owens & Endicott [29]. Ре-

зультаты их исследования показали, что между опорами MRS образуется арка давления в непосредственной кровле, которая уменьша-

ет потенциал устойчивости кровли. На высоте 2 м над опорами напряжение составляет 28 кПа, а на высоте 6 м — уже 83 кПа (рис. 10).

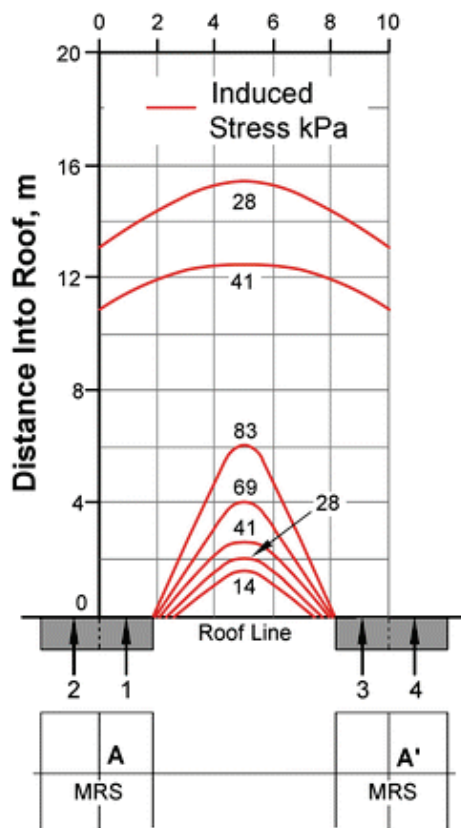


Рис. 10. Изобары напряжений по линии А–А' для двух пар MRS при расстоянии 5,5 м

В основной кровле на высоте 12 м нагрузка снижается до 41 кПа, а к высоте 16 м она возвращается на уровень 28 кПа. Было также обнаружено, что более высокие установочные давления в гидроцилиндрах MRS полезны для стабилизации верхних слоев, но могут способствовать изменению нагрузки на непосредственную кровлю, отказу анкеров и уменьшению стабильности непосредственной кровли. Результаты этих исследований выявили, что крепи MRS поддерживают кровлю вблизи машин, но не имеют возможности контролировать общую конвергенцию почвы-кровли и общее распределение давления, потому что MRS менее жесткие, чем угольные целики. Однако поскольку цикл добычи с применением MRS ускоряется, то их помощь уменьшает потенциал обрушения кровли во времени [30].

### Перспективные технологии отработки квадратных междокамерных целиков угля

Технология отработки квадратных целиков в шахте Тасман (Австралия) описана в статье К. McTyer and T. Sutherland и названа «методом Дункан» [31]. Шахта «Тасман» в 2008 г. начала обрабатывать пологопадающий пласт угля мощностью 2,2–2,5 м. Добыча угля велась из камер шириной 16,5 м проходческими комбайнами. Параллельно с отбойкой горной массы комбайн бурил шпур и устанавливал анкеры и сетку для удержания кровли выработок. Основная часть кровли пласта удерживалась целиками в виде квадратных столбов с длиной стороны 39,5 м. Большие размеры целиков обеспечивали устойчивость массива в течение длительного срока (рис. 11).



Рис. 11. Состояние камеры «Панели 2-Юг» через шесть месяцев после отработки

С целью извлечения дополнительных объемов угля было принято решение частичной отработки оставленных в шахте целиков. Для оценки эффективности разработки пласта был введен показатель соотношения объемов добычи к длине выработок. В шахте была применена схема отработки целиков-столбов с четырех сторон. При этом проходческий комбайн работал с двусторонней выемкой

(схема «елка»), установкой под линией обрушения трех мобильных крепей и погрузкой угля в челночные вагоны (рис. 12). Производительность добычи угля в смену с помощью двух челночных вагонов составляла в среднем около 800 т с максимальными значениями до 1250 т. Угловые сегменты на выходе комбайна из выработки (pushout) оставляли нетронутыми для поддержания кровли.

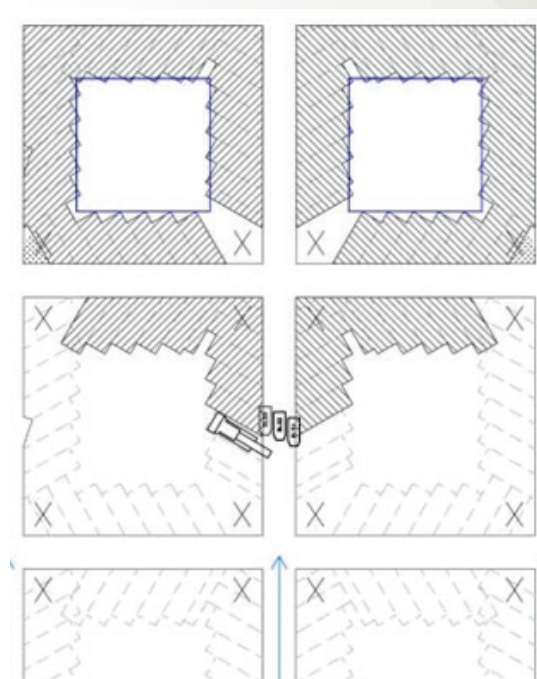


Рис. 12. Схема отработки квадратных целиков угля с четырех сторон

В связи с разной глубиной панели и изменением мощности породной толщи, покрывающей пласт, остаточные целики имели разные размеры. Они были рассчитаны по специальной компьютерной программе устойчивости целиков. В зоне, перекрытой породой мощностью 80 м, размеры остаточных угольных столбов составляли 18 х 18 м.

По мере увеличения нагрузки налегающих на пласт пород размеры оставляемых целиков возрастали. В зоне пикового горного давления (мощность слоя пород 240 м) выемку угля из целиков сокращали, оставляя конечные их размеры 25 х 25 м (рис. 13). При этом ширина оставляемых пролетов кровли уменьшалась с 27 до 20 м.

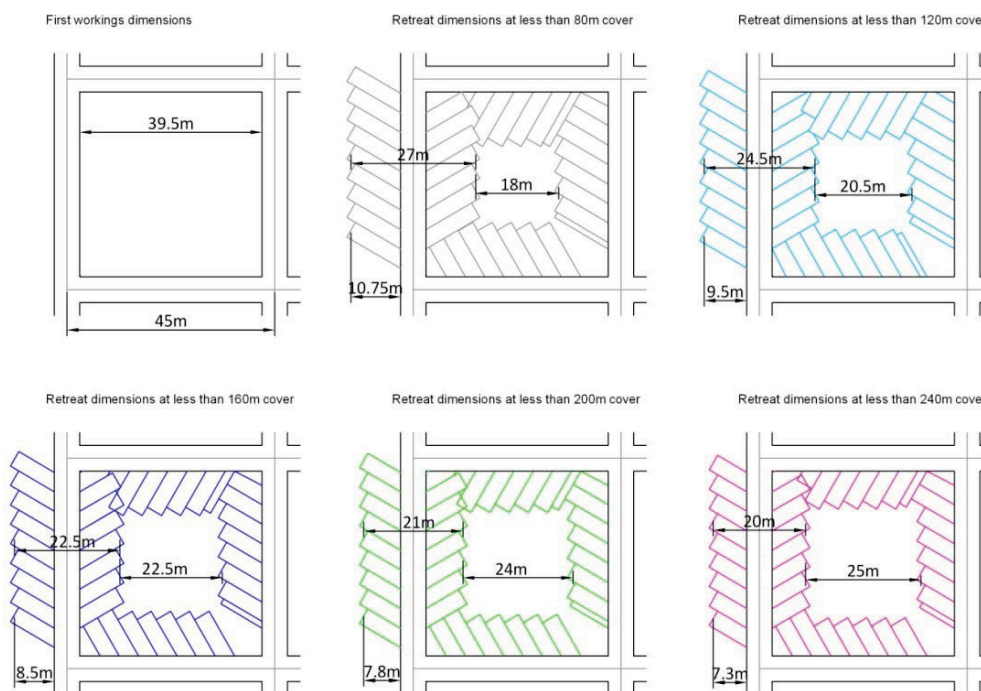


Рис. 13. Размеры начальных и остаточных целиков-столбов угля

Соотношение ширины и высоты остаточных столбов изменялось от 7,5 до 10,4 м. Значения «фактора безопасности» остаточного

угольного столба внутри панели превышали 1,6 (табл. 1) [31].

Таблица 1

Характеристики остаточных угольных целиков в шахте «Тасман»

Изменение мощности покрывающей породной толщи над пластом Fassifern мощностью 2,4 м с размерами целиков 45 х 45 м	Остаточные размеры целика, м	Остаточное соотношение ширины столба к высоте, ед.	Остаточный фактор безопасности, ед.	Длина заходки (под 90° от ребра), м	Длина заходки (под 60° от центральной линии), м	Процент извлечения угля (внутри панели), %	Добыча на метр выработки, т
Покрывающая толща <80 м	18 х 18	7,5	>1,61	10,8	15,6	82	51
Покрывающая толща <120 м	20,5 х 20,5	8,5	>1,63	9,5	14,2	77	46

Изменение мощности покрывающей породной толщи над пластом Fassifern мощностью 2,4 м с размерами целиков 45 x 45 м	Остаточные размеры целика, м	Остаточное соотношение ширины столба к высоте, ед.	Остаточный фактор безопасности, ед.	Длина заходки (под 90° от ребра), м	Длина заходки (под 60° от центральной линии), м	Процент извлечения угля (внутри панели), %	Добыча на метр выработки, т
Покрывающая толща <160 м	22,5 x 22,5	9,4	>1,68	8,5	13,0	73	42
Покрывающая толща <200 м	24 x 24	10,0	>1,68	7,8	12,1	70	39
Покрывающая толща <240 м	25 x 25	10,4	>1,62	7,3	11,6	67	36

По мере увеличения глубины горных работ процент извлечения угля уменьшался для поддержания тех же показателей устойчивости угольных столбов. Теоретически извлечение угля изменялось от 82 до 67 %. Коэффициент линейного извлечения угля (отношение добычи к длине выработок) сокращался с

увеличением глубины с 51 до 36 т/м. Общее количество добытого угля на первой и второй стадиях разработки, отнесенное в длине выработок по пласту Fassifern мощностью 2,4 м в шахте «Тасман», менялось в пределах 55–70 т/м по панелям. Вид целика после отработки его с трех сторон показан на рис. 14.



Рис. 14. Состояние целика после отработки

В статье отмечается, что применение метода Дункан для отработки пласта привело к значительному повышению безопасности и производительности труда, повышению доверия к результатам субсидирования. Со времени внедрения этого метода в шахте «Тасман» серьезных инцидентов в области безопасности не произошло [31].

Схема двусторонней отработки квадратных целиков в шахтах ряда стран представлена на рис. 15 [32, 33].

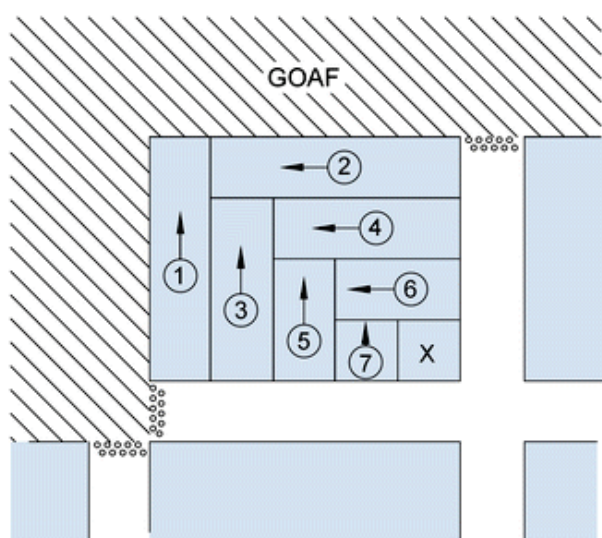


Рис. 15. Двусторонняя отработка квадратного целика

Согласно такой технологии заходки комбайном в угле ведут наступающим ходом последовательно с двух сторон целика. Заходки располагают вдоль сторон квадрата. Длина каждой последующей заходки сокращается на величину ее ширины. Для поддержания кровли в местах сопряжения камер с выработанным пространством используют деревянные стойки.

В Южной Африке и США применялись технологические схемы отработки целиков диагональными заходками. Первый вариант предусматривал проведение первоначальной добычной заходки (CUT 1) с оставлением углового сегмента и с креплением кровли в ней деревянными стойками в один ряд (FL 1,3) (рис. 16) [34].

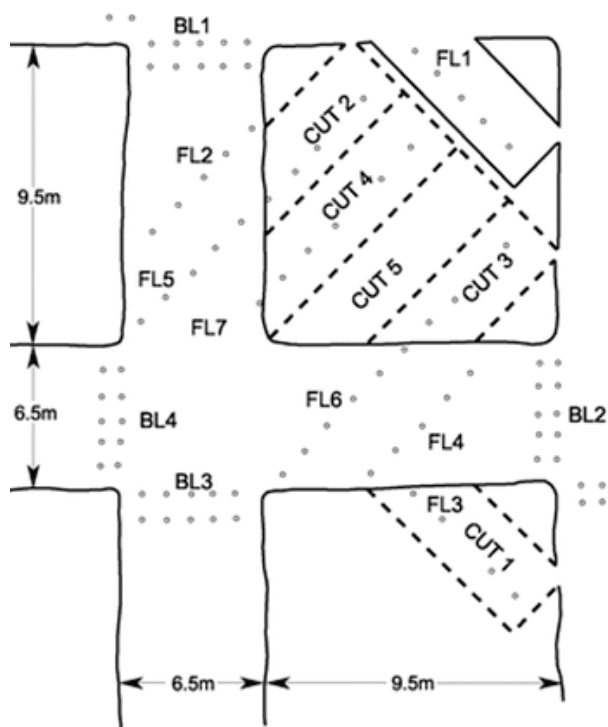


Рис. 16. Отработка целика диагональными пересекающимися заходками

Последующие заходки ориентировали по другой диагонали. Их отработывали в последовательности от углов к центру целика согласно приведенной нумерации. Это позволяло длительное время поддерживать кровлю центральной частью массива, наиболее устойчивой к горному давлению. После проведения очередной заходки на ее границе выставляли ряды деревянной крепи (FL2, FL4). Для ограждения камер от обрушаемого пространства использовали двухрядную посадочную крепь (BL1, BL2).

В условиях ослабленной кровли применяли отработку целиков диагональными параллельными заходками [35]. Заходки проходили в одном направлении в очередности, указанной цифрами на рис. 17.

Для обеспечения безопасности горных работ угловые и центральные сегменты целиков оставляли нетронутыми. Этому же служила и поддержка кровли двумя парами самоходных крепей Mobile Roof/Breaker Line Support, перемещаемых по выработкам вслед за комбайном. Такие меры позволяли задержать обрушение пород кровли и вывести оборудование из опасной зоны.

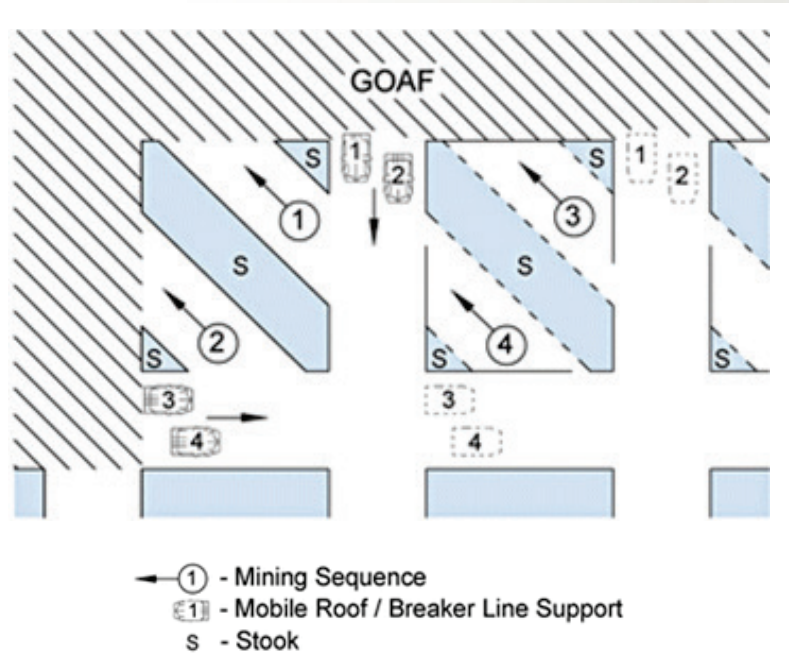


Рис. 17. Отработка целиков диагональными параллельными заходками

## Заключение

1. Камерно-столбовая отработка угольных пластов нашла широкое применение в шахтах США, Австралии, ЮАР, Мексики, Канады, Китая. Этому способствовало успешное устранение главного недостатка КСО — высоких потерь угля в целиках — применением самоходных держателей кровли. Конструкция такой машины включает козырек, четыре гидравлических цилиндра, ограждающий скат, электродвигатель и гидронасос, установленные на гусеничной тележке.

2. Самоходные держатели используют в зоне сопряжения выемочных камер с заходками в целиках. Уступная установка двух-трех крепей позволяет отодвинуть естественную линию обрушения кровли от зоны использования комбайна, создавая условия для безопасной его работы.

3. Добычу угля из вытянутых целиков ве-

дут при поддержке кровли самоходными крепями по односторонней или двусторонней схемам отступающим ходом с обрушением выработанного пространства. Квадратные целики отрабатывают с четырех или двух сторон, оставляя подзавальные угольные опоры минимальной площади. Применяют также диагональные перекрестные или параллельные заходки.

4. Использование мобильных держателей кровли в шахтах ведущих угледобывающих стран в течение трех десятилетий при различных вариантах технологических схем отработки целиков подтвердило работоспособность машин, позволило увеличить коэффициент извлечения угля в панелях до 80–90 % и более, повысить безопасность и производительность горных работ. Познание и освоение передовых технологий и опыта отработки целиков угля повышает потенциал применения КСО в российских шахтах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mark C., Gauna M. Preventing roof fall fatalities during pillar recovery: A ground control success story // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27. P. 107–113.
2. Баскаков В.П., Розенбаум М.А., Калинин С.И., Семенцов В.В., Добровольский М.С. Отработка мощных угольных пластов, опасных по газодинамическим явлениям, системой коротких забоев // Уголь. 2015. № 11. С. 17–20.

3. Семенцов В.В., Добровольский М.С., Нифанов Е.В., Шабалин М.П. Применение системы коротких забоев при отработке угольных пластов, склонных к динамическим явлениям // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2017. № 2. С. 27–31.
4. Филатов Ю.М., Семенцов В.В., Прокопенко С.А., Ермолаев А.М., Соболев В.В. Повышение эффективности и безопасности отработки целиков при камерно-столбовой системе разработки угольных пластов // Уголь. 2018. № 12. С. 16–20.
5. Семенцов В.В., Добровольский М.С., Нифанов Е.В., Шабалин М.П. Исследование технологии отработки целиков угля при камерно-столбовой системе в российских шахтах. Обзор // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности, 2018. № 4. С. 5–23.
6. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобные горные технологии — перспектива разрешения глобальных противоречий при освоении минеральных ресурсов литосферы // Вестник Российской академии наук. 2017. Т. 87. № 7. С. 655–662.
7. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Клебанов Д.А., Макеев М.А. Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техники // Горная промышленность. 2017. № 5. С. 27–31.
8. Воскобойник М.П., Рожков А.А. Ретроспективная и прогнозная оценки эффективности технологического развития угольной промышленности России // Уголь. 2018. № 2. С. 48–54.
9. Михальченко В.В. Реинжиниринг производственных систем угледобычи на принципах «бережливого производства» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 5 (116). С. 154–167.
10. Prokopenko S.A. To coal power-high technologies // Ugol. 2005. No. 7. P. 55–57.
11. Prokopenko S.A., Ludzish V.S. and Li A.A. Recycling possibilities for reducing waste from cutters on combined cutter-loaders and road builders // Waste Management & Research. 2017. Vol. 35 (12). P. 1278–1284.
12. Подэрни Р.Ю., Клементьева И.Н., Ляпин Д.Г. Особенности взаимодействия рабочего органа компактного роторного экскаватора в зоне его фрикционного контакта с породой // Уголь. 2016. № 12. С. 20–22.
13. Халевин А.А., Шоттер А.В. Импортозамещение, разработка комплекса для скоростного проведения горных выработок // Уголь. 2017. № 5. С. 42–44.
14. Прокопенко С.А., Лудзиш В.С., Курзина И.А., Прокопенко С.А. Разработка комбайновых резцов нового класса // Горный журнал. 2017. № 2. С. 75–78.
15. Кизилов С.А., Никитенко М.С., Неоджи Б., Николаев П.И., Кузнецов И.С. Автоматизация управления технологическими процессами при отработке мощных пластов // Горная промышленность. 2017. № 6. С. 76–79.
16. Прокопенко С.А., Лудзиш В.С. Применение инновационных комбайновых резцов в шахтах // Горная промышленность. 2012. № 1. С. 56–60.
17. Макаров А.М. Подходы к повышению качества связи «работа — результат — оплата» // Уголь. 2015. № 4. С. 51–53.
18. Черникова А.А., Петров В.Л. Подготовка горных инженеров в российских университетах исследовательского типа // Горный журнал. 2015. № 8. С. 103–106.
19. Макаров А.М. Развитие функционала главного механика // Уголь. 2015. № 1. С. 56–57.
20. Уварова В.А., Баскаков В.П. Система контроля пожарной и токсической безопасности полимерных материалов на горных предприятиях // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 3. С. 45–50.
21. Радионов С.Н., Вавилов Д.В., Гирев Р.А., Галкин В.А. Организация безопасного труда на производственном участке // Уголь. 2016. № 5. С. 83–85.



22. Артемьев В.Б., Галкин В.А., Макаров А.М., Кравчук И.Л., Галкин А.Вал. Механизм предотвращения опасной производственной ситуации // Уголь. 2016. № 5. С. 73–77.
23. Wilson H.G. Mobile Roof Support for Retreat Mining // Paper in 10th International Conference on Ground Control in Mining, Proceedings, ed. by S. Peng (Morgantown, WV, June 10–12, 1991). Dept. of Min. Eng., WV Univ., 1991. P. 103–114.
24. Howe L.A. Decade of Mobile Roof Support Application in the United States // Paper in Proceedings, 17th International Conference on Ground Control in Mining, ed. by S. S. Peng (Morgantown, WV, Aug. 4–6, 1998). Dept. of Mining Engineering, WV Univ, 1998. P. 187–201.
25. Howe L. Two Decades of Mobile Roof Support Applications // <http://www.jhfletcher.com/articles/TwoDecadesOfMobileRoofSupports.pdf> (дата обращения 27.12.2019).
26. Lind G.H. Key success elements of coal pillar extraction in New South Wales // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2002. P. 199–205.
27. Mark C., Chase F.E. Analysis of retreat mining pillar stability (ARMPS) // Paper presented at the seminar on new technology for ground control in retreat mining, Pittsburgh. U.S. Bureau of Mines, 1997. P. 17–34.
28. Mark C., Zelanko J. Sizing of final stumps for safer pillar extraction // 20th International Conference on Ground Control in Mining Morgantown, Virginia, USA, August, 2001. P. 59–66.
29. Maleki H., Owens J. Analysis of the interaction between mobile roof supports and mine strata // Paper presented at the conference on design and construction in mining, petroleum and civil engineering, Sao Paulo, Brazil. Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo, 1998. P. 287–393.
30. Maleki H., Owens J., Endicott M. Field evaluation of mobile roof support technologies // Paper presented at the 20th international conference on ground control in mining, Morgantown, WV. West Virginia University, 2001. P. 67–77.
31. McTyer K., Sutherland T. The Duncan Method of Partial Pillar Extraction at Tasman Mine // 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011. P. 8–15.
32. Galvin J.M. Pillar Extraction // Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining. Springer, Cham, 2016. P. 309–358.
33. Galvin J.M. Strata control for coal mine design project. Research report No. 2/96. Sydney: UNSW School of Mining Engineering / Joint Coal Board OH&S Trust, 1996. P. 107.
34. Beukes J.S. Pillar and rib pillar extraction in South African collieries // Part 1 – RR No. 3/89, Part 2 – RR No. 20/89, Part 3 – RR No. 8/90. Johannesburg: Chamber of Mines of South Africa Research Organisation, 1990. P. 340.
35. Galvin J.M. Pillar extraction – Buried continuous miners. Issue 3. Strata Control for Coal Mine Design Newsletter // School of Mines, University of New South Wales, 1993. P. 2–3.

**DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.12.4.005**

**UDC 622.273.3: 622.285**

**© V.V. Sementsov, D.V. Osminin, M.S. Dobrovolsky, E.V. Nifanov, S.A. Prokopenko, 2019**

**V.V. SEMENSOV**

Candidate of Engineering Sciences,

Head Of Laboratory

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru

**D.V. OSMININ**

Candidate of Engineering Sciences,  
Leading Researcher  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: odw-sds@yandex.ru

**M.S. DOBROVOLSKY**

Engineer, Senior Researcher  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: m.dobrovolsky@nc-vostnii.ru

**E.V. NIFANOV**

Engineer, Researcher  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: e.nifanov@nc-vostnii.ru

**S.A. PROKOPENKO**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Senior Researcher  
JSC «NC VostNII», Kemerovo  
e-mail: sibgp@mail.ru

**RESEARCH OF TECHNOLOGY FOR SAFE DEVELOPMENT OF COAL PILLARS IN CHAMBER-COLUMN SYSTEM IN FOREIGN MINES**

*Chamber-pillar mining (CSR) of coal beds in Russian mines is used in areas unsuitable for development by long pillars, while in foreign mines it is used as the main one with high technical and economic indicators. The research of possibilities of expanding the field of CSR application in domestic conditions determines the need for an in-depth research of foreign coal mining technologies of the high level of efficiency.*

*Technological schemes of development of coal pillars at a chamber-pillar system of coal bed development in mines of USA, Australia, South Africa, etc., are considered. Design of self-propelled supports for roof control at stage of coal panels rework is described. The influence of self-propelled supports on safety and efficiency of pillar recovery has been studied. The use of advanced equipment allows to bring the level of coal extraction to 90 % or more.*

Keywords: MINE, COAL, CHAMBER, WORKING, POLE, PILLAR, DIAGRAM, ROOF, TECHNOLOGY, SUPPORT, EXTRACTION.

**REFERENCES**

1. Mark C., Gauna M. Preventing roof fall fatalities during pillar recovery: A ground control success story // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. 27. P. 107–113.
2. Baskakov V.P., Rosenbaum M.A., Kalinin S.I., Semittsov V.V., Volunteer M.S. Working out powerful coal beds dangerous by gas-dynamic phenomena, short bottoms system // Coal [Ugol]. 2015. No. 11. P. 17–20. (In Russ.).
3. Sementsov V.V., Volunteer M.S., Nifanov E.V., Shabalin M.P. Application of the system of short bottoms in the development of coal beds prone to dynamic phenomena // Bulletin of the Scientific Center of VostNII on Industrial and Ecological Safety [Vestnik Nauchnogo Tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2017. No. 2. P. 27–31. (In Russ.).
4. Filatov Yu.M., Sementsov V.V., Prokopenko S.A., Ermolaev A.M., Sobolev V.V. Improving the efficiency and safety of mining pillars in a chamber-pillar system for developing coal seams // Coal [Ugol]. 2018. No. 12. P. 16–20. (In Russ.).

5. Sementsov V.V., Dobrovolsky M.S., Nifanov E.V., Shabalin M.P. Study of the technology of mining pillars of coal in the chamber-pillar system in Russian mines. Overview // Bulletin of the Scientific Center of VostNII on Industrial and Ecological Safety [Vestnik Nauchnogo Tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2018. No. 4. P. 5–23. (In Russ.).
6. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. Nature-like mining technologies – the prospect of resolving global contradictions in the development of the mineral resources of the lithosphere // Bulletin of the Russian Academy of Sciences [Vestnik Rossiyskoy akademii nauk]. 2017. V. 87. No. 7. P. 655–662. (In Russ.).
7. Trubetskoy K.N., Rylnikova M.V., Klebanov D.A., Makeev M.A. Scientific and technical issues of changing the management organization of open cast mining using robotic mining equipment // Mining [Gornaya promyshlennost]. 2017. No. 5. P. 27–31. (In Russ.).
8. Voskoboinik M.P., Rozhkov A.A. Retrospective and forecast estimates of the technological development efficiency of the Russian coal industry // Coal [Ugol]. 2018. No. 2. P. 48–54. (In Russ.).
9. Mikhalchenko V.V. Reengineering of production systems of coal mining on the principles of «lean production» // Bulletin of the Kuzbass State Technical University [Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta]. 2016. No. 5 (116). P. 154–167. (In Russ.).
10. Prokopenko S.A. To coal power-high technologies // Coal [Ugol]. 2005. No. 7. P. 55–57.
11. Prokopenko S.A., Ludzish V.S. and Li A.A. Recycling possibilities for reducing waste from cutters on combined cutter-loaders and road builders // Waste Management & Research. 2017. Vol. 35 (12). P. 1278–1284.
12. Poderni R.Yu., Klementyeva I.N., Lyapin D.G. Features of the interaction of the working body of a compact rotary excavator in the area of its frictional contact with the rock // Coal [Ugol]. 2016. No. 12. P. 20–22. (In Russ.).
13. Khalevin A.A., Shotter A.V. Import substitution, development of a complex for high-speed mining operations // Coal [Ugol]. 2017. No. 5. P. 42–44. (In Russ.).
14. Prokopenko S.A., Ludzish V.S., Kurzina I.A., Prokopenko S.A. Development of combine cutters of a new class // Mining Journal [Gornyy zhurnal]. 2017. No. 2. P. 75–78. (In Russ.).
15. Kizilov S.A., Nikitenko M.S., Neoji B., Nikolaev P.I., Kuznetsov I.S. Automation of control of technological processes during the development of powerful seams // Mining [Gornaya promyshlennost]. 2017. No. 6. P. 76–79. (In Russ.).
16. Prokopenko S.A., Ludzish V.S. The use of innovative combine cutters in mines // Mining [Gornaya promyshlennost]. 2012. No. 1. P. 56–60. (In Russ.).
17. Makarov A.M. Approaches to improving the quality of communication «work – result – payment» // Coal [Ugol]. 2015. No. 4. P. 51–53. (In Russ.).
18. Chernikova A.A., Petrov V.L. Training of mining engineers in Russian universities of a research type // Mining Journal [Gornyy zhurnal]. 2015. No. 8. P. 103–106. (In Russ.).
19. Makarov A.M. The development of the functional of the chief mechanic // Coal [Ugol]. 2015. No. 1. P. 56–57. (In Russ.).
20. Uvarova V.A., Baskakov V.P. Fire and Toxic Safety Monitoring System for Polymer Materials at Mining Enterprises // Industrial safety [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2015. No. 3. P. 45–50. (In Russ.).
21. Radionov S.N., Vavilov D.V., Girev R.A., Galkin V.A. The organization of safe labor at the production site // Coal [Ugol]. 2016. No. 5. P. 83–85. (In Russ.).
22. Artemyev V.B., Galkin V.A., Makarov, A.M., Kravchuk I.L., Galkin A.Val. The mechanism for preventing a dangerous production situation // Coal [Ugol]. 2016. No. 5. P. 73–77. (In Russ.).
23. Wilson H.G. Mobile Roof Support for Retreat Mining // Paper in 10th International Conference on Ground Control in Mining, Proceedings, ed. by S. Peng (Morgantown, WV, June 10–12, 1991). Dept. of Min. Eng., WV Univ., 1991. P. 103–114.

24. Howe L.A. Decade of Mobile Roof Support Application in the United States // Paper in Proceedings, 17th International Conference on Ground Control in Mining, ed. by S. S. Peng (Morgantown, WV, Aug. 4–6, 1998). Dept. of Mining Engineering, WV Univ, 1998. P. 187–201.

25. Howe L. Two Decades of Mobile Roof Support Applications // <http://www.jhfletcher.com/articles/TwoDecadesOfMobileRoofSupports.pdf> (accessed 17.11.2017).

26. Lind G.H. Key success elements of coal pillar extraction in New South Wales // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2002. P. 199–205.

27. Mark C., Chase F.E. Analysis of retreat mining pillar stability (ARMPS) // Paper presented at the seminar on new technology for ground control in retreat mining, Pittsburgh. U.S. Bureau of Mines, 1997. P. 17–34.

28. Mark C., Zelanko J. Sizing of final stumps for safer pillar extraction // 20th International Conference on Ground Control in Mining Morgantown, Virginia, USA, August, 2001. P. 59–66.

29. Maleki H., Owens J. Analysis of the interaction between mobile roof supports and mine strata // Paper presented at the conference on design and construction in mining, petroleum and civil engineering, Sao Paulo, Brazil. Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo, 1998. P. 287–393.

30. Maleki H., Owens J., Endicott M. Field evaluation of mobile roof support technologies // Paper presented at the 20th international conference on ground control in mining, Morgantown, WV. West Virginia University, 2001. P. 67–77.

31. McTyer K., Sutherland T. The Duncan Method of Partial Pillar Extraction at Tasman Mine // 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011. P. 8–15.

32. Galvin J.M. Pillar Extraction // Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining. Springer, Cham, 2016. P. 309–358.

33. Galvin J.M. Strata control for coal mine design project. Research report No. 2/96. Sydney: UNSW School of Mining Engineering/Joint Coal Board OH&S Trust, 1996. 107 p.

34. Beukes J.S. Pillar and rib pillar extraction in South African collieries // Part 1 – RR No. 3/89, Part 2 – RR No. 20/89, Part 3 – RR No. 8/90. Johannesburg: Chamber of Mines of South Africa Research Organisation, 1990. 340 p.

35. Galvin J.M. Pillar extraction — Buried continuous miners. Issue 3. Strata Control for Coal Mine Design Newsletter // School of Mines, University of New South Wales, 1993. P. 2–3.