

# Опыт внедрения направленного гидроразрыва для управления труднообрушаемой кровлей на каменноугольных месторождениях АО «Воркутауголь»

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-8-87-95>

*В работе рассмотрены актуальность проблемы управления труднообрушаемой кровлей на Воркутском каменноугольном месторождении при очистной выемке и возможность решения ее в производственных условиях. Реализованы внедрение и научно-исследовательское сопровождение работ по управляемому обрушению труднообрушаемой кровли на предприятиях АО «Воркутауголь» методом направленного гидроразрыва. Оценена эффективность реализованных технических решений. По результатам опытного внедрения метода направленного гидроразрыва (НГР) для управления труднообрушаемыми кровлями подтверждены высокая эффективность метода и предсказуемость результата в условиях АО «Воркутауголь».*

**Ключевые слова:** каменноугольное месторождение, шаг обрушения кровли, труднообрушаемая кровля, разупрочнение кровли, направленный гидроразрыв, щеленарезной инструмент, зародышевая щель, ориентированная трещина, видеоэндоскопическое обследование.

**Для цитирования:** Опыт внедрения направленного гидроразрыва для управления труднообрушаемой кровлей на каменноугольных месторождениях АО «Воркутауголь» / А.А. Дудин, М.В. Лысенко, Е.В. Аушев и др. // Уголь. 2023. № 8. С. 87-95. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-87-95.

## ВВЕДЕНИЕ

Вопрос управления кровлей при освоении каменноугольных месторождений подземным способом с применением комплексной механизации является одним из основных в решении задач по управлению напряженно-деформированным состоянием массива горных пород. При выемке запасов угольных пластов механизированными комплексами преимущественно используется наиболее простой и доступный способ управления горным давлением – полным обрушением.

## ДУДИН А.А.

Директор  
ООО НИЦ-ИПГП «РАНК»,  
630090, г. Новосибирск, Россия

## ЛЫСЕНКО М.В.

Технический директор  
ООО НИЦ-ИПГП «РАНК»,  
630090, г. Новосибирск, Россия,  
e-mail: limak2@yandex.ru

## АУШЕВ Е.В.

Заместитель технического директора  
ООО НИЦ-ИПГП «РАНК»,  
630090, г. Новосибирск, Россия

## КАРАСЕВ В.А.

Канд. техн. наук,  
специалист по инновационному развитию  
ООО НИЦ-ИПГП «РАНК»,  
630090, г. Новосибирск, Россия

## НОГАЕВ С.Н.

Технический директор  
АО «Воркутауголь»,  
169908, г. Воркута, Россия

## ВАЛЕШНЫЙ Р.Ю.

Заместитель главного инженера  
по технологии  
СП «Шахта «Комсомольская»  
АО «Воркутауголь»,  
169908, г. Воркута, Россия

**МОРОЗ Д.И.**

Главный технолог  
по газодинамическим явлениям  
АО «Воркутауголь»,  
169908, г. Воркута, Россия

**ШИЛЬНИКОВ Д.В.**

Главный инженер шахты «Заполярная»  
АО «Воркутауголь»,  
169908, г. Воркута, Россия

**ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ**

С точки зрения взаимодействия элементов «крепь – кровля», механизированная крепь находится в наиболее благоприятных условиях на начальной стадии разработки выемочного столба – при выходе механизированного комплекса из монтажной камеры. Дальнейшее развитие очистной выемки сопровождается увеличением площади зависающих над очистной выработкой пород кровли пласта и ростом опорного давления в забое лавы. Нарастание величины опорного давления происходит до первичной осадки основной кровли.

В условиях месторождений, где кровли пластов представлены прочными монолитными породами, процесс самообрушения становится непредсказуемым – первичный шаг обрушения основной кровли может превышать 70 м, а в отдельных случаях достигать величин 150 м и более.

Масштабность возможных негативных, вплоть до катастрофических, последствий при определенных условиях обрушения основной кровли проявляется:

- воздушными ударами;
- горными ударами;
- внезапными выбросами угля и газа;
- разрушением как сопряжений подготовительных выработок с очистной выработкой, так и линейных частей выработок;
- деформацией и потерей устойчивости крепи подготовительных выработок;
- куполообразованием;
- внезапными резкими динамическими нагрузками на механизированную крепь, превышающими ее податливость, вплоть до завалов и зажатия крепи «насухо» и возможной ее потери;
- повышением травмоопасности и угрозой жизни шахтеров;
- временным или безвозвратным выходом из строя различного шахтного оборудования.

Для обеспечения управления труднообрушаемыми кровлями в лавах, оборудованных механизированными комплексами, ведутся работы в двух направлениях: проектирование и создание механизированных крепей с повышенным сопротивлением, а также применение известных и разработка новых способов разупрочнения кровли, направленных на изменение механических свойств пород кровли.

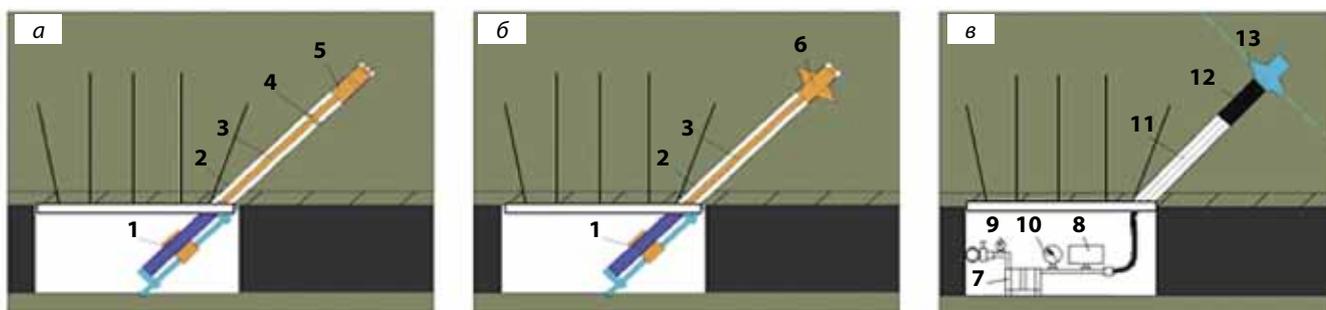


Рис. 1. Технологические операции при реализации метода НГР: а – бурение скважин; б – нарезание инициирующей щели; в – схема расположения оборудования с использованием герметизатора; 1 – буровая установка; 2 – скважина; 3 – буровой став; 4 – центрирующий фонарь; 5 – буровая коронка; 6 – щеленарезной инструмент; 7 – насосная станция; 8 – самописец давления; 9 – расходомер; 10 – манометр; 11 – жесткий трубопровод; 12 – герметизатор; 13 – инициирующая щель

Fig. 1. Technological operations to implement the directional hydraulic fracturing method: a – borehole drilling; b – creation of the initiating slot; c – equipment arrangement scheme using a sealer; 1 – drilling rig; 2 – borehole; 3 – drilling rod; 4 – centralizer; 5 – drill bit; 6 – slot-cutting tool; 7 – pump station; 8 – recording pressure gauge; 9 – flow meter; 10 – pressure gauge; 11 – rigid pipeline; 12 – sealer; 13 – initiating slot

Создание и применение механизированных крепей с повышенным сопротивлением могут уменьшить число случаев зажатия секций, но не могут исключить это явление на всех угольных пластах с труднообрушаемыми кровлями. Около 60% таких угольных пластов имеют слабые почвы и неустойчивые нижние слои кровли, при наличии которых механизированные крепи с повышенным сопротивлением будут внедряться в породы, разрушать их, не будут развивать номинальные сопротивления и не исключат завалы лав [1, 2]. В других случаях, поскольку около 40% шахтопластов имеют труднообрушаемую основную кровлю [3] на отдельных участках, особенно при первичных обрушениях, внешние активные нагрузки могут достигать таких значений, которым противопоставить создание механизированных крепей с большим сопротивлением чрезвычайно сложно [1, 2].

Проблема управления труднообрушаемыми кровлями на месторождениях Печорского угольного бассейна присутствует на всем протяжении его освоения комплексной механизацией. В ученом сообществе взгляды на проблему управления труднообрушаемыми кровлями разделяются. Одни утверждают, что шаги обрушения кровли возможно регулировать скоростью подвигания очистных работ [4, 5], другие – изменением физико-механических свойств пород кровли [6, 7], третьи – изменением направления действия наибольшего усилия от горного давления [8]. В любом из случаев все взгляды взаимосвязаны и имеют право на существование.

Для управления труднообрушаемыми кровлями и предотвращения геодинамических явлений в условиях шахт АО «Воркутауголь» на протяжении длительного периода применялся метод взрывогидрорыхления (ВГР) [3], однако его применение сопровождалось рядом недостатков:

- неравномерность дробления (переизмельчение) и неуправляемость взрывного воздействия на массив [9];
- куполообразование от возможных вывалов пород разупрочненной кровли в забой;
- после воздействия взрыва и увлажнения пород осадки основной кровли при работе очистных забоев не происходило [2];
- организация проведения взрывных работ на угольной шахте, опасной по газу пыли, – довольно трудоемкий процесс, влекущий за собой, в большинстве случаев, остановку горных работ на смежных участках шахты.

Помимо вышесказанного, заряд взрывчатого вещества всегда генерирует пульсирующие импульсы, возбуждающие в окружающем пространстве волновой колебательный процесс. В этом случае разрушающее действие взрыва в ближней зоне и сейсмическое на удалении от заряда ВВ рассматриваются не как два самостоятельных, а как единый процесс, распространяющийся в неограниченном пространстве. Таким образом, способы разупрочнения с применением энергии взрыва являются потенциально опасными и могут спровоцировать геодинамические явления [3, 10].

Принимая во внимание имеющийся опыт применения взрывогидрорыхления для управления труднообрушаемыми кровлями в условиях шахт АО «Воркутауголь», техническими специалистами шахт и объединения принято решение о поиске и внедрении более эффективных и технологичных способов разупрочнения кровли. Учитывая многолетнее сотрудничество АО «Воркутауголь» и ООО НИЦ-ИПГП «РАНК», специалисты института изучили проблематику и предложили внедрение технологии направленного гидроразрыва (далее по тексту – НГР).

На основании ряда опытных работ по разупрочнению труднообрушаемых кровель установлено, что наиболее эффективным является изменение физико-механических свойств пород гидрообработкой жидкостями [11]. На сегодняшний день перспективным направлением гидрообработки пород кровли является направленный гидроразрыв (НГР). Сущность способа НГР заключается в создании искусственных ориентированных поверхностей ослабления для принудительного формирования первичного, а затем и вторичного шагов обрушения пород кровли [12].

Работа по разупрочнению кровли при направленном гидроразрыве включает три стадии [13, 14]:

- **разупрочнение кровли:** бурение рабочих скважин из подготовительных выработок; прорезание в рабочих скважинах иницирующих круговых щелей; герметизацию зоны иницирующей щели с подведением к ней напорного трубопровода; подключение к напорному трубопроводу насосной установки; последовательность технологических операций приведена на рис. 1.;
- **контроль разупрочнения:** визуальный контроль возникновения трещин видеоэндоскопическим оборудованием (рис. 2); анализ состояния углепородного массива геофизическим оборудованием (рис. 3);

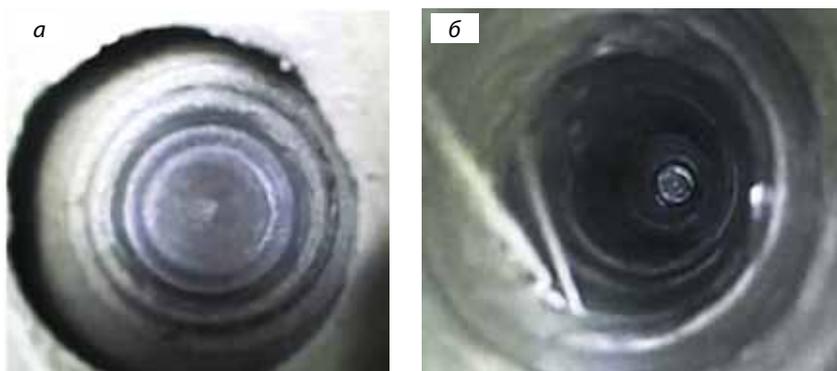
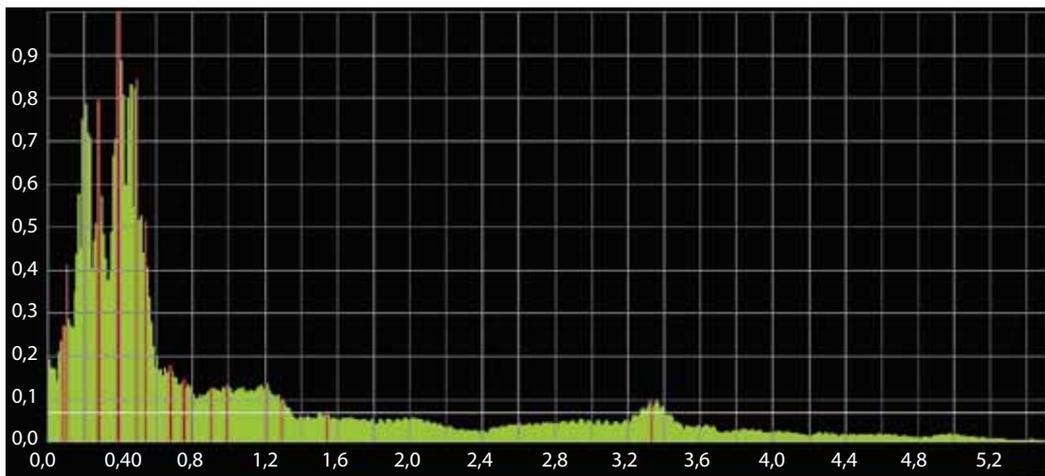


Рис. 2. Визуальный контроль скважин видеоэндоскопическим оборудованием: а – до гидроразрыва; б – после гидроразрыва (истечение воды из искусственно созданной трещины)  
Fig. 2. Visual control of boreholes using video endoscopic equipment: a – before hydraulic fracturing; b – after hydraulic fracturing (water flowing out of the artificial fracture)



| Энергия | H, м | Fmax, Гц | M, % |
|---------|------|----------|------|
| 113,5   | 29,0 | 86,0     | 37,2 |
| 172,9   | 23,2 | 107,0    | 10,3 |
| 343,5   | 12,2 | 204,0    | 32,4 |
| 332,5   | 8,9  | 279,0    | 15,8 |
| 419,6   | 6,4  | 387,0    | 30,7 |
| 354,5   | 5,0  | 495,0    | 32,7 |
| 215,3   | 4,6  | 538,0    | 40,1 |
| 74,2    | 3,7  | 678,0    | 32,2 |
| 60,7    | 3,3  | 753,0    | 75,8 |
| 55,2    | 3,1  | 796,0    | 69,0 |
| 53,1    | 2,8  | 904,0    | 32,2 |
| 57,0    | 2,5  | 990,0    | 5,5  |
| 58,6    | 2,1  | 1 205,0  | 30,3 |
| 42,7    | 1,9  | 1 291,0  | 44,1 |
| 30,3    | 1,6  | 1 539,0  | 13,6 |
| 41,3    | 0,8  | 3 326,0  | 0,3  |

Рис. 3. Спектрограмма сейсмоакустического исследования НДС угленородного массива

Fig. 3. Seismoacoustic spectrogram of directional hydraulic fracturing of a coal rock mass

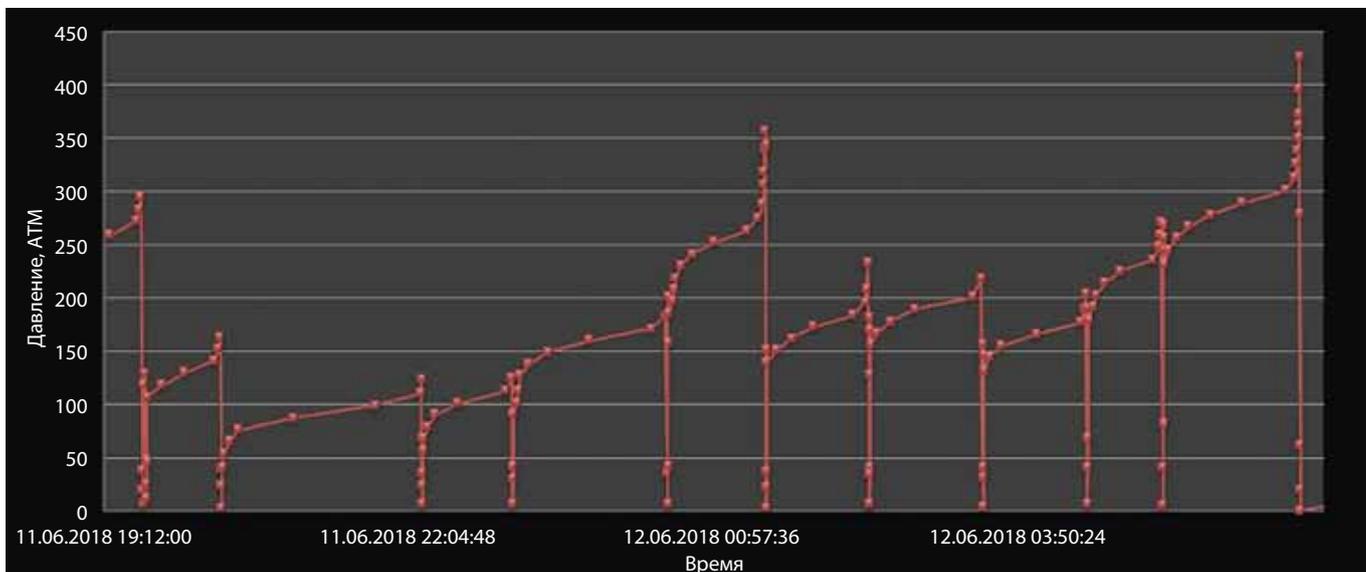


Рис. 4. График изменения давления поршневой области гидростоек механизированной крепи, характеризующий цикл обрушения пород основной и непосредственной кровли

Fig. 4. Diagram of pressure changes in the piston area of the hydraulic props of the powered roof support, which characterizes the caving cycle of the main and immediate roof rocks

– **контроль обрушения кровли:** мониторинг нагрузок на секции механизированной крепи очистного забоя (рис. 4), визуальное наблюдение.

Места заложения и параметры скважин выбираются в каждом конкретном случае с учетом горно-геологических и горнотехнических условий на участке, предназначенном к разупрочнению [12].

Пример одной из технологических схем управления труднообрушаемой кровлей и параметры скважин при направленном гидроразрыве приведены на рис. 5 [15].

В условиях шахт АО «Воркутауголь» для контролируемого управления кровлей и формирования первичного и вторичного шагов обрушения кровли было произведено внедрение технологии направленного гидроразрыва

(НГР). В качестве первой шахты для проведения опытных работ была определена шахта «Комсомольская», а после получения положительного эффекта технология распространена на шахты «Воркутинская» и «Заполярная».

Таким образом, опытные работы с применением НГР для решения конкретных горнотехнических задач осуществлены в различных горно-геологических и горнотехнических условиях шахт АО «Воркутауголь» (табл. 1).

На настоящий момент специалистам ООО НИЦ-ИПГП «РАНК» совместно с техническими службами шахт обоснованы и внедрены на производстве варианты разупрочнения труднообрушаемых кровлей направленным гидроразрывом для четырех очистных забоев, работающих в различных условиях.

**Условия ведения работ**  
Operating conditions

| Название шахты   | Комсомольская  | Комсомольская   | Воркутинская  | Заполярная   |
|--|--|---|---|--|
| Название пласта  | Четвертый  | Четвертый   | Четвертый   | Тройной  |
| Номер лавы   | 411-ю  | 121-ю   | 1012-ю  | 723-ю  |
| Угол залегания пласта, град.   | 0-8  | 0-13  | 0-20  | 6-8  |
| Мощность пласта, м   | 1,4-1,69   | 1,36-1,69   | 1,41-1,55   | 2,60-3,24  |
| Длина столба, м  | 968,0-993,0  | 705-730   | 770   | II этап, 410   |
| Длина лавы, м  | 270  | 146   | 250   | 238  |
| Выработки для НГР  | м.к., в.ш., к.ш.   | м.к., в.б., к.б.  | м.к., к.ш.  | в.ш., к.ш.   |
| Глубина ведения горных работ, м  | 920-980  | 620   | 965-1026  | 830  |
| Тип кровли по обрушаемости   | Труднообрушаемая   | Труднообрушаемая  | Труднообрушаемая, среднеобрушаемая  | Труднообрушаемая   |
| Ложная кровля (порода / средняя мощность / предел прочности на сжатие)           | Аргиллит плитчатый / 0,17 м / до 96 МПа                    | Аргиллит листоватый / 0,7 м / до 96 МПа                                       | Аргиллит листоватый / 0,14 м / до 96 МПа                                      | Углистый аргиллит тонкослоистый / 0,1 м / до 96 МПа  |
| Непосредственная кровля (порода / средняя мощность / предел прочности на сжатие) | Аргиллит с прослойками алевролита м/з / 3,47 м / до 71 МПа | Алевролит переслаивающийся аргиллитом / 1,8 м / до 71 МПа                     | Аргиллит тонкослоистый, алевролит / 3,16 м / до 94 МПа                        | Аргиллит, алевролит м/з / 2,64 м / до 55 МПа   |
| Основная кровля (порода / средняя мощность / предел прочности на сжатие)         | Песчаник / 13,3 м / до 143 МПа                             | Песчаник / 16,5 м / до 124 МПа  | Песчаник / 15,0 м / до 114 МПа  | Песчаник / 19,5 / до 100 МПа   |
| Цель выполнения НГР  | Формирование первичного шага обрушения                     | Формирование первичного шага обрушения, обеспечение вторичного шага обрушения | Формирование первичного шага обрушения, обеспечение вторичного шага обрушения | Переход передовой выработки, формирование первичного шага обрушения, обеспечение вторичного шага обрушения |

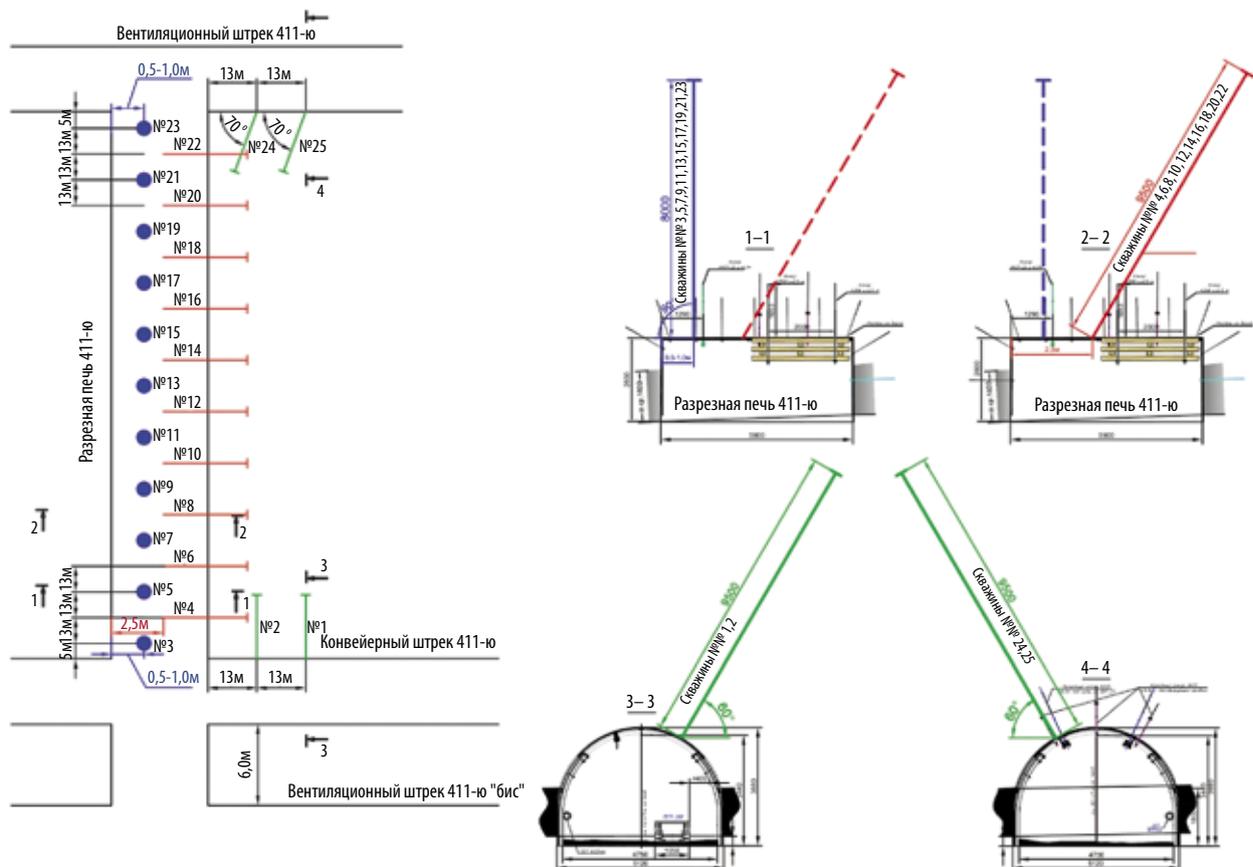


Рис. 5. Общий вид технологической схемы для направленного гидроразрыва пород кровли на шахтах АО «Воркутауголь»

Fig. 5. General view of the technological flowchart for directional hydraulic fracturing of the roof rocks in mines of Vorkutaugol JSC

**1. Научно-исследовательское сопровождение направленного гидроразрыва на шахте «Комсомольская», лава № 411-ю, длинный столб по простирианию с сохранением конвейерного штрека для повторного использования, начало развития очистной выемки из монтажной камеры.**

На основе анализа состава, строения и физико-механических свойств вмещающих пород обоснованно рекомендовано разупрочнение основной кровли на всем протяжении разрезной печи 411-ю в зоне первичной посадки и по конвейерному штреку № 411-ю по всей длине выемочного столба.

В процессе начала развития очистных работ из разрезной печи 411-ю, используемой в качестве монтажной камеры, производился инструментальный мониторинг нагрузок на секции механизированной крепи, в результате которого зафиксировано формирование первичного шага обрушения на расстоянии 24 м от разрезной печи 411-ю (табл. 2).

**2. Научно-исследовательское сопровождение направленного гидроразрыва на шахте «Комсомольская», лава № 121-ю, длинный столб по падению, начало развития очистной выемки из монтажной камеры.**

Особенностями отработки лавы № 121-ю являются горизонтная подготовка с ориентированием столба вдоль линии падения пласта и подвиганием линии забоя по падению. Необходимо формирование первичного и вторичного шагов обрушения основной кровли.

Работы по разупрочнению кровли в выемочном столбе 121-ю производятся в два последовательных периода, один из которых завершается до начала очистных работ, второй период продолжается в течение всего процесса отработки столба лавой.

В первом периоде работы методом НГР выполняются в разрезной печи 121-ю (на всем ее протяжении), в вентиляционном и конвейерном бремсбергах 121-ю в опасной зоне, включающей зону первичной посадки кровли.

Во втором периоде работы методом НГР производится в процессе отработки столба лавой со стабильным опережением очистного забоя в вентиляционном и конвейерном бремсбергах 121-ю.

Расчетные и фактические шаги обрушения основной кровли при первичной и вторичной осадке приведены в табл. 2.

**3. Научно-исследовательское сопровождение направленного гидроразрыва на шахте «Воркутинская», лава № 1012-ю, длинный столб по простирианию с сохранением конвейерного штрека для повторного использования, начало развития очистной выемки из монтажной камеры.**

По своему литологическому составу основная кровля поля лавы № 1012-ю по пласту «Четвертый» по всему выемочному столбу типизируется как труднообрушаемая под-типа ЗБЗ, ЗБ4 и как среднеобрушаемая со стороны конвейерного штрека. Производилось разупрочнение основной кровли лавы № 1012-ю, пласт «Четвертый» в монтажной камере на участке длиной 116 м со стороны конвейерного штрека и по всей протяженности конвейерного штрека № 1012-ю.

Первичное обрушение пород основной кровли произошло с разным шагом по длине лавы. Шаг первичного обрушения пород основной кровли в центре лавы в среднем составил 11,5-14,8 м. Шаг обрушения пород основной кровли в районе сопряжения лавы с вентиляционным штреком в среднем составил 12,3 м. Шаг обрушения пород основной кровли в районе сопряжения лавы с конвейерным штреком в среднем составил 18 м.

Таблица 2

**Шаги обрушения основной кровли**

Steps of the main roof caving

| Наименование участка                   | Шаги обрушения основной кровли, м |                    |                      |                     |
|--|-----------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
|  | При первичной осадке              |                    | При вторичной осадке |                     |
| Шахта «Комсомольская»,<br>Лава № 411-ю | Расчетный, без НГР                | Фактический, с НГР | Расчетный, без НГР   | Фактический, с НГР  |
|  |                                   | 64-90              | 24                   | Не контролировалось |
| Шахта «Комсомольская»,<br>лава № 121-ю | При первичной осадке              |                    | При вторичной осадке |                     |
|  | Расчетный, без НГР                | Фактический, с НГР | Расчетный, без НГР   | Фактический, с НГР  |
|  | 89-119                            |                    | 18-29                |                     |
| Шахта «Воркутинская»,<br>лава № 1012-ю | При первичной осадке              |                    | При вторичной осадке |                     |
|  | Расчетный, без НГР                | Фактический, с НГР | Расчетный, без НГР   | Фактический, с НГР  |
|  | 70-90                             | 11,5-18,0          | 17-35                | 16-18               |
| Шахта «Заполярная»,<br>лава № 723-ю    | При первичной осадке              |                    | При вторичной осадке |                     |
|  | Расчетный, без НГР                | Фактический, с НГР | Расчетный, без НГР   | Фактический, с НГР  |
| 1 этап                                 | 75-100                            | НГР не выполняли   | 19-38                | НГР не выполняли    |
| 2 этап                                 | -                                 | -                  |                      | 8,9                 |

В сравнении с фактическим шагом первичного обрушения пород основной кровли в центре лавы расчетный шаг отличается в 4-5 раз (см. табл. 2)

#### **4. Научно-исследовательское сопровождение направленного гидроразрыва на шахте «Заполярная», лава № 723-ю, длинный столб по простиранию, при отработке участка столба между диагональными сбойками и переход механизированным комплексом передовой диагональной сбойки.**

В связи с неполной подготовкой запасов выемочного столба длиной 2030 м вследствие технологических затруднений отработка запасов осуществляется следующим образом:

**1 этап:** в процессе отработки выемочный столб длиной 964 м; остановка лавы не менее чем за 100 м перед диагональной сбойкой № 1; подготовка участка выемочного столба длиной 410 м.

**2 этап:** отработка подготовленного выемочного столба длиной 410 м с учетом перехода диагональной сбойки № 1 (передовой выработки); не менее чем за 100 м остановка лавы перед диагональной сбойкой № 2; подготовка оставшегося участка выемочного столба.

В границах обрабатываемого столба изменяется литологический состав пород непосредственной и основной кровли. Непосредственная кровля классифицируется по категориям устойчивости от неустойчивой до средней устойчивости, по классам обрушаемости – от легкообрушаемой до среднеобрушаемой. Основная кровля по устойчивости отнесена к устойчивой, труднообрушаемой. Разработаны и обоснованы мероприятия по разупрочнению труднообрушаемой кровли из конвейерного и вентиляционного штреков лавы № 723-ю на участке от диагональной сбойки № 1 до диагональной сбойки № 2.

Значения расчетных и фактических шагов обрушения пород основной кровли на всех стадиях приведены в табл. 2.

Направленный гидроразрыв производился наклонными скважинами с развитием трещины под углом к напластованию с выходом искусственной трещины на контакт между непосредственной и основной кровлями, а также дальнейшим ее распространением по контакту и вертикальными скважинами с развитием трещины параллельно напластованию с целью дополнительного расслоения.

#### **Выводы**

При обследовании скважин, выполненном силами специалистов шахт, было установлено, что параметры скважин (глубина, угол, место заложения) соответствуют проектным, таким образом, обеспечение предложенных проектных параметров заложения скважин не ограничено техническими и технологическими ресурсами шахт.

После подготовительных работ, включающих нарезание зародышевой щели, проводилось повторное обследование скважин на предмет оценки качества нарезки щели, в подавляющем числе случаев наличие щели-концентратора было зафиксировано, что подтверждает работоспособность в условиях шахт АО «Воркутауголь» запатентованной

и изготовленной в НИЦ-ИПГП «РАНК» конструкции щеле-нарезного инструмента [16].

В редких случаях в процессе нарезания щели наблюдалось заклинивание инструмента в скважине с последующей потерей инструмента, что в последующем требовало бурения дополнительной скважины. Данный факт требует изучения проблемы и выявления причин для усовершенствования конструкции инструмента с целью снижения количества отказов.

После выполнения работ по нагнетанию жидкости проводились дополнительные обследования скважин гидроразрыва, по результатам которых подтверждено распространение трещин в заданном направлении с приемлемым уровнем отклонения. Выхода жидкости из мест анкерного крепления не зафиксировано.

В условиях шахт АО «Воркутауголь» подтвержденные расстояния распространения трещин от нагнетательной скважины превысили 15 м. Данное значение радиуса распространения трещин может использоваться при последующей разработке параметров разупрочнения в схожих условиях.

При применении НГР не зафиксировано негативных явлений с проявлением горного давления, давление на секции механизированной крепи не увеличилось. Вывалов по кровле и отжимов в боках выработок не обнаружено. Деформации крепи отсутствовали, что подтверждает безопасность метода НГР.

По результатам опытного внедрения и последующего применения метода направленного гидроразрыва (НГР) для управления труднообрушаемыми кровлями подтверждена высокая эффективность метода и предсказуемость результата в условиях АО «Воркутауголь». Метод НГР зарекомендовал себя как более технологичный и менее трудоемкий в сравнении с ранее применяемым взрывогидроразрывом, не менее важным фактором являлось сокращение количества работ на шахтах, проводимых со взрывчатыми веществами. Применение направленного гидроразрыва на шахтах АО «Воркутауголь» по сравнению с ранее применяемым способом взрывогидрообработки (ВГО) позволило исключить негативное воздействие от взрывных работ, проявлявшееся в неравномерности и чрезмерном переизмельчении пород кровли и неуправляемом развитии трещин, а также сократить продолжительность времени технологических простоев.

Говоря о безопасности, немаловажно отметить, что процесс первичного обрушения кровли в завальной части стал практически незаметным в связи с плавным обрушением консолей малой величины и больше не сопровождается такими негативными явлениями, как выдавливание газа и пыли из выработанного пространства в очистные выработки, что значительно повышает безопасность ведения очистных работ.

В дальнейшем, в продолжение теоретических и экспериментальных исследований по направленному гидроразрыву на угольных шахтах возможна реализация научно-исследовательского сопровождения по снижению нагрузок на угольные целики, а также ликвидации пучения почвы горных выработок [17, 18, 19, 20, 21].

## Список литературы

1. Временная инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения труднообрушаемой кровли на выемочных участках. Л.: Министерство угольной промышленности СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1976. 141 с.
2. Инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения кровли на выемочных участках. Л.: Министерство угольной промышленности СССР, Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1991. 102 с.
3. Веселов А.П., Гусельников Л.М., Согрин Б.А. Исследование эффективности способов создания безопасных условий отработки воркутского месторождения путем изменения техногенных факторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 1999. № 1. С. 155-157.
4. Геомеханические и газодинамические процессы в угленосном массиве при высоких скоростях подвигания очистных забоев / Ю.В. Шувалов, Г.И. Коршунов, А.В. Монтиков и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал): геотехнология, геодинамика, геомеханика. 2011. № 6. С. 80-88.
5. Влияние скорости подвигания очистного забоя при отработке выемочного участка 48-8 филиала шахты «Ерунаковская VIII» АО «Южубассуголь» на изменение состояния приконтурного геомассива, влияющего на развитие аварийных ситуаций / В.В. Семенов, В.А. Гоголин, И.А. Ермакова и др. // Уголь. 2023. № 4. С. 37-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-37-41.
6. Клишин В.И., Курленя М.В., Писаренко М.В. Совершенствование геотехнологий и способов управления состоянием массива горных пород на основе гидроразрыва // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 6. С. 23-35.
7. Расширение области применения метода направленного гидроразрыва (НГР) / Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин, А.Ф. Салихов и др. // Уголь. 2014. № 4. С. 18-20. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042014pdf> (дата обращения: 15.07.2023).
8. Сохранение целика и подготовительного штрека за счет разупрочнения кровли вышележащей лавы направленным гидроразрывом / В.И. Клишин, Г.Ю. Оприк, В.А. Гоголин и др. // Уголь. 2023. № 4. С. 23-30. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-23-30.
9. Бартенев Д.В., Курлянчик Г.Ю., Волошина Н.И. Разупрочнение труднообрушаемых кровель угольных пластов / Материалы X международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». ФГБОУ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово, 2021. С. 112(1)-112(4).
10. Бычков Г.В. Динамика ударного разрушения горных пород // Известия УГИ. 1993. № 3. С. 52-57.
11. Методы гидроразрыва труднообрушающейся кровли и угольного пласта для исключения динамических явлений в угольных шахтах / В.И. Клишин, О.В. Тайлаков, Г.Ю. Оприк и др. // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 46-53.
12. Направленный гидроразрыв и оборудование для его проведения / Ю.М. Леконцев, А.А. Хорешок, С.Ю. Ушаков, О.А. Темиряева // Уголь. 2017. № 10. С. 22-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-10-22-24.
13. Разупрочнение труднообрушаемой кровли методом направленного гидроразрыва (НГР) на этапе выхода механизированного комплекса из монтажной камеры / В.И. Клишин, Г.Ю. Оприк, А.Ф. Салихов, Д.В. Пятеникин // Уголь. 2020. № 11. С. 4-8. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-4-8.
14. Каркашадзе Г.Г., Иванов Ю.М. Технология направленной посадки труднообрушаемой кровли путем гидравлического разрыва пород кровли через скважины, пробуренные из выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 11. С. 13-18.
15. ГОСТ Р 58869-2020. Горное дело. Метод направленного гидроразрыва кровли горных пород в угольных шахтах.
16. Патент на полезную модель № 213014 U1 Российская Федерация. Щеленарезной инструмент для образования полостей на стенках скважин / А.А. Дудин, М.В. Лысенко, В.А. Холодков / Патентообладатель ООО НИЦ ИПГП «ПАНК» (RU). № 2022107428; заявл. 22.03.2022, опубл. 18.08.2022.
17. Liu J., Liu C., Li X. Determination of fracture location of double-sided directional fracturing pressure relief for hard roof of large upper goaf-side coal pillars // Energy Exploration & Exploitation. 2020. Vol. 38. No. 1. P. 111-136.
18. Field experiment of destress hydraulic fracturing for controlling the large deformation of the dynamic pressure entry heading adjacent to the advancing longwall face / B. Huang, X. Zhao, J. Ma et al. // Archives of Mining Sciences. 2019. Vol. 64. No. 4. P. 829-848.
19. 3D finite element modeling of directional hydraulic fracturing based on deformation reinforcement theory / J. Deng, Q. Yang, Y. Liu et al. // Computers and Geotechnics. 2018. Vol. 94. P. 118-133.
20. Wu Y.Z., Kang H.P., Branch C.M. Pressure relief mechanism and experiment of directional hydraulic fracturing in reused coal pillar roadway // Journal of China Coal Society. 2017.42(5):1130-1137.
21. Zonal characteristics and its influence factors of working face pressure using roof cutting and pressure-relief mining method with no pillar and roadway formed automatically / M.C. He, Y.J. Wang, J. Yang et al. // Journal of China University of Mining and Technology. 2018.47(6):1157-1165.

Original Paper

UDC 622.333:622-112.2 © A.A. Dudin, M.V. Lysenko, E.V. Aushev, V.A. Karasev, S.N. Nogaev, R.Yu. Valeshnyj, D.I. Moroz, D.V. Shilnikov, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 8, pp. 87-95  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-8-87-95>

Title

**EXPERIENCE OF IMPLEMENTING DIRECTIONAL HYDRAULIC FRACTURING TO MANAGE POORLY CAVING ROOFS AT VORKUTAUGOL COAL FIELDS**

UNDERGROUND MINING

**Authors**

Dudin A.A.<sup>1</sup>, Lysenko M.V.<sup>1</sup>, Aushev E.V.<sup>1</sup>, Karasev V.A.<sup>1</sup>, Nogaev S.N.<sup>2</sup>, Valeshnyj R.Yu.<sup>2</sup>, Moroz D.I.<sup>2</sup>, Shilnikov D.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NITS-IPGP "RANK" LLC [Scientific Research Center – Institute of Design of Mining Enterprises "RANK", Novosibirsk, 630090, Russian Federation

<sup>2</sup> Vorkutaugol JSC, Vorkuta, 169908, Russian Federation

**Authors Information**

**Dudin A.A.**, Director

**Lysenko M.V.**, Technical Director, e-mail: limak2@yandex.ru

**Aushev E.V.**, Deputy Technical Director

**Karasev V.A.**, PhD (Engineering), Innovative Development Specialist

**Nogaev S.N.**, Technical Director

**Valeshnyj R.Yu.**, Deputy Chief Engineer for Technology

"Komsomolskaya" Mine Joint Venture

**Moroz D.I.**, Chief Technologist for Gas Dynamic Phenomena

**Shilnikov D.V.**, Chief Engineer of Zapolyarnaya Mine

**Abstract**

The paper reviews the relevance of the challenges concerned with managing poorly caving roofs at the Vorkuta coal deposit during the stoping operations as well as the possibility of resolving these challenges in operational conditions. Controlled caving of poorly caving roofs as well as research support of these activities have been implemented at the Vorkutaugol operations using the directional hydraulic fracturing method. Evaluation has been made of the efficiency of the implemented technical solutions. Based on the pilot implementation results of the directional hydraulic fracturing method (DFM) to manage poorly caving roofs, a high efficiency of this method has been confirmed, as well as the predictability of the result for the Vorkutaugol conditions.

**Keywords**

Coal deposit, Roof-caving increment, Poorly caving roof, Roof weakening, Directional hydraulic fracturing, Slot-cutting tool, Primordial fissure, Oriented crack, Video endoscopic inspection.

**References**

- Interim operating procedure for selecting the method and parameters for poorly caving roof weakening in production zones. Leningrad, Ministry of Coal Industry of the USSR, All-Union Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying, 1976, 141 p. (In Russ.).
- Guidelines for selecting the method and parameters for roof weakening in production zones. Leningrad, Ministry of Coal Industry of the USSR, All-Union Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying, 1991, 102 p. (In Russ.).
- Veselov A.P., Gusev L.M. & Sogrin B.A. Investigation into the efficiency of methods to create safe conditions for mining the Vorkuta deposit by modifying the man-made factors. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 1999, (1), pp. 155-157. (In Russ.).
- Shuvalov Yu.V., Korshunov G.I., Montikov A.V. et al. Geomechanical and gas-dynamic processes in the coal-bearing rock mass at high speeds of stope advance. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, geotechnology, geodynamics, geomechanics, 2011, (6), pp. 80-88. (In Russ.).
- Sementsov V.V., Gogolin V.A., Ermakova I.A. & Isachenko A.A. Influence of the rate of movement of the treatment face during the development of the excavation site at 48-8 of the Yerunakovskaya – VIII mine branch of Yuzhkuzbassugol JSC on the change in the state of the near-contour geomass affecting the development of emergency situations. *Ugol'*, 2023, (4), pp. 37-41. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-37-41.
- Klishin V.I., Kurlenya M.V. & Pisarenko M.V. Enhancement of geotechnologies and methods to control rock mass condition based on hydraulic fracturing. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2013, (6), pp. 23-35. (In Russ.).

7. Lekontsev Yu.M., Sazhin P.V., Salikhov A.F. & Isambetov V.F. Extending the scope of application for the directional hydraulic fracturing (DFH) method. *Ugol'*, 2014, (4), pp. 18-20. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042014pdf> (accessed 15.07.2023). (In Russ.).

8. Klishin V.I., Opruk G.Yu., Gogolin V.A. & Svyazev S.I. Preservation of the pillar and the gate road by weakening the roof of the overlying longwall face with directional hydraulic fracturing. *Ugol'*, 2023, (4), pp. 23-30. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-23-30.

9. Bartenev D.V., Kurlyanchik G.Yu. & Voloshina N.I. Weakening of poorly caving hard-to-collapse roofs of coal seams / Proceedings of X International Scientific and Practical Conference "Modern Trends and Innovations in Science and Production", Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 2021, pp. 112(1)-112(4). (In Russ.).

10. Bychkov G.V. Dynamics of impact fracture of rocks. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 1993, (3), pp. 52-57. (In Russ.).

11. Klishin V.I., Taylakov O.V., Opruk G.Yu. et al. Methods of hydraulic fracturing of poorly caving roof and coal seams to eliminate dynamic phenomena in coal mines. *Gornaya promyshlennost'*, 2022, (6), pp. 46-53. (In Russ.).

12. Lekontsev Yu.M., Khoreshok A.A., Ushakov S.Yu. & Temiriaeva O.A. Directional hydraulic fracturing and equipment modernization in order to perform it. *Ugol'*, 2017, (10), pp. 22-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2017-10-22-24.

13. Klishin V.I., Opruk G.Yu., Salihov A.F. & Pyaterikin D.V. Weakening of hard-tobreak roof formations using directional hydraulic fracturing (DHF) when the mechanized complex leaves the set-up entry. *Ugol'*, 2020, (11), pp. 4-8. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-4-8.

14. Karkashadze G.G. & Ivanov Yu.M. Technology of directed caving of poorly caving roofs by hydraulic fracturing of roof rocks through boreholes drilled from the mined-out space. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*, 2014, (11), p. 13-18. (In Russ.).

15. GOST R 58869-2020. Mining. Method of directional hydraulic fracturing of roof softening in coal mines.

16. Dudin A.A., Lysenko M.V. & Kholodkov V.A. Slot cutting tool to create cavities in borehole walls, Useful model patent No. 213014 U1, Russian Federation, Patent holder: RANK Research and Development Centre / Design Institute for Mining Operations (RU), Applic. No. 2022107428; claim 22.03.2022, publ. 18.08.2022.

17. Liu J., Liu C. & Li X. Determination of fracture location of double-sided directional fracturing pressure relief for hard roof of large upper goaf-side coal pillars. *Energy Exploration & Exploitation*, 2020, Vol. 38, (1), pp. 111-136.

18. Huang B., Zhao X., Ma J. et al. Field experiment of distress hydraulic fracturing for controlling the large deformation of the dynamic pressure entry heading adjacent to the advancing longwall face. *Archives of Mining Sciences*, 2019, Vol. 64, (4), pp. 829-848.

19. Deng J., Yang Q., Liu Y. & Liu Yi. 3D finite element modeling of directional hydraulic fracturing based on deformation reinforcement theory. *Computers and Geotechnics*, 2018, (94), pp. 118-133.

20. Wu Y.Z., Kang H.P. & Branch C.M. Pressure relief mechanism and experiment of directional hydraulic fracturing in reused coal pillar roadway. *Journal of China Coal Society*, 2017.42(5):1130-1137.

21. He M.C., Wang Y.J., Yang J. et al. Zonal characteristics and its influence factors of working face pressure using roof cutting and pressure-relief mining method with no pillar and roadway formed automatically. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2018.47(6):1157-1165.

**For citation**

Dudin A.A., Lysenko M.V., Aushev E.V., Karasev V.A., Nogaev S.N., Valeshnyj R.Yu., Moroz D.I. & Shilnikov D.V. Experience of implementing directional hydraulic fracturing to manage poorly caving roofs at Vorkutaugol coal fields. *Ugol'*, 2023, (8), pp. 87-95. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-87-95.

**Paper info**

Received June 12, 2023

Reviewed July 14, 2023

Accepted July 26, 2023