ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(10):65-78

УДК 622.273.3:622.285 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-65-78

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЯ ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ ОТРАБОТКЕ ПЛАСТОВ

В.В. Семенцов[1], В.С. Лудзиш[1], С.А. Прокопенко[1,2]

[1] АО «Научный центр ВостНИИ», Кемерово, Россия
[2] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, e-mail: sibgp@mail.ru

Аннотация: На примере угольной шахты УК «Межегейуголь» в Республике Тыва (Россия) описана технология камерно-столбовой отработки (КСО) пласта, включающая добычу угля из проводимых выработок и последующую отработку целиков-столбов. Показан высокий уровень (порядка 30—40%) потерь полезного ископаемого при используемой технологии угледобычи. Выявлены имеющиеся технические возможности повышения уровня отработки целиков угля с помощью импортного оборудования — мобильных держателей кровли. Описаны конструкция и технологическая схема их применения в зарубежных шахтах. Технология позволяет извлекать уголь из целиков с размещением людей и оборудования в безопасной зоне и управляемым обрушением пород кровли участками, предотвращающим масштабные деформации недр. Мировой опыт показывает возможность извлечения угля из междукамерных целиков под защитой таких крепей до 85—90%. Однако приобретение импортного прогрессивного оборудования российской шахтой сопровождается высокими затратами. Предложена конструкция держателя кровли, отличающаяся большей простотой изготовления, безопасностью и меньшей стоимостью. Приведено описание предлагаемой конструкции, отличающейся заменой системы гидравлического подъема подкровельного щита на пневматическую. Представлены главные параметры установки для горно-технических условий шахты. Использование пневмобаллона в качестве распорного элемента упрощает конструкцию, снижает риски травмирования шахтеров, уменьшает затраты на приобретение крепи. Предлагаемое техническое решение позволяет шахтам, применяющим КСО, отрабатывать запасы угля с высоким уровнем извлечения при сравнительно небольших эксплуатационных издержках.

Ключевые слова: шахта, пласт, потери угля, камерно-столбовая отработка, целик, извлечение, конструкция, держатель кровли, пневмобаллон.

Для цитирования: *Семенцов В. В., Лудзиш В. С., Прокопенко С. А.* Технология и оборудование для повышения уровня извлечения угля при камерно-столбовой отработке пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 10. – С. 65–78. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-65-78.

Technology and equipment for boosting coal extraction by room-and-pillar mining

V.V. Sementsov[1], V.S. Ludzish[1], S.A. Prokopenko[1,2]

[1] «Scientific Centre «VostNII» for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry» JSC, Kemerovo, Russia
[2] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, e-mail: sibgp@mail.ru

© В.В. Семенцов, В.С. Лудзиш, С.А. Прокопенко. 2019.

Abstract: In terms of a coal mine of Mezhegei Coal Company in the Republic of Tyva, Russia, the technology of room-and-pillar mining with coal extraction from rooms and then from pillars is described. It is shown that this mining system involves high mineral loss (up to 30–40%). The potential of improving efficiency of coal extraction from pillars using import equipment—mobile roof support—is revealed. The structure and operation of MRS in foreign mines is described. This technology allows extracting coal from pillars with people and equipment positioned in a safe zone, with controllable roof caving, which prevents large-scale deformation of ground surface. The international practice proves extractability of up to 85–90% of coal from rib pillars under protection of this support type. The purchase of import equipment by Russian mines involves high expenses connected with shipment and customs dues. This article proposes a simpler, safer and chipper MRS structure. In the new design, the system of hydraulic hoist of the roof canopy is replaced by the pneumatic hoist. The basic parameters of MRS are presented. The use of the pneumocylinder in the capacity of the expansion element simplifies the whole structure, reduces injury risk and saves purchase cost of MRS. The put forward engineering solution enables mines using room-and-pillar to extract coal at high efficiency and comparatively low operating cost.

Key words: mine, seam, coal loss, room-and-pillar mining, pillar, extraction, structure, roof canopy, pneumocylinder.

For citation: Sementsov V. V., Ludzish V. S., Prokopenko S. A. Technology and equipment for boosting coal extraction by room-and-pillar mining . *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):65-78. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-65-78.

Поэтапные отработка целика под защитой MRS и обнажение кровли сопровождаются периодическим ее обрушением в отработанной зоне. Этим обеспечивается процесс управляемого обрушения породы участками, предотвращающий масштабные деформации недр.

Применяемая технология камерно-столбовой отработки пласта

Шахта угольной компании «Межегейуголь» отрабатывает пласт 2 (Улуг) коксующегося угля марки Ж с запасами 213 млн т в 40 км от города Кызыл Республики Тыва. В пределах шахтного поля пласт характеризуется в основном простым строением, его вынимаемая мощность составляет 3,4 м. Угол падения пласта изменяется в пределах 4—8°. Максимальная глубина залегания пласта от земной поверхности в границах шахтного поля достигает 320 м. Предел прочности угля на одноосное сжатие составляет 7,6—8,9 МПа. Объемный вес угля равен 1,3 т/м^3. Метаноносность пласта с глубиной от поверхности возрастает линейно. Пласт 2 является склонным к горным ударам с глубины 250 м от земной поверхности и к внезапным выбросам угля и газа с глубины 350 м. Пласт относится к категории «опасных по взрывам пыли», а также к категории «склонных к самовозгоранию» с инкубационным периодом 61 сутки.

Кровля пласта 2 представлена крепкими песчаниками, иногда алевролитами. Предел прочности песчаников в среднем составляет 102,5 МПа. В почве залегают преимущественно алевролиты и углистые аргиллиты, реже песчаники.

Исходя из горно-геологических, горнотехнических, экономических и логистических условий, в шахте принята камерно-столбовая отработка (КСО) пласта со средней производительностью 40—55 тыс. т в месяц. Темпы проходки выработок при КСО, согласно проекту, составляют 550—580 м в месяц [1].

Для разработки пласта предварительно осуществляется подготовка выемочных столбов (участков), последовательно

Рис. 1. Схема отработки запасов угля на участке КСО-1
Fig. 1. Scheme of coal extraction at room-and-pillar site 1

нарезаемых по падению пласта. Максимальная глубина ведения горных работ при отработке третьего участка составит 145 м от земной поверхности. Плановые объемы добычи угля на участках КСО составляют: участок КСО-1 — 522 тыс. т; участок КСО-2 — 644 тыс. т; участок КСО-3 — 596 тыс. т.

Вскрытие пласта на участке КСО-1 осуществлено тремя наклонными стволами: вентиляционным, конвейерным и транспортным. Подготовка выемочного столба первого участка выполнена транспортным, конвейерным и вентиляционным штреками, имеющими ширину 6 м и высоту 3,4 м. Размеры столба по простиранию пласта составляют 1100 м, а по падению — 230 м. Добычу угля ведут из промежуточных печей шириной 7 м и высотой 3,4 м, нарезаемых по направлению от конвейерного к транспортному штреку по восстанию пласта (рис. 1).

Всего в блоке предусмотрена проходка 27 печей длиной 200 м через 30 м. Выемку угля осуществляют тремя проходческими комбайнами типа «Continuous miner» фирмы «Caterpillar». На перевозке угля к бункерам-перегружателям применяют шесть самоходных вагонов фирмы «Phillips». Крепление кровли ведут с использованием трех анкероустановочных машин «Fletcher». Для поддержания выработок используют кровельные анкеры длиной 2,4 м с шагом установки 1,5 м и бортовые анкеры длиной 1,2 м с шагом установки 2,0 м. Для сокращения простоев оборудования используют технологию поочередной работы комбайна и анкероустановщика в двух параллельных выработках.

По завершении проходки печей на всю длину выемочного столба параллельно штрекам в очередности снизу-вверх через каждые 12 м, начиная от конвейерного штрека, проводят выемочные камеры. Технология проведения и параметры камер соответствуют порядку отработки и размерам печей. Общее количество выемочных камер в первом столбе составляет 13 штук. Такое проведение выработок приводит к фрагментации единого выемочного столба пласта на раздельные целики-столбы длиной 30 м и шириной 12 м. По центру выемочного столба по всей его длине оставляют барьерный целик из столбов с размерами 30×30 м, такие же барьерные целики в количестве 4 штук формируют по падению пласта через каждые 150 м проходки. Этим завершается первый этап отработки выемочного столба — этап добычи угля из проходческих выработок.

На втором этапе приступают к отработке целиков-столбов, образовавшихся между печами и камерами. Целики отрабатывают в отступающем порядке с фланга столба к вскрывающим стволам. Добычу угля из целика ведут заходками, нарезая их последовательно сначала с одной стороны массива, а затем с другой. На рис. 2 показаны начальный и завершающий этапы отработки целика.

Ширина заходок составляет 6 м. Для удобства маневрирования горного оборудования заходки проводят под углом 40—50° к продольной оси целика на половину его ширины. С целью поддержания кровли между заходками оставляют целики шириной 2 м. Дистанционное управление комбайном позволяет машинисту находиться вне опасной зоны в закрепленном пространстве камеры. Такая схема отработки целика позволяет извлечь до 60—70% его запасов. Остаточные (подзавальные) целики представляют собой двукрылые массивы с длиной крыла 8,5 м и шириной 2 м, а также треугольные соединенные или раздельные столбы.

В целом применяемая в шахте технология КСО характеризуется коэффициентом извлечения угля на уровне 60—70%, при этом значительная часть угля теряется безвозвратно в подзавальных

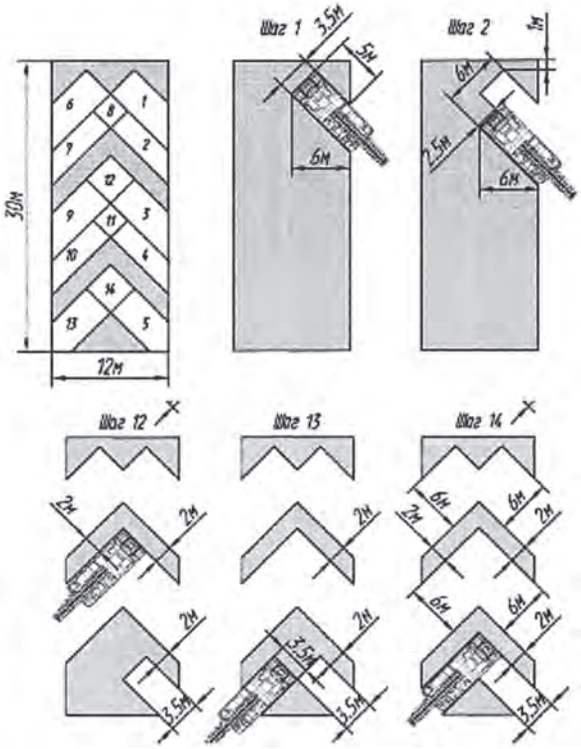

Рис. 2. Последовательность отработки междукамерного целика
Fig. 2. Sequence of coal extraction from rib pillar

целиках. Отработанные участки пласта последовательно изолируют от рабочего пространства взрывоустойчивыми перемычками. С целью снижения вероятности самовозгорания остатков угля в выработанное пространство приходится подавать азот, ингибирующий процесс самонагревания массива. Извлечение угля из целиков ведет к накоплению напряжений в них, постепенному разрушению и впоследствии к неконтролируемому обрушению налегающей породной толщи. Устранение описанных недостатков требует разработки технико-технологических решений, повышающих эффективность угледобычи.

Зарубежные мобильные держатели кровли

Повышение эффективности камерно-столбовой отработки угольных пластов осуществляется по различным направлениям: совершенствование горно-шахтного оборудования [2—4], развитие технологии и организации отбойки угля при проведении выработок [5—8], применение надежного крепления кровли камер [9—12]. Важнейшим направлением совершенствования подземной угледобычи, и в частности КСО, является повышение ресурсоэффективности при освоении отведенных участков недр [13—15]. Изучение литературных источников позволило выявить в качестве перспективного решения для повышения степени извлечения угля при КСО предлагаемую американской компанией J.H. Fletcher & Co., W.V. Huntington и рядом других компаний, технологию отработки целиков угля в шахтах [16—18]. Основу этой технологии составляет разработанная, испытанная и применяемая в ряде стран

Рис. 3. Общий вид самоходной крепи Mobile Roof Support
Fig. 3. General view of Mobile Roof Support

машина, называемая Mobile Roof Support (MRS), что можно перевести как «мобильный держатель кровли» или «мобильная крепь». Конструктивно машина представляет собой гусеничную тележку с гидростойками, поднимающими металлический подкровельный щит для удержания кровли выработки (рис. 3).

Выпускаемые фирмой крепи имеют диапазон раздвижки 1,6—5,0 м. Их несущая способность изменяется в зависимости от конструкции от 545 т до 727 т. Для условий шахты УК «Межегейуголь» наиболее приемлема крепь с диапазоном раздвижки 1,6—3,86 м. Несущая способность ее составляет порядка 600 т.

Технология отработки целиков с удержанием кровли

Использование мобильных крепей позволяет применять различные схемы отработки целиков: с односторонней выемкой, с двусторонней выемкой, с двумя крепями под линией обрушения, с тремя крепями. Прогрессивная технология позволяет повысить долю вынимаемого из целиков угля с 60 до 85—90% и более (рис. 4) [19, 20].

Рис. 4. Форма остаточного целика угля в шахте Goedehoop
Fig. 4. Remnant coal pillar in the Goedehoop mine

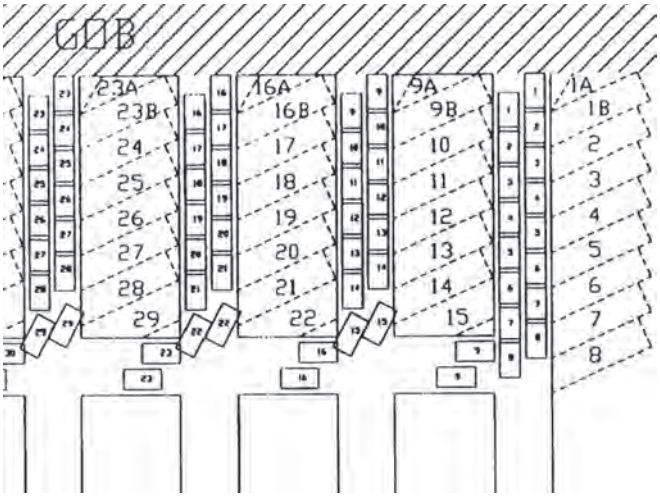

Рис. 5. Односторонняя отработка целиков угля с применением MRS
Fig. 5. One-side extraction of coal from pillars using MRS

На начальном этапе для шахты «Межегейуголь» целесообразно освоение технологической схемы с односторонней отработкой целиков. При такой выемке остаточных массивов угля две секции MRS устанавливают в начальное положение *1* в выработке рядом друг с другом и в непосредственной близости к заходке *1*, проводимой комбайном (рис. 5). Большими цифрами на рисунке показана очередность отработки заходок в целиках, а малыми цифрами — позиции MRS.

Удаленная от вынимаемой заходки секция выдвигается на 50% длины корпуса по отношению к ближней секции. Такое размещение MRS позволяет комбайну отработать заходки 1А и 1В, не попадая в зону обрушения кровли. Затем комбайн переезжает к заходке 2, а секции оператором передвигаются по выработке в положение 2. Для этого на ближней к комбайну секции опускают подкровельный щит, передвигают тележку вперед на расстояние, равное длине корпуса, и снова подпирают щитом кровлю. Затем такой же маневр проводят со второй секцией под защитой первой (рис. 6).

Целик угля отрабатывают за 7—8 заходок. При этом секции перемещают по камере последовательно 8 раз, после чего их выводят в перпендикулярную выработку и устанавливают в положение 9 для поддержания ее кровли. В это время две другие секции устанавливают во вторую камеру в положение 9, и комбайн начинает отработку заходок 9А и 9В по описанной технологии. В такой последовательности отрабатывают все целики первой выемочной панели. Затем приступают к отработке следующей панели.

Поэтапные отработка целика под защитой MRS и обнажение кровли сопровождаются периодическим ее обрушением в отработанной зоне. Этим обеспечивается процесс управляемого обрушения породы участками, предотвращающий масштабные деформации недр.

Анализ предлагаемой технологии показывает, что для ее применения требуется четыре MRS, каждая из которых стоит около 900 тыс. долл. США. Стоимость всего комплекта составляет более 3,5 млн долл. США. Высокая стоимость MRS обусловлена установкой в этой машине электродвигателя, маслостанции,

Рис. 6. Удержание кровли камеры двумя крепями MRS
Fig. 6. Roof support in a room by two MRSs

радиоаппаратуры дистанционного управления. Машина требует непрерывного соединения с электросистемой шахты и расхода электроэнергии.

Поставка оборудования из США влечет высокие транспортные и таможенные расходы. При этом секции используются для прямолинейного передвижения по выработке и последовательного поддержания участков кровли камеры вблизи заходки, извлекаемой проходческим комбайном.

Конструкция пневматического держателя кровли

С целью снижения производственных затрат шахты УК «Межегейуголь» авторами статьи было проведено изучение конструкций существующих мобильных крепей, выпускаемых компаниями США и Индии, и выполнена разработка конструкции пневматического держателя кровли (ПНЕДЕК), отличающаяся большей простотой, надежностью и меньшей стоимостью.

Установка представляет собой металлическую раму *1*, сваренную на полозьях *2*, и каркас *3*, усиленный укосинами *4* (рис. 7). Внутри рамы вертикально закреплены две стойки-трубы *5* диаметром порядка 200 мм, в которые подвижно установлены две стойки *6* меньшего диаметра 190 мм. Эти стойки *6* соединены с подкровельным щитом *7* и имеют возможность перемещаться внутри стоек *5*, поднимая и опуская его. Подкровельный щит представляет собой металлическую пластину толщиной 30—35 мм со свесами по краям. Сверху на раме под щитом *7* размещен пневмобаллон *8* подушкообразной формы, подключенный шлангом *9* к пневмосети шахты (или отдельному компрессору) и оснащенный запорным вентилем *10*. Для сброса лишнего давления предусмотрен предохранительный клапан *11*.

Баллон выполнен из многослойной резинокордовой ткани, рассчитанной на высокое давление воздуха. В баллоне имеются сквозные отверстия 12 диамет-

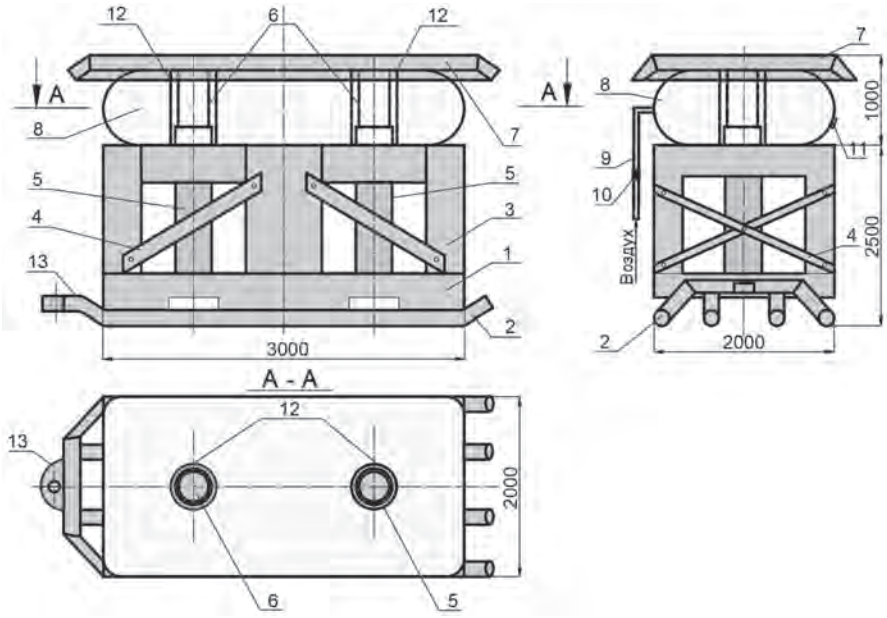

Рис. 7. Конструкция пневматического держателя кровли
Fig. 7. Pneumatic-powered roof canopy

ром около 300 мм, через которые проходят стойки 5 и 6. Полозья ПНЕДЕК на одной из сторон соединены между собой и оснащены проушиной *13* для транспортировки.

Пневмобаллоны ранее применялись в шахтах СССР для крепления выработок и зарекомендовали себя с положительной стороны при использовании в шахтах производственных объединений «Артемуголь» и «Орджоникидзеуголь» [21]. Вид шахтной пневмокрепи с жесткой вставкой и двумя баллонами показан на рис. 8.

Экспериментальные образцы пневмокрепей были успешно испытаны и переданы в серийное производство. Горловским ремонтно-механическим заводом ПО «Артемуголь» серийно выпускались резинокордовые многополостные пневмокостры трех типоразмеров 6ПМ2, 6ПМ3, 6ПМ4 рассчитанные на рабочее давление сжатого воздуха 0,3—0,5 МПа. При использовании пневмокостра 6ПМ4 на пласте мощностью 1,2 м предельное расчетное давление в оболочке требовалось держать на уровне 1,2 МПа. Жесткость пневмокостра, измеренная на стенде, была равна 0,4—0,8 МН/м (тс/см), а на завершающем этапе сжатия жесткость возросла до 10—16 МН/м (тс/см) [22].

Как пишет В.С. Рахутин «начальный распор, создаваемый оболочкой, опре-

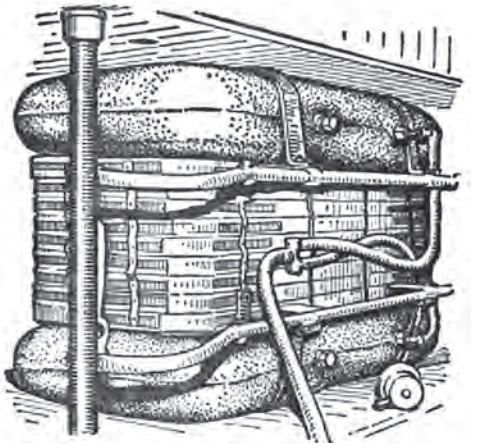

Рис. 8. Комбинированная крепь наборного типа
Fig. 8. Composite support

деляется произведением площади контакта оболочки с боковыми породами и внутреннего давления сжатого воздуха в ней. При среднем давлении воздуха 0,4 МПа и площади контакта 0,5 м^2 начальный распор составляет 200 кН, что примерно в 10 раз больше распора деревянного костра» [23]. Далее автор отмечает, что согласно расчету оболочка из 4 слоев корда выдерживает внутреннее давление до 4,77 МПа, что обеспечивает десятикратный запас прочности по сравнению с нормальными условиями.

Среди преимуществ пневмокрепи перед металлической В.С. Рахутиным приводятся следующие: трехкратный коэффициент раздвижности; простота конструкции и невысокая стоимость; низкая трудоемкость монтажно-демонтажных работ; отсутствие «топтания» кровли и сохранение ее устойчивости.

Имеется информация о том, что в 1979 г. технология управления горным давлением с использованием пневмокрепей применялась на тонких крутых пластах в 28 лавах 25 шахт шести производственных объединений Донецкого и Кизеловского угольных бассейнов. Из них 14 лав работали на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, 2 лавы — на пластах, опасных по горным ударам [21]. Таким образом, использование возможностей и достоинств пневмоэлементов в современных шахтах является вполне оправданным и может принести эффекты при решении нынешних производственных задач [24—26].

Предлагается разработанные конструкции ПНЕДЕК использовать в шахте «Межегейуголь» при камерно-столбовой отработке пласта. Установки размещают в камере на месте секций MRS. Раздвижность ПНЕДЕК до 3,5 м соответствует вынимаемой мощности пласта 3,4 м. При ширине установки, равной 2 м, в камере размещают две секции с промежутками между ними и боками камеры по 1 м. Для горно-геологических и горнотехнических условий шахты «Межегейуголь» при отработке пласта 2 (Улуг), с учетом ожидаемых нагрузок на крепь горных выработок на участках КСО, целесообразно применение ПНЕДЕК с удельным сопротивлением не менее 350—450 кН/м^2 [27—29].

Работают такие установки следующим образом. После занятия требуемой позиции *1* (см. рис. 3) в пневмобаллоны подают воздух под давлением, поднимают козырьки и распирают кровлю в зоне вероятного обрушения. Под защитой ПНЕДЕК комбайн вынимает уголь из заходок 1А и 1В первого целика. После доработки этих заходок комбайн перегоняют к заходке *2*. Затем сбрасывают давление в пневмобаллоне *8* ПНЕДЕК, ближнем к отрабатываемому целику, и опускают подкровельный щит *7*. Соединив ПНЕДЕК за проушину *12* цепью с комбайном или лебедкой, перемещают установку на длину ее корпуса вперед по выработке. После этого восстанавливают давление в пневмобаллоне и подпирают кровлю на новом участке. Затем в такой же последовательности операций передвигают второй ПНЕДЕК на длину корпуса в положение 2. После этого комбайн приступает к отработке заходки *2* и цикл эксплуатации оборудования повторяется. Подработанная комбайном и более неподдерживаемая позади ПНЕДЕК кровля через некоторое время обрушается. Преимуществами такой схемы ведения работ по извлечению угля из целиков являются:

- снижение производственных затрат на закупку и эксплуатацию оборудования;
- снижение риска потери дорогостоящего оборудования в случае завала;
- удаление из опасной зоны электрооборудования и электрокоммуникаций.

По предварительным оценкам стоимость одного ПНЕДЕК составит порядка 3—5 млн руб.

Комплект из четырех установок обойдется шахте в 12—20 млн руб. Экономия на закупках составит 200 — 20 = = 180 млн руб.

Описанные преимущества предлагаемого технического решения определяют перспективу его реализации.

Заключение

1. Применяемая в угольной шахте компании «Межегейуголь» камерно-столбовая отработка пласта включает добычу полезного ископаемого из проводимых по выемочному столбу печей и камер, а затем извлечение угля отступающим ходом из образовавшихся целиков-столбов с размерами 30×12 м. Отработка целиков комбайном предусматривается косыми заходками с оставлением подзавальных целиков для удержания кровли и защиты оборудования. Потери угля по выемочному столбу составляют в среднем 30—40%.

2. Выявлены технические возможности повышения уровня извлечения угля из целиков и в целом из выемочного столба благодаря использованию мобильных держателей кровли. Такое оборудование поставляется несколькими зарубежными компаниями. Однако его приобретение влечет существенные экономические затраты для российской шахты.

3. С целью реализации политики импортозамещения разработана конструкция пневматического держателя кровли (ПНЕДЕК), отличающаяся простотой и экономичностью. В качестве распорного элемента установки предложено использование пневмобаллона. Такие баллоны использовались ранее в конструкциях пневмокрепей и выпускались для различных условий отечественных шахт.

4. Использование предлагаемых установок ПНЕДЕК позволяет отказаться от закупок дорогостоящего импортного оборудования и реализовать прогрессивную технологию отработки целиков в шахте компании «Межегейуголь» с повышением уровня извлечения полезного ископаемого до 85—90%. Полученные технические решения могут быть полезны и для других шахт, использующих камерно-столбовую отработку угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническое перевооружение шахты угольной на период строительства угледобывающего комплекса ООО «УК «Межегейуголь». 1 очередь. Пусковой комплекс. Дополнение № 2. Пояснительная записка. ЗАО «Промуглепроект». — Новокузнецк, 2016. — 162 с.

2. *Булгаков Е. С.*, *Вормсбехер С. А.*, *Дьячук В. Н.*, *Хажиев В. А.* Совершенствование системы эксплуатации и ремонта горношахтного оборудования // Уголь. — 2016. — № 2. — С. 83—85.

3. *Prokopenko S. A.*, *Kurzina I. A.*, Lesin Yu.V. Prospects for improvement of mining machines' cutting picks / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124. No 1, Article number 012134. pp. 1—5. doi: 10.1088/1757-899X/124/1/012134.

4. *Макаров А. М.* Развитие системы обеспечения работоспособности горнотранспортного оборудования // Уголь. — 2016. — № 1. — С. 38—40.

5. *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.

6. *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 НЦ ВостНИИ. — 2017. — № 2. — С. 27—31.

7. *Вартанов А. З.*, *Петров И. В.*, *Федаш А. В.* Научно-методические основы принятия проектных решений по комбинированной отработке пластов длинными и короткими забоями на угледобывающих предприятиях // Уголь. — 2015. — № 10. — С. 30—34.

8. *Рыльникова М. В.*, *Владимиров Д. Я.*, *Пыталев И. А.*, *Попова Т. М.* Роботизированные геотехнологии как путь повышения эффективности и экологизации освоения недр // ФТПРПИ. — 2017. — № 1. — С. 92—101.

9. *Лушников В. Н.*, *Еременко В. А.*, *Сэнди М. П.*, *Косырева М. А.* Выбор анкерной крепи для выработок, склонных к горным ударам // ФТПРПИ. — 2017. — № 3. — С. 86—96.

10. *Позолотин А. С.*, *Гречишкин П. В.*, *Опрук Г. Ю.*, Заятдинов Д.ф., *Чугайнов С. С.* Совершенствование конструкции опорных элементов анкерной крепи // Уголь. — 2016. — № 5. — С. 68—71.

11. *Гречишкин П. В.*, *Позолотин А. С.*, *Заятдинов Д. Ф.*, *Шаров В. Н.* Оценка эффективности двухуровневого анкерного крепления сопряжений горных выработок угольных шахт // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 48—52.

12. *Черепов А. А.*, *Ширяев С. Н.*, *Кулак В. Ю.* Исследование распределения напряжений и деформаций геомассива при камерно-столбовой системе разработки мощного пологого угольного пласта // ГИАБ. — 2017. — № 9. — С. 170—178.

13. *Корнилков С. В.*, *Яковлев В. Л.* О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности // Горный журнал. — 2015. — № 1. — С. 4—9.

14. *Прокопенко С. А.*, *Лудзиш В. С.*, *Курзина И. А.*, *Сушко А. В.* Альтернативный источник энергии при работе очистных механизированных комплексов в угольных шахтах // Горный журнал. — 2015. — № 11. — С. 75—77. doi: 10.17580/gzh.2015.11.15.

15. *Прокопенко С. А.* Угольной энергетике — передовые технологии // Уголь. — 2005. — № 7. — С. 55—57.

16. *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., pp. 187—201.

17. *Lind G. H.* Key success elements of coal pillar extraction in New South Wales // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2002. pp. 199—205.

18. *K. McTyer, T. Sutherland.* 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, pp. 8—15.

19. *Howe L.* Two Decades of Mobile Roof Support Applications // http://www.jhfletcher.com/articles/TwoDecadesOfMobileRoofSupports.pdf. Дата обращения 17.11.2017 г.

20. *Maleki H., Owens J., Endicott M.* Field evaluation of mobile roof support technologies (pp. 67—77). Paper presented at the 20th international conference on ground control in mining, 2001, Morgantown W.V. West Virginia University // https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/feomr.pdf. Дата обращения 03.12.2017 г.

21. *Степанович Г. Я.* Шахтные пневматические крепи. — К.: Техника, 1981. — 158 с.

22. *Розенталь М. Б.* Опыт создания оболочек пневматических шахтных крепей. — М.: Экспресс-информ, ЦНИЭИуголь, 1990. — 32 с.

23. *Рахутин В. С.* Пневматические конструкции в горном деле. — Киев; Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1983. — 152 с.

24. *Ситников Г. А.*, *Шахурдин С. А.*, *Буйный Н. С.* Патент 2119584 РФ, МКП E21D 23/04. Секция пневмобалонной крепи. № 96118587/03; Заявл. 18.09.1996. Опубл. 27.09.1998.

25. *Костюк С. Г.*, *Ситников Г. А.*, *Бедарев Н. Т.* Моделирование горных процессов для обоснования параметров разработки безлюдной выемки угля с применением пневмобалонной крепи // Розробка родовищ. — 2013. — № 2013. — С. 153—158. http://nbuv.gov.ua/UJRN/rr_2013_2013_23. Дата обращения 12.12.2017 г.

26. *Ситников Г. А.* Разработка технических требований к созданию средств и способов безопасного управления кровлей при отработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях: автореф. дис. ...канд. техн. наук. — Кемерово, 2002. — 18 с.

27. *Широков А. П.*, *Писляков Б. Г.* Расчет и выбор крепи сопряжений горных выработок. — М.: Недра, 1978. — 304 с.

28. *Широков А. П.*, *Лидер В. А.*, *Писляков Б. Г.* Расчет анкерной крепи для различных условий применения. — М.: Недра, 1976. — 208 с.

29. *Федеральные* нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». (Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014г, № 31354). Серия 05, Вып. 42. — М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2015. — 186 с. ГИАБ

REFERENCES

1. *Tekhnicheskoe perevooruzhenie shakhty ugol'noy na period stroitel'stva ugledobyvayushchego kompleksa OOO «UK «Mezhegeyugol'». 1 ochered'. Puskovoy kompleks. Dopolnenie No 2.* Poyasnitel'naya zapiska [Technical re-equipment of the coal mine for the period of construction of the coal mining complex LLC «UK «Mezhegeyugol'». 1 turn. Starting complex. Supplement No. 2. Explanatory note], Novokuznetsk, ZAO «Promugleproekt», 2016, 162 p. [In Russ].

2. Bulgakov E.S., Vormsbekher S.A., D'yachuk V.N., Khazhiev V.A. Improvement of the system of operation and repair of mining equipment. *Ugol'*. 2016, no 2, pp. 83—85. [In Russ].

3. Prokopenko S.A., Kurzina I.A., Lesin Yu.V. Prospects for improvement of mining machines' cutting picks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 124. No 1, Article number 012134. pp. 1—5. doi: 10.1088/1757-899X/124/1/012134.

4. Makarov A.M. Development of the system to ensure the efficiency of mining and transport equipment. *Ugol'*. 2016, no 1, pp. 38—40. [In Russ].

5. Baskakov V.P., Rozenbaum M.A., Kalinin S.I., Sementsov V.V., Dobrovol'skiy M.S. Working off of powerful coal seams dangerous on gas-dynamic phenomena by system of short faces. *Ugol'*. 2015, no 11, pp. 17—20. [In Russ].

6. Sementsov V.V., Dobrovol'skiy M.S., Nifanov E.V., Shabalin M.P. Application of the short-face system in mining coal seams prone to dynamic phenomena. *Vestnik NTS VostNII*. 2017, no 2, pp. 27—31. [In Russ].

7. Vartanov A.Z., Petrov I.V., Fedash A.V. Scientific and methodological basis for making design decisions on the combined development of formations with long and short faces at coal mining enterprises. *Ugol'*. 2015, no 10, pp. 30—34. [In Russ].

8. Ryl'nikova M.V., Vladimirov D.Ya., Pytalev I.A., Popova T.M. Robotic Geotechnology as a way to improve efficiency and greening of subsoil development. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2017, no 1, pp. 92—101. [In Russ].

9. Lushnikov V.N., Eremenko V.A., Sendi M.P., Kosyreva M.A. The choice of roof bolting for mines, tend to the mountain blows. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2017, no 3, pp. 86—96. [In Russ].

10. Pozolotin A.S., Grechishkin P.V., Opruk G.Yu., Zayatdinov D.f., Chugaynov S.S.Improving the design of anchor support elements. *Ugol'*. 2016, no 5, pp. 68—71. [In Russ].

11. Grechishkin P.V., Pozolotin A.S., Zayatdinov D.F., Sharov V.N. Estimation of efficiency of two-level anchor fastening of interfaces of mine workings of coal mines. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 8, pp. 48—52. [In Russ].

12. Cherepov A.A., Shiryaev S.N., Kulak V.Yu. Study of the distribution of stresses and strains of geomassiv in the chamber-column system of mining a powerful shallow coal seam. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 9, pp. 170—178. [In Russ].

13. Kornilkov S.V., Yakovlev V.L. On the methodological approach to research in the field of subsoil development on the basis of system, complexity, interdisciplinary and innovative orientation. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 1, pp. 4—9. [In Russ].

14. Prokopenko S.A., Ludzish V.S., Kurzina I.A., Sushko A.V. An alternative source of energy in the operation of mechanized treatment plants in coal mines. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 11, pp. 75—77. doi: 10.17580/gzh.2015.11.15. [In Russ].

15. Prokopenko S.A. Coal energy — advanced technologies. *Ugol'*. 2005, no 7, pp. 55—57. [In Russ].

16. 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., pp. 187—201.

17. Lind G.H. Key success elements of coal pillar extraction in New South Wales. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2002. pp. 199—205.

18. K. McTyer, T. Sutherland. 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, pp. 8—15.

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

20. Maleki H., Owens J., Endicott M. Field evaluation of mobile roof support technologies (pp. 67—77). *Paper presented at the 20th international conference on ground control in min-*

ing, 2001, Morgantown, W.V. West Virginia University// https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/feomr.pdf (accessed 03.12.2017).

21. Stepanovich G.Ya. *Shakhtnye pnevmaticheskie krepi* [Coal mine pneumatic roof supports], Kiev, Tekhnika, 1981, 158 p.

22. Rozental' M.B. *Opyt sozdaniya obolochek pnevmaticheskikh shakhtnykh krepey* [Experience in creating pneumatic shaft supports shells], Moscow, Ekspress-inform, TSNIElugol', 1990, 32 p.

23. Rakhutin V.S. *Pnevmaticheskie konstruktsii v gornom dele* [Pneumatic structures in mining], Kiev, Donetsk, Vishcha shkola, Golovnoe izd-vo, 1983, 152 p.

24. Sitnikov G.A., Shakhurdin S.A., Buynyy N.S. *Patent RU 2119584*, MKP E21D 23/04, no 96118587/03. 27.09.1998.

25. Kostyuk S.G., Sitnikov G.A., Bedarev N.T. Modeling of mining processes to justify the parameters of the development of a deserted coal excavation using pneumatic support. *Rozrobka rodovishch*. 2013, no 2013, pp. 153—158. http://nbuv.gov.ua/UJRN/rr_2013_2013_23 (accessed 12.12.2017).

26. Sitnikov G.A. *Razrabotka tekhnicheskikh trebovaniy k sozdaniyu sredstv i sposobov bezopasnogo upravleniya krovley pri otrabotke ugol'nykh plastov v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh* [Development of technical requirements for the creation of tools and methods for safe management of the roof during mining of coal seams in difficult geological conditions], Candidate's thesis, Kemerovo, 2002, 18 p.

27. Shirokov A.P., Pislyakov B.G. *Raschet i vybor krepi sopryazheniy gornykh vyrabotok* [The calculation and selection of supports mates of mine workings], Moscow, Nedra, 1978, 304 p.

28. SHirokov A.P., Lider V.A., Pislyakov B.G. *Raschet ankernoy krepi dlya razlichnykh usloviy primeneniya* [Calculation of anchorage for different application conditions], Moscow, Nedra, 1976, 208 p.

29. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Instruktsiya po raschetu i primeneniyu ankernoy krepi na ugol'nykh shakhtakh»*. (Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 19.02.2014g, № 31354). Seriya 05, Vyp. 42 [Federal rules and regulations in the field of industrial safety «instructions for the calculation and use of anchorage in coal mines». (Registered in the Ministry of Justice of Russia 19.02.2014 No 31354). Series 05, Issue 42], Moscow, ZAO «NTTS PB», 2015, 186 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Семенцов Вячеслав Владимирович[1] — канд. техн. наук,
зав. лабораторией, e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru,
Лудзиш Владимир Станиславович[1] — д-р техн. наук, профессор,
ведущий научный сотрудник,
Прокопенко Сергей Артурович[1] — д-р техн. наук, профессор;
ведущий научный сотрудник, Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, e-mail: sibgp@mail.ru,
[1] АО «Научный центр ВостНИИ».
Для контактов: Прокопенко С.А., e-mail: sibgp@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Sementsov[1], Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory,
e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru,
V.S. Ludzish[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Leading Researcher,
S.A. Prokopenko[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor;
Leading Researcher, National Research Tomsk Polytechnic University,
634050, Tomsk, Russia, e-mail: sibgp@mail.ru,
[1] Scientific Centre «VostNII» for Industrial and Environmental Safety
in Mining Industry JSC, Kemerovo, 650002, Russia,
Corresponding author: S.A. Prokopenko, e-mail: sibgp@mail.ru.