

**Г.Г. Каркашадзе, Ю.М. Иванов**

**ТЕХНОЛОГИЯ НАПРАВЛЕННОЙ ПОСАДКИ  
ТРУДНО ОБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ  
ПУТЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПОРОД КРОВЛИ  
ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ ПРОБУРЕННЫЕ  
ИЗ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

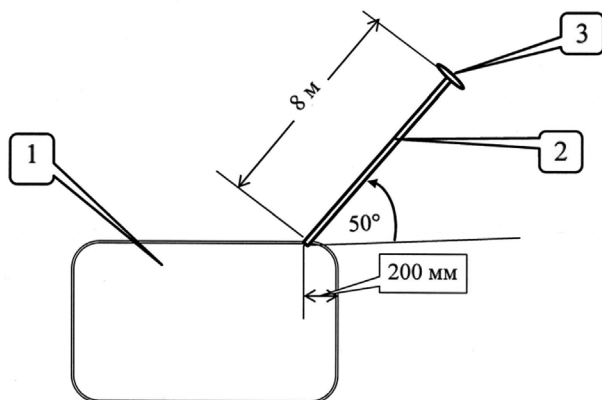
Описан метод плавной посадки трудно обрушающейся кровли при подземной разработке газоносных угольных пластов. Задачу решают путем направленного гидравлического разрыва пород кровли через скважины со стартовыми щелями, пробуренными из конвейерного и вентиляционного штреков. Выполнен анализ условий распространения стартовой трещины. Представлены результаты шахтных испытаний, позволившие снизить концентрацию горного давления на очистной забой и предотвратить пучение почвы в смежных выработках. Метод позволяет повысить нагрузку на очистной забой, обеспечить безопасные условия работы по газовому фактору.

*Ключевые слова:* уголь, пласт, трудно обрушаемая кровля, пучение почвы, гидравлический разрыв.

**Р**асширение области применения механизированных крепей в условиях высокопроизводительной обработки угольных пластов с трудно обрушающейся кровлей значительно осложняет ведение очистных работ [1]. Зависание трудно обрушающейся кровли вызывает концентрацию опорного давления в зоне очистного забоя и на сопряжениях с горными выработками, что может вызвать горный удар. Немаловажным фактором является то, что в процессе зависания породного массива без его обрушения нарушаются также нормальные условия проветривания выработок, что нарушает требования безопасности и делает невозможным высокие нагрузки на очистной забой по газовому фактору [2]. Еще одним негативным следствием является зависание породного массива, что приводит к интенсивному пучению почвы в прилегающих выработках, например в конвейерном штреке смежного выемочного столба.

На шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» задача управляемой посадки трудно-обрушаемой кровли решается путем ориентированного гидравлического разрыва гидродинамической стратификации через скважины со стартовыми щелями [3]. На практике из вентиляционного и конвейерного штреков на заданную глубину бурят скважину диаметром 45 мм. Ориентация относительно штрека представлена на рис. 1. Длина скважины 8–10 м, угол наклона к горизонту 45–55°.

По окончании процесса бурения к буровому ставу подсоединяют щелеобразователь вращением буровой штанги с небольшой подачей осуществляют резание стартовой (инициирующей) щели 3. Затем щелеобразователь извлекают из скважины. В подготовленную скважину 2 на колонне высоконапорных труб заводят герметизатор (на рисунке не показан), который посредством гидравлической арматуры подсоединяют к насосу. Затем осуществляют заполнение всей



**Рис. 1. Ориентация скважины для гидроразрыва кровли:** 1 – вентиляционный или конвейерный штек; 2 – скважина гидравлического разрыва; 3 – стартовая щель

системы рабочей жидкостью и осуществляют предварительный распор герметизатора в скважине под давлением в пределах 15...20 бар. Наконец производят нагнетание рабочей жидкости в зону стартовой щели и осуществляют гидравлический разрыв или расчленение пород кровли.

Величину давления жидкости, при которой происходит старт трещины можно оценить по критерию Ирвина [4], учитывающим величину растягивающего напряжения в вершине трещины и вязкость разрушения горной породы

$$\sigma = \frac{K_1}{\sqrt{\pi \cdot l}}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – растягивающее напряжение, Па;  $K_1$  – вязкость разрушения для трещины первого типа, Н/м<sup>3/2</sup>;  $l$  – полудлина трещины, м.

С учетом величины внешнего горного давления условие старта роста трещины выглядит так

$$P = \frac{K_1}{\sqrt{\pi \cdot l}} + P_g,$$

где  $P$  – давление жидкости в момент старта процесса гидроразрыва, Па;  $P_g$  – горизонтальное горное давление, сжимающее щель, Па.

В частном случае, когда  $K_1 = 0,7 \cdot 10^6$  Н/м<sup>3/2</sup>;  $P_g = 35 \cdot 10^5$  Па;  $l = 5 \cdot 10^{-3}$  м получим

$$P = \frac{0,7 \cdot 10^6}{\sqrt{3,14 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}} + 35 \cdot 10^5 = 90,8 \cdot 10^5,$$

Результат расчета достаточно хорошо коррелирует с данными практики. Как свидетельствует расчет для уменьшения давления гидроразрыва необходимо стремиться к созданию доле протяженной стартовой трещины. Насос с давлением до 150 бар вполне достаточен для реализации механизма роста стартовых трещин как при гидроразрыве, так при гидрорасчленении породного массива.

Радиус распространения трещины гидроразрыва зависит от производительности насоса. Чем выше его производительность, тем больше радиус распространения искусственной трещины. Так, например, по экспериментальным наблюдениям при темпе закачки воды 60 л/мин радиус распространения трещины достигает 25 м.

В настоящее время в ОАО «СУЭК-Кузбасс», на шахте им. С.М. Кирова, отработаны режимы и технические средства, обеспечивающие надежную

посадку трудно обрушающейся кровли. Для проведения гидроразрывов рекомендуется использовать одностронний пакер со следующими характеристиками: диаметр герметизируемого шпура до 48 мм; длина 2...2,5 м; наружный диаметр 43...44 мм; давление подпора – 50 бар.

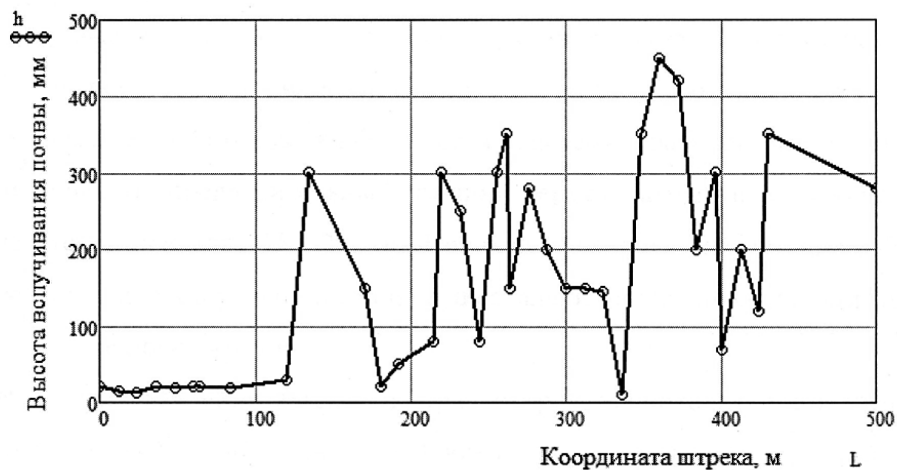
Изменяя ориентацию скважин и зародышевых щелей в породном массиве по отношению к элементам залегания основной кровли и линии очистного забоя, можно направлять трещину ориентированного гидроразрыва под любым углом к напластованию. Благодаря этому, кроме равномерного предварительного разупрочнения массива по плоскостям напластования, можно решать и другие задачи, например, «обрезание» слоя при первичных и последующих посадках, а также для сохранения подготовительных выработок. Расслоение прочных монолитных кровель является технологической операцией, которая необходима и полезна для управляемой посадки кровли и обеспечения на этой основе эффективных режимов проветривания очистных забоев.

Первые испытания метода посадки трудно обрушаемой кровли проведены на шахте имени С.М. Кирова в 2007 г. Согласно данным горно-геологическим условиям шахты на участке угольного пласта Поленовский основная кровля представлена песчаником ( $f = 6-7$ ) мощностью до 26 м, в том числе, непосредственно над пластом. Это свидетельствует о высокой вероятности зависания кровли при выходе крепи из монтажной камеры и создании повышенных напряжений опорного давления на угольный пласт. В этих условиях опускание основной кровли происходит в виде ударной нагрузки, что сопровождается быстрой деформацией крепи, завалами лавы, остановкой горных работ. При выемке угля из пластов, склонных к горным

ударам и внезапным выбросам угля и газа, зависание трудно обрушающейся кровли увеличивает напряжения в краевой части пласта, что провоцирует динамические и газодинамические явления. В этом отношении применение описанного метода разупрочнения кровли вне сомнения повышает безопасность горных работ.

В качестве примера опишем производственный опыт, полученный при в на шахте им. С.М. Кирова по пласту Поленовский в 2007 г. Ранее была отработана лава 2590 мощностью пласта 1,70–1,95 м на глубине 300–260 м. Непосредственная кровля состоит из аргиллитов и алевролитов мощностью 1,5–8 м средней крепости и средней устойчивости с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова  $f = 3-4$ . Имеются участки с уменьшением мощности и участки с залеганием основной кровли в виде песчаника ( $f = 6-7$ ) мощностью до 26 м, в том числе, непосредственно над пластом. Геологические условия квалифицируют кровлю как трудно обрушаемую, требующую дополнительных мероприятий, особенно при первой посадке.

Над пластом Поленовский расположен на глубине 225–415 м пласт Болдыревский мощностью 2,15–2,50 м, который отработан полностью с оставлением межлавных целиков. Проекции этих целиков по пласту Болдыревский в основном расположены на межлавных целиках, оставляемых по пласту Поленовский. Так, над конвейерным штреком нижележащей отработанной лавы 2590 находился целик, передающий давление в виде «штампа» на нижний горизонт. При отработке выемочного столба плохая посадка кровли, помимо неудовлетворительной вентиляции выработанного пространства, приводит к пучению почвы в конвейерном штреке, что требует проведения

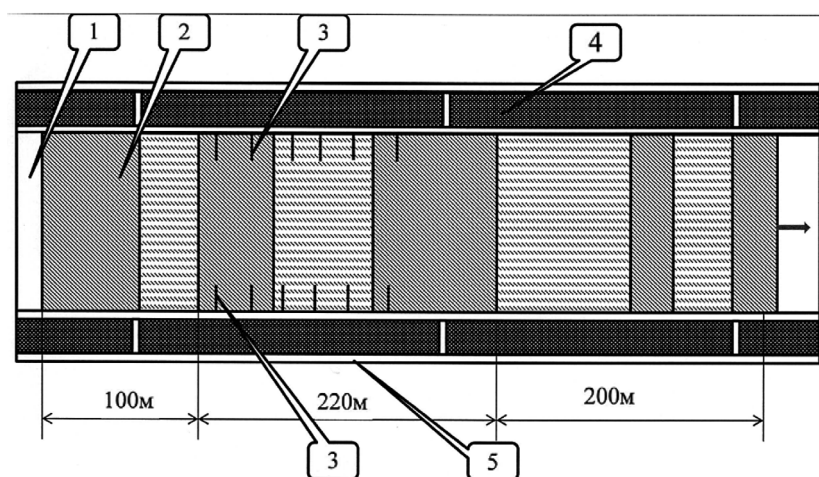


**Рис. 2. Метод посадки труднообрушаемой кровли с помощью скважин гидроразрыва:** 1 – монтажная камера; 2 – выработанное пространство; 3 – скважины гидроразрыва; 4 – угольный целик; 5 – места расположения реперов для измерения смещений

дополнительных и трудоемких работ при проходке нового штока. По существу проекция выше оставленного целика в зоне вентиляционного штока верхней лавы располагается непосредственно над нижней лавой на границе с межлавым целиком.

Для условий шахты им. С.М. Кирова рассмотренное сочетание дей-

ствующих сил при прочном угле реализовалось в выдавливании почвы в сохраняемом штоке. Учитывая, что межлавный целик следующей подготавливаемой лавы 2593 находится в тех же условиях нагружения, на первом этапе было решено проводить гидроразрывы из вентиляционного штока обрабатываемой лавы 2592.



**Рис. 3. Результаты пучения почвы на участке штока при гидроразрыве труднообрушаемой кровли**

Принципиальная схема шахтных испытаний представлена на рис. 2. Лава движется от монтажной камеры 1, оставляя за собой выработанное пространство 2. Для обеспечения плавной посадки кровли из вентиляционного и конвейерного штреков пробурены скважины гидроразрыва 4. Для фиксирования вертикальных смещений в конвейерном штреке следующего выемочного столба были установлены реперы 5.

В процессе испытаний реализован разрыв консоли основной кровли, что позволило осуществить плавную посадку кровли в выработанное пространство и создать условие нормальной вентиляции очистного забоя.

На рис. 3 представлена полученная экспериментальная закономерность смещений реперов 5 в зависимости от места расположения скважин гидроразрыва. Достоверно установлено, что плавная посадка кровли обеспечивает перераспределение горного давления, что положительно отражается на устойчивости прилегающих выработок. Этот фактор имеет большое значение, поскольку обеспечивает не только важный эффект повышения качества проветривания, но

и вспомогательный эффект сохранности выработок прилегающего выемочного столба.

Метод формирования трещины в породном массиве с применением направленного гидроразрыва можно также осуществлять непосредственно из сохраняемой выработки с расположением скважин гидроразрыва над межлавым целиком. Это позволяет изменить направление действия напряжений горного давления в сторону завала лавы. Для осуществления метода ориентированного гидравлического разрыва пород кровли технологические процессы осуществляют с использованием, как стандартного (буровые станки, высоконапорные насосы) и специального (шеллеобразователь, пакер) оборудования.

Как свидетельствуют результаты испытаний, описанный метод управляемой посадки кровли дает удовлетворительные результаты и, несмотря на дополнительные материальные затраты, решает главную производственную задачу обеспечения высоких нагрузок на очистной забой при соблюдении норм безопасности по газовому и геодинамическому факторам.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения кровли на выемочных участках. – Л.: ВНИМИ, 1991. – 102 с.

2. Иванов Ю.М., Коршунов Г.И., Гридина Е.Б., Пасынков А.В. Повышение безопасности – залог успешности компании // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 7. – С. 193–199.

3. Чернов О.И. Гидродинамическая стратификация монолитных пород в качестве способа управления труднообрушаемой кровли // ФТПРПИ. – 1982. – № 2. – С. 18–22.

4. Каркашадзе Г.Г. Механическое разрушение горных пород: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 222 с., ил. **ГИАС**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каркашадзе Георгий Григорович – доктор технических наук, профессор,  
e-mail: g-karkashadze@mail.ru,

МГИ НИТУ «МИСиС»,

Иванов Юрий Михайлович – технический директор ОАО «СУЭК-Кузбасс».

## TECHNOLOGY OF THE DIRECTED LANDING OF DIFFICULTLY DESTROYED ROOF BY HYDRAULIC RUPTURE OF ROCKS THROUGH HOLES DRILLED FROM THE TUNNELS

Karkashadze G.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: g-karkashadze@mail.ru, Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS»,  
Ivanov Yu.M., Technical Director Company «SUEK-KUZBASS» (The Siberian Coal Power Company).

---

*The method of smooth landing of difficultly destroyed roof is described by underground mining of methane coal seams. Problem solve by the directed hydraulic rupture of rocks through holes with the starting cracks drilled from conveyor and ventilating mining tunnels. The analysis of conditions of distribution of a starting crack is made. Results of the mine tests are presented, allowed to lower concentration of mining pressure upon a coalface and to prevent soil deformation in adjacent tunnels. The method allows increasing productivity of coal mining, to provide safe working conditions under the gas factor.*

*Key words: coal seam, difficultly destroyed roof, soil deformations, hydraulic rupture.*

### REFERENCES

1. *Instruktsiya po vyboru sposoba i parametrov razuprochneniya krovli na vyemochnykh uchastkakh* (Manual on selection of a method and parameters for roof weakening in extraction districts), Leningrad, VNIMI, 1991, 102 p.
2. Ivanov Yu.M., Korshunov G.I., Gridina E.B., Pasyukov A.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2011, no 7, pp. 193–199.
3. Chernov O.I. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 1982, no 2, pp. 18–22.
4. Karkashadze G.G. *Mekhanicheskoe razrushenie gornykh porod: Uchebnoe posobie dlya vtuzov* (Mechanical failure of rocks. University education guidance), Moscow, Izdatel'stvo MGGU, 2004, 222 p.



---

**РУКОПИСИ,  
ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

### ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА МОДЕЛЯХ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(№ 1035/11-14 от 04.09.14, 4 с.)

Голотвин Алексей Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, УФ ВНИМИ,  
Кокарев Константин Владимирович – кандидат технических наук, ассистент кафедры,  
Широков Максим Александрович – аспирант,  
Уральский государственный горный университет, e-mail: office@ursmu.ru.

### STUDIES OF ROCK PRESSURE MODELS FROM EQUIVALENTLY MATERIALS

Golotvin A.D., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, UV VNIMI,  
Kokarev K.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair,  
Shirokov M.A., Graduate Student,  
Ural State Mining University, e-mail: office@ursmu.ru.