

# Поинтервальный гидроразрыв угольного пласта для интенсификации процесса дегазации\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-16-22>

## КЛИШИН В.И.

Доктор техн. наук, профессор, член-корр. РАН,  
директор Института угля ФИЦ УУХ СО РАН,  
650065, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: [klishinvi@icc.kemsc.ru](mailto:klishinvi@icc.kemsc.ru)

## ОПРУК Г.Ю.

Канд. техн. наук, заведующий лабораторией  
«Эффективные технологии разработки угольных  
месторождений» Института угля ФИЦ УУХ СО РАН,  
650065, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: [opruk@yandex.ru](mailto:opruk@yandex.ru)

## КЛИШИН С.В.

Канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
Института горного дела  
им. Н.А. Чинакала СО РАН,  
630091, г. Новосибирск, Россия,  
e-mail: [sv.klishin@gmail.com](mailto:sv.klishin@gmail.com)

## СВЯЗЕВ С.И.

Старший инженер  
Института угля ФИЦ УУХ СО РАН,  
650065, г. Кемерово, Россия

Рассмотрен метод поинтервального гидроразрыва (ПГР) угольного пласта из необсаженных скважин для интенсификации процесса дегазации. Приведены технологические схемы его реализации в очистном и подготовительном забоях. Приведены результаты численного моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния горной породы в окрестности скважины при нагружении ее пакерными уплотнителями. Установлено влияние параметров разрывного устройства, позволяющих обеспечить возникновение поперечной трещины относительно оси скважины за счет растягивающих напряжений в массиве.

**Ключевые слова:** подземная разработка месторождений, дегазация, гидроразрыв, разрывное устройство, герметизатор, клапан, скважина, численное моделирование, метод конечных элементов, контактная задача.

**Для цитирования:** Поинтервальный гидроразрыв угольного пласта для интенсификации процесса дегазации / В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, С.В. Клишин и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 16-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-16-22>.

## ВВЕДЕНИЕ

Основным и опасным спутником добычи угля является угольный метан, который бесцветен, не имеет запаха, и, главное, он с воздухом образует взрывоопасные смеси. Метан угольных пластов был и остается главной опасностью для горняков, его внезапные взрывы при ведении подземных горных работ являются наиболее опасными и крупномасштабными авариями во всем мире. Промышленная безопасность подземной добычи угля не исключает травматизма со смертельным исходом. Об этом свидетельствует крупная авария, которая произошла 25.11.2021 на шахте «Листвяжная» в Кузбассе. Шахта «Листвяжная» была оснащена новейшей техникой и системой безопасности, а по итогам 2020 г. на предприятии достигнуты рекордные среднесуточные нагрузки на один очистной забой – 12,6 тыс. т. Причинами крупных, как правило, аварий является совокупность факторов – природного и человеческого. Разработкой методов извлечения метана в угольных пластах до ведения очистных и подготовительных работ занимается целый ряд организаций [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

\* Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1191).

Вследствие малого объема дегазационных работ и недостаточной их эффективности на многих газообильных шахтах России сохраняется газовый барьер, препятствующий дальнейшему повышению скоростей проведения выработок и больших нагрузок на очистные забои. По этой причине в угледобывающей промышленности сложилась ситуация, когда технические возможности очистных комплексов на пологих пластах в несколько раз превышают допустимую нагрузку на лаву по газовому фактору. Дальнейшее повышение эффективности, технической и экологической безопасности подземной разработки высокогазоносных угольных месторождений неразрывно связано с разработкой комплекса специальных средств стимулирования газоотдачи неразгруженных угольных пластов. По мере увеличения объемов добычи угля возрастают роль и значение технологии предварительной дегазации угля, однако до настоящего времени эффективных технических решений задачи дегазации нет ни в России, ни за рубежом.

### ПОИНТЕРВАЛЬНЫЙ ГИДРОРАЗРЫВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

По аналогии с нефтяными и газовыми месторождениями предлагались технологии применения дегазации угольных пластов с поверхности через вертикальные и наклонно-направленные дегазационные скважины. Это требует разработки специального бурового оборудования, поэтому направленные скважины бурятся с поверхности в тех случаях, когда угольный пласт залегает неглубоко от поверхности и затраты на бурение таких скважин сопоставимы с затратами на бурение скважин из горных выработок. Установлено, что дебит горизонтальных скважин может в 10 раз превышать объемы, получаемые из вертикальных скважин, а из веера горизонтальных скважин дебит увеличивается в разы. Практика ведения таких работ в США показывает, что горизонтальное бурение по эффективности дегазации выработок в семь раз превосходит бурение типовых вертикальных скважин на участке такой же площади [9, 10].

Вопросы создания сложнейшего бурового оборудования для реализации технологии дегазации с поверхности на опыте работы зарубежных стран подробно изложены в работах [11, 12, 13]. Выполнен анализ и масштабов ведения работ по дегазации угольных пластов с поверхности в ряде зарубежных стран (США, Австралия, Китай, Украина, Казахстан). Применение методов дегазации с поверхности является трудоемким и малоэффективным в связи с тем, что такие скважины должны быть обсажены и закреплены, особенно на участках изменяющейся прочности массива и закруглениях при переходе скважины на горизонтальную часть. Серьезные проблемы представляет обеспечение механической устойчивости пластовых скважин, как вертикальных, так и, особенно, не обсаженных горизонтальных. Кроме того, это требует разработки сложнейших устройств навигации и разворота скважин, которые после их прохождения могут схлопываться. Проблемы при бурении по обводненным пластам заключаются в необходимости откачки воды с газом. Утилизация такой воды на поверхности представ-

ляет значительные трудности, что приводит к засолению поверхности у скважины. Проводить аналогию с добычей природного газа или нефти с применением гидроразрыва горного массива с извлечением метана в угленосной толще некорректно по той причине, что на нефтяных и газовых месторождениях имеется сформированный природный проницаемый коллектор, а гидроразрыв применяется для увеличения раскрытия уже имеющихся трещин или увеличения активной пористой площади фильтрации.

Чувствительность угольного пласта на образование новых трещин резко отличается от характеристик нефтяных и газовых месторождений из-за наличия в угольном массиве естественных трещин – кливажа. Формы их, как правило, распределяются случайным образом. Для расширения зоны воздействия из одной скважины и увеличения радиуса воздействия на массив через отдельную дегазационную скважину было предложено использовать метод воздействия на угольный массив направленным гидроразрывом пласта с поверхности. В дальнейшем этот метод применялся в различных вариантах из подземных горных выработок через существующие дегазационные скважины, что является предметом многочисленных теоретических и прикладных исследований [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Его сущность состоит в формировании в угольном пласте системы трещин гидроразрыва заданной конфигурации, предназначенных для частичной разгрузки массива горных пород, создания в нем фильтрационных каналов для дренирования (осушения) пород и их дегазации. Этот метод является на сегодняшний день самым эффективным способом повышения дебита скважины за счет увеличения проницаемости пласта.

В нормативном документе [21] обоснованы необходимые мероприятия ведения работ по дегазации угольных пластов, а также возможные схемы их реализации для повышения производительности и безопасности труда шахтеров.

Газоотдача угольных пластов зависит от их свойств, определяющих необходимость, объемы и методы активного воздействия на пласт с целью интенсификации процессов дегазации. Это в первую очередь пористость и трещиноватость угольных пластов, сорбционные и теплофизические свойства углей, газопроводность углей. Газоотдающую способность неразгруженных угольных пластов можно повысить путем улучшения их коллекторских свойств на основе метода поинтервального гидроразрыва, представленного в работах [14, 15]. Разрывное устройство (двусторонний пакер) включает в себя два упруго расширяющихся рукава (пакера), между которыми установлен межпакерный клапан, предназначенный для регулирования давления рабочей жидкости в гидросистеме (рис. 1). Он служит для своевременного пакерования скважины в зоне между упруго расширяющимися рукавами и дальнейшего повышения давления в этой зоне до величины, достаточной для гидроразрыва. Перемещая разрывное устройство вдоль скважины, можно производить гидроразрывы водой или водными растворами в заданных участках угольного пласта. При осуществлении поинтервального гидроразрыва в угольном пласте при бурении

возникают изменчивость сечения дегазационных скважин и отклонения их сечения от круговой формы [19], что компенсируется упруго расширяющимися рукавами.

На начальном этапе происходит ввод разрывного устройства в скважину (см. рис. 1а) с последующей ее герметизацией за счет увеличения диаметра пакерных рукавов (уплотнений) при подаче в них рабочей жидкости (см. рис. 1б). При дальнейшем повышении давления происходит срабатывание клапана, установленного между двумя пакерами, что приводит к образованию одной или нескольких трещин гидроразрыва (см. рис. 1в). На последнем этапе происходит разгерметизация скважины и перемещение разрывного устройства (см. рис. 1г). Особое значение в данной схеме придается конструкции межпакерного клапана, который обеспечивает подачу рабочей жидкости в загерметизированный участок скважины. На рис. 2 представлена технологическая схема ПГР угольного пласта из подготовительной выработки через необсаженную скважину. Стендовыми исследованиями, выполненными в Австралии, показано, что выбор между возникновением продольной и поперечной трещин определяется длиной  $L$  изолированной полости между пакерами и диаметром скважины  $d$ : при  $L < 2d$  образуется единичная поперечная трещина; при  $2d < L < 4d$  образуются множественные трещины различного типа; при  $L > 4d$  образуется единичная продольная трещина [20].

Распор пакеров сжимает горизонтальные трещины и исключает разрыв пласта по этим трещинам на более удаленное расстояние, где вертикальные трещины пересекают горизонтальные и в них под давлением проникает жидкость, раскрывая существующие трещины. В случае реализации поинтервального гидроразрыва вкрест скважины, пробуренной параллельно очистному забою, при его приближении происходит дальнейшее раскрытие искусственно созданных трещин для выхода оставшегося метана. Новые образованные вертикальные трещины под действием горного давления не схлопываются, а развиваются (сохраняются). Поинтервальный гидроразрыв обеспечивает увеличение трещиноватости и газопроницаемости угольного пласта, а дальнейшее использование непосредственно энергии горного давления сохраняет их раскрытое состояние. Во время операции гидроразрыва пласта создаваемая трещина распространяется по пути наименьшего сопротивления перпендикулярно направлению действия минимального главного напряжения.

После разрыва под воздействием давления жидкости трещина увеличивается, возникает ее связь с системой естественных трещин, не вскрытых скважиной, и с зона-

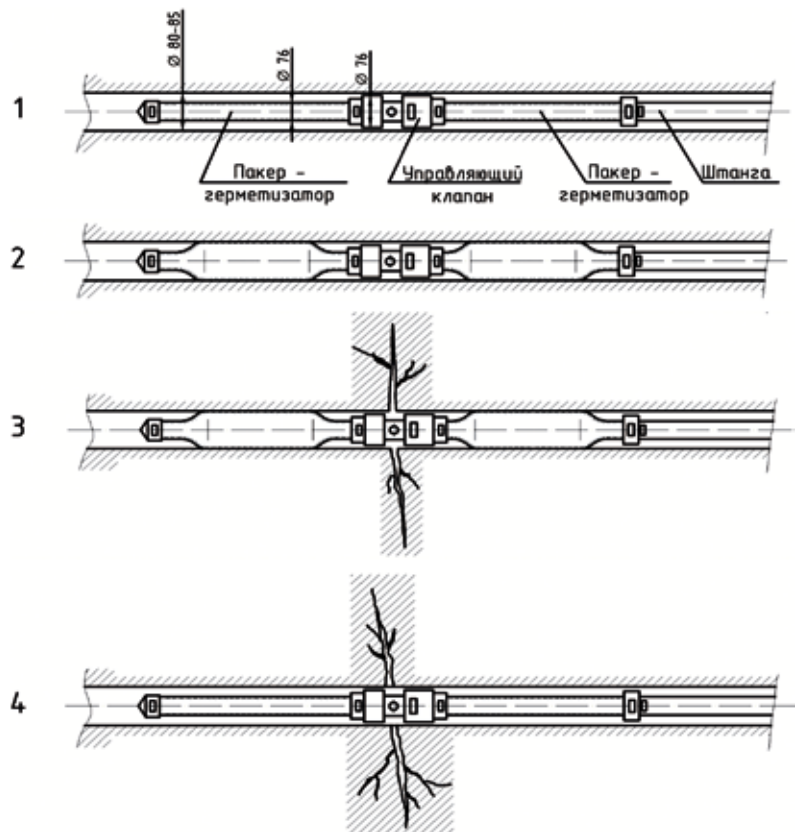


Рис. 1. Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного пласта: 1 – ввод пакера в скважину; 2 – герметизация скважины; 3 – гидрорасчленение угольного массива; 4 – разгерметизация скважины и перемещение пакера

Fig. 1. Technological diagram of implementing interval hydraulic fracturing of a coal seam: 1 – introduction of the packer into the borehole; 2 – sealing the borehole; 3 – hydraulic fragmentation of the coal seam; 4 – unsealing of the borehole and relocation of the packer

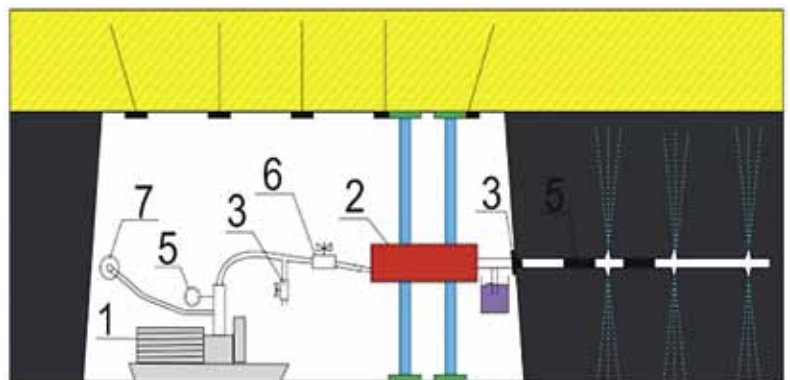


Рис. 2. Технологическая схема ПГР: 1 – насос, 2 – буровой станок; 3 – уплотнитель устья, 4 – разрывное устройство; 5 – манометр, 6 – вентиль высоконапорный, 7 – противопожарный трубопровод

Fig. 2. Design of the interval hydraulic fracturing unit: 1 – pump, 2 – drilling rig, 3 – wellhead seal, 4 – fracturing device; 5 – pressure gauge, 6 – high-pressure valve, 7 – fire line

ми повышенной проницаемости; таким образом, расширяется область пласта, дренируемая скважиной. В результате ПГР пластакратно повышаются проницаемость и дебит добывающих скважин за счет снижения гидравличе-

ских сопротивлений в призабойной зоне и увеличения фильтрационной поверхности скважины, а также увеличивается конечная газоотдача за счет приобщения к выработке слабодренлируемых зон и пропластков.

Аналогичным образом метод ПГР реализуется в подготовительном забое через передовую или барьерные скважины (рис. 3).

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
РАЗРЫВНОГО УСТРОЙСТВА**

Изучению напряженно-деформированного состояния массива горной породы и процесса зарождения и развития в нем продольных или поперечных трещин гидроразрыва при функционировании пакерного устройства посвящено большое количество исследований [18, 19, 20, 21, 22]. Авторами разработаны численные модели зарождения и распространения трещины гидроразрыва, позволяющие определить давление, вызывающее разрушение породы, а также положение, ориентацию и форму зародышевой трещины.

Результаты численных расчетов процесса нагружения стенок скважины расширяющимися под действием внутреннего давления пакерными уплотнителями получены с использованием метода конечных элементов в рамках линейной теории упругости в трехмерной осесимметричной постановке программным комплексом COMSOL Multiphysics® [23]. Горная порода и пакерные уплотнители представлены разномодульными упругими материалами (рис. 4).

При взаимодействии уплотнителей со стенкой скважины рассматривался абсолютно жесткий контакт без проскальзывания. Горная порода представлена упругим материалом с модулем Юнга  $E_c = 5,4$  ГПа и коэффициентом Пуассона  $\nu_c = 0,16$ , характерными для угля. Материал уплотнителей – резина с модулем Юнга  $E_p = 0,5$  МПа и коэффициентом Пуассона  $\nu_p = 0,45$ . Из расчетов установлено, что растягивающие напряжения в материале возникают в области, ограниченной уплотнениями ( $-h_e/2 < z < h_e/2$ ) и примыкающей к стенке скважины. Для примера на рис. 5 представлено распределение осевых напряжений  $\sigma_z$  при значении параметра  $h_e = 20$  см.

Была проведена серия расчетов для различных значений расстояния  $h_e = 10, 20, 30$  и  $40$  см. Установлено, что максимум давления достигается на концах уплотнителей.

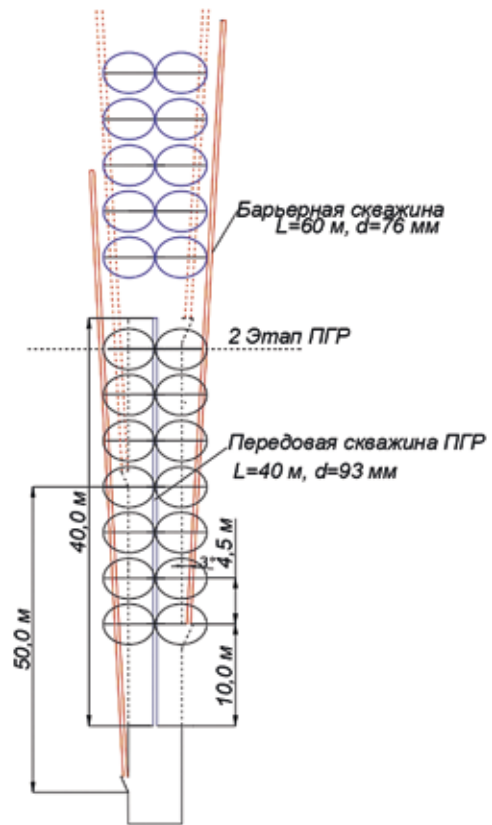


Рис. 3. Технологическая схема реализации метода ПГР в подготовительном забое через барьерные скважины на передовую скважину

Fig. 3. Technological diagram for the implementation of the interval hydraulic fracturing technique in the development face through the barrier boreholes to the advanced borehole

Максимум значений радиальных растягивающих напряжений  $\sigma_r$  достигается вблизи стенок скважины (на расстоянии от 8 до 15 см), уменьшаясь от значения 0,53 МПа при  $h_e = 10$  см до значения 0,11 МПа при  $h_e = 40$  см (рис. 6а). При этом максимум осевых напряжений  $\sigma_z$  достигается на стенке скважины и изменяется в пределах от 0,42 МПа до 2,6 МПа при  $h_e = 40$  см и  $h_e = 10$  см соответственно (рис. 6б).

Установлено, что в середине одного из уплотнителей радиальные напряжения являются сжимающими, и их значения не зависят от расстояния между уплотнителями,

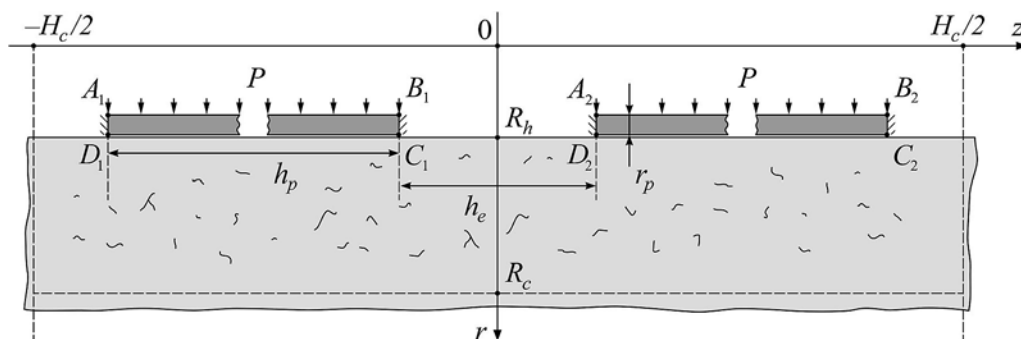


Рис. 4. Схема численного расчета и условия нагружения

Figure 4. Numerical calculation scheme and loading conditions

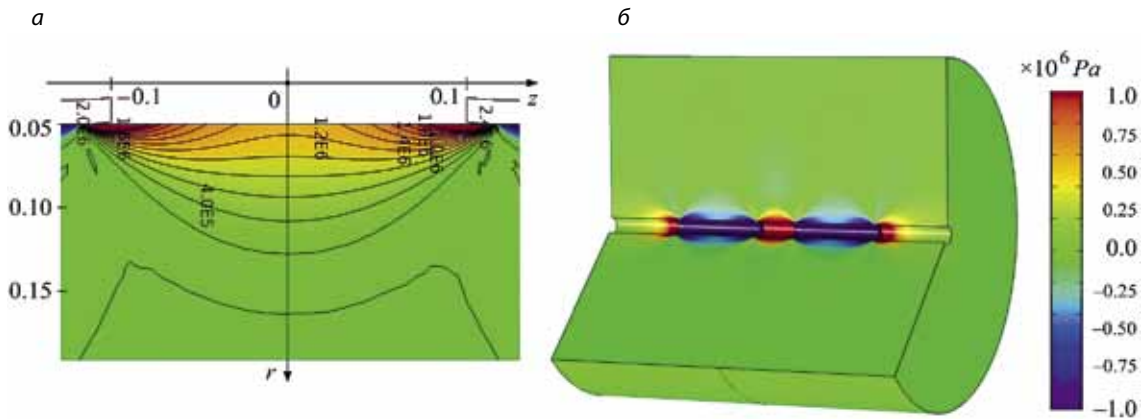


Рис. 5. Распределение осевых напряжений  $\sigma_z$  на конечном шаге нагружения: а – сечение плоскостью Orz; б – трехмерная картина нагружения

Fig. 5. Distribution of axial stresses  $\sigma_z$  at the final loading step: section with Orz plane (a); a 3D view of loading (b)

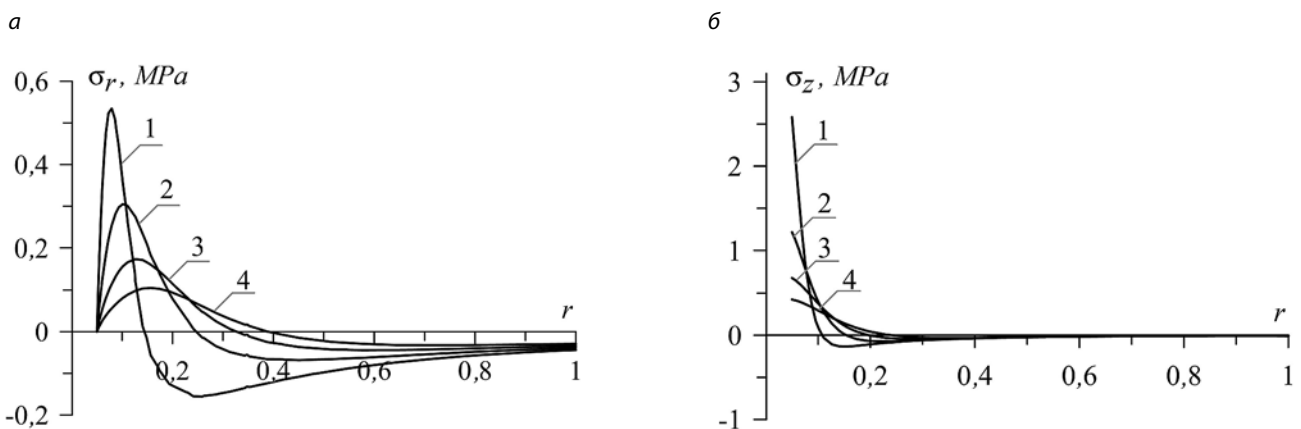


Рис. 6. Эпюры радиальных  $\sigma_r$  (а) и осевых  $\sigma_z$  (б) напряжений в сечении  $z = 0$  для значений расстояния между уплотнителями  $h_e = 10$  (1); 20 (2); 30 (3) и 40 см (4)

Fig. 6. The radial  $\sigma_r$  (a) and axial  $\sigma_z$  (b) stress diagrams in section  $z = 0$  for the following values of the seal spacing  $h_e = 10$  (1); 20 (2); 30 (3) and 40 cm (4)

а максимум сжимающего усилия достигается на контакте уплотнителя и стенки скважины. Осевые напряжения также являются сжимающими, а их величина не превышает 0,31 МПа.

Влияние расстояния между уплотнениями на напряженное состояние стенки скважины показано на рис. 7. Здесь приведены значения максимальных растягивающих осевых напряжений  $s_z$  на стенке скважины при значениях длин уплотнителей  $h_p$ , равных 40, 60, 80 и 100 см (отложены по оси абсцисс), и при расстоянии между ними  $h_e = 10, 20, 30$  и 40 см (графики с номерами 1, 2, 3, 4 соответственно). Видно, что при увеличении расстояния между уплотнениями значения максимальных растягивающих напряжений в контрольной точке снижаются, в то время как увеличение длины уплотнителя не оказывает существенного влияния на значения  $s_z$ .

Представленная схема расчета по шагам нагружения с учетом формирования области контакта упругих уплотнений и стенки скважины позволяет описать распределение давлений на границе «уплотнения – горная порода», а также исследовать напряженно-деформированное со-

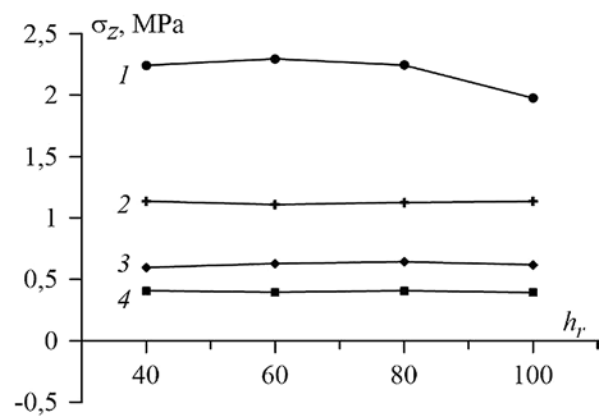


Рис. 7. Максимальные растягивающие напряжения  $s_z$  на стенках скважины для различных длин уплотнений  $h_p$  (ось абсцисс) при расстояниях между ними  $h_e = 10$  (график 1); 20 (2); 30 (3) и 40 см (4)

Fig. 7. Maximum tensile stresses  $s_z$  at the borehole walls for different seal lengths  $h_p$  (X-axis) with the spacing between them  $h_e = 10$  (Graph 1); 20 (2); 30 (3); 40 cm (4)

стояние геосреды при заданном рабочем давлении в пакере в зависимости от расстояния между уплотнителями. Полученные результаты позволяют понять физические процессы, происходящие в зоне работы клапана, установленного между двумя пакерами.

### Выводы

Для повышения эффективности дегазационных работ и снижения газообильности угольных шахт, для достижения высоких скоростей проведения подготовительных выработок и высоких нагрузок на очистные забои предложен метод поинтервального гидроразрыва угольного пласта для интенсификации газоотдачи угольного пласта из необсаженных скважин, пробуренных из подготовительных выработок.

Представленная на основе метода конечных элементов численная схема позволяет изучить контактное взаимодействие расширяющихся под действием внутреннего давления пакерных уплотнителей со стенками скважины, а также напряженно-деформированное состояние горной породы в окрестности скважины. Расчеты показали, что в процессе нагружения на поверхности контакта реализуются давления, которые приводят к возникновению существенных растягивающих осевых напряжений в геоматериале в окрестности скважины.

Показано влияние длин уплотнителей и расстояния между ними на значения максимальных растягивающих осевых напряжений на стенке скважины. Выполнено обоснование параметров и установлено, что определяющими являются размеры изолированной полости между пакерами и диаметром скважины для образования направленных поперечных относительно оси скважины трещин.

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1191).

### Список литературы

1. Фрактальная структура нарушенности каменных углей и их предрасположенность к газодинамическому разрушению / К.Н. Трубецкой, А.Д. Рубан, С.Д. Викторов и др. // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431. № 6. С.1-4.
2. Трубецкой К.Н., Рубан А.Д., Забурдяев В.С. Методология обоснования способов и параметров дегазации угольных шахт // ФТПРПИ. 2011. № 1. С. 3-11.
3. Метан в угольных шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев, Г.С. Забурдяев и др. М.: ИПКОН РАН, 2006. 312 с.
4. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. М.: Недра, 1979. 271 с.
5. Управление газовыделением в угольных шахтах при ведении очистных работ / И.В. Сергеев, В.С. Забурдяев, А.Т. Айруни и др. М.: Недра, 1992. 256 с.
6. Сластунов С.В. Заблаговременная дегазация и добыча метана из угольных месторождений. М.: Издательство МГГУ, 1996. 441 с.
7. Проблемы разработки метаноносных пластов в Кузнецком угольном бассейне / Ю.Н. Малышев, Ю.Л. Худин, М.П. Васильчук и др. М.: Издательство Академии горных наук, 1997. 463 с.
8. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Федунец Б.И. Перспективы добычи метана в Печорском угольном бассейне. М.: Издательство МГГУ, 2004. 557 с.
9. Сикора П., Смыслов Д., Плетнер О. Особенности заблаговременной дегазации угольных пластов методом бурения скважин с поверхности // Глюкауф. 2008. № 1. С. 39-45.
10. Дуган Т., Арнольд Э. GAS! Страницы истории добычи угольного метана в бассейне Сан-Хуан. М.: CBM Partners Corporation, 2008. 208 с.
11. Ремезов А.В., Торро В.О. Анализ развития технологии и способов направленного бурения дегазационных скважин: вертикальных, наклонных и горизонтальных // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 1. С. 53-74.
12. Шумилов В.А., Аксельрод С.М., Шумилов А.В. Геофизические методы исследования скважин при разведке и добыче метана из угольных пластов: монография. Пермь: Пермский государственный национально-исследовательский университет. 2014. 138 с.
13. Пармузин П.Н. Зарубежный опыт освоения ресурсов метана угольных пластов. Ухта: УГТУ. 2017. 109 с.
14. Разупрочнение угольного пласта в качестве метода интенсификации выделения метана / В.И. Клишин, Д.И. Кокоулин, Б. Кубанычбек и др. // Уголь. 2010. № 4. С. 40-42. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042010.pdf> (дата обращения: 15.11.2022).
15. Klishin V.I., Opruk G.Y., Tatsienko A.L. Technology and means of a coal seam interval hydraulic fracturing for the seam degassing intensification // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2017. Vol. 53. Is. 1. P. 012019.
16. Directional hydraulic fracturing to control hard-roof rockburst in coal mines / F. Jun, D. Linming, H. Hua et al. // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 22. Is. 2. P. 177-181.
17. 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.
18. Интенсификация подземной дегазации угольных пластов методом гидроразрыва / М.В. Курленя, С.В. Сердюков, А.В. Патутин и др. // ФТПРПИ. 2017. № 6. С. 2-9.
19. Jeffrey R., Mills K., Zhang X. Experience and results from using hydraulic fracturing in coal mining / Proc. 3rd Int. Workshop on Mine Hazards Prevention and Control, Brisbane, 2013. P. 110-116.
20. El Rabaa W. Experimental study of hydraulic fracture geometry initiated from horizontal wells / SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Society of Petroleum Engineers, 1989.
21. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2012. 250 с.
22. Методы моделирования зарождения и распространения трещин / С.Г. Черный, В.Н. Лапин, Д.В. Есипов и др. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016. 312 с.
23. COMSOL Multiphysics® Modeling Software. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comsol.com> (дата обращения: 15.11.2022).

Original Paper

UDC 622.245:539.3 © V.I. Klishin, G.Yu. Opruk, S.V. Klishin, S.I. Svyazev, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 16-22  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-16-22>

**Title****INTERVAL HYDRAULIC FRACTURING OF A COAL SEAM TO INTENSIFY THE DEGASSING PROCESS****Authors**

Klishin V.I.<sup>1</sup>, Opruk G.Yu.<sup>1</sup>, Klishin S.V.<sup>2</sup>, Svyazev S.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Coal Institute, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation

<sup>2</sup> Mining Institute named after N.A. Chinakal of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

**Authors Information**

**Klishin V.I.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RAS Corresponding, Director, e-mail: [klishinvi@icc.kemsc.ru](mailto:klishinvi@icc.kemsc.ru)

**Opruk G.Yu.**, PhD (Engineering), Head of Efficient Coal Deposits Development Laboratory, e-mail: [opruk@yandex.ru](mailto:opruk@yandex.ru)

**Klishin S.V.**, PhD (Engineering), Senior researcher, e-mail: [sv.klshin@gmail.com](mailto:sv.klshin@gmail.com)

**Svyazev S.I.**, Senior engineer

**Abstract**

The paper discussed the method of interval hydraulic fracturing (IHF) of a coal seam from uncased boreholes to intensify the process of degassing. Technological schemes of its implementation in the production and development faces are provided. The results of numerical modeling of the stress-and-strain state of the rocks near the borehole where packer seals are installed using the finite element method are presented in the paper. The effect of the fracturing device parameters is determined, allowing to ensure the development of a transverse fracture in relation to the borehole axis due to tensile stresses in the rock mass.

**Keywords**

Underground mining, Degassing, Hydraulic fracturing, Fracturing device, Seal, Valve, Borehole, Numerical modeling, Finite element method, Contact problem.

**References**

- Trubetskoy K.N., Ruban A.D., Viktorov S.D. et al. Fractal structure of hard coal disturbances and their susceptibility to gas-dynamic fracture. *Doklady Akademii nauk*, 2010, Vol. 431 (6), pp. 1-4. (In Russ.).
- Trubetskoy K.N., Ruban A.D. & Ziburdaev V.S. Methodology of justification methods and parameters of degassing in coal mines. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2011, (1), pp. 3-11. (In Russ.).
- Ruban A.D., Ziburdaev V.S., Ziburdaev G.S. & Matveyenko N.G. Methane in coal and ore mines in the Russian Federation: forecast, extraction and utilization. Moscow, IPKON RAS Publ., 2006, 312 p. (In Russ.).
- Nozhkin N.V. Advance degassing of coal deposits. Moscow, Nedra Publ., 1979, 271 p. (In Russ.).
- Sergeyev I.V., Ziburdaev V.S., Ayruni A.T. et al. Control of gas emissions in coal mines during the stoping operations. Moscow, Nedra Publ., 1992, 256 p. (In Russ.).
- Slastunov S.V. Advance degassing and methane recovery from coal deposits. Moscow, MGGU Publ., 1996, 441 p. (In Russ.).
- Malyshev Yu.N., Khudin Yu.L., Vasilchuk M.P. et al. Challenges in mining methane-bearing seams in the Kuznetsk coal basin. Moscow, Academy of Mining Sciences Publ., 1997, 463 p. (In Russ.).
- Puchkov L.A., Slastunov S.V. & Fedunets B.I. Prospects for methane production in the Pechora coal basin. Moscow, MGGU Publ., 2004, 557 p. (In Russ.).
- Sikora P., Smyslov D. & Pletner O. Specific features of advance degassing of coal seams by drilling boreholes from the day surface. *Gluckauf*, 2008, (1), pp. 39-45. (In Russ.).
- Dugan T., Arnold E. GAS! Pages of the history of coal methane production in the San Juan basin. Moscow: CBM Partners Corporation, 2008. 208 p.
- Remezov A.V. & Torro V.O. Analysis of development of technology and methods of directional drilling of degassing boreholes: vertical, inclined and horizontal. *Vestnik Nauchnogo centra VostNil po promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti*, 2019, (1), pp. 53-74. (In Russ.).

- Shumilov V.A., Axelrod S.M. & Shumilov A.V. Geophysical well logging techniques in exploration and production of coal bed methane: a monograph. Perm, Perm State National Research University, 2014, 138 p. (In Russ.).
- Parmuzin P.N. International experience in development of coal bed methane resources. Ukhta, Ukhta State Technical University, 2017, 109 p. (In Russ.).
- Klshin V.I., Kokoulin D.I., Kubanychbek B. & Durnin M.K. Weakening of coal seams as a method to intensify methane release. *Ugol'*, 2010, (4), pp. 40-42. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042010.pdf> (accessed 15.11.2022). (In Russ.).

- Klshin V.I., Opruk G.Y., Tatsienko A.L. Technology and means of a coal seam interval hydraulic fracturing for the seam degassing intensification. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2017, Vol. 53, (1), pp. 012019.

- Jun F., Linming D., Hua H. et al. Directional hydraulic fracturing to control hard-roof rockburst in coal mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2015, Vol. 22, (2), pp. 177-181.

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

- Kurlenya M.V., Serdyukov S.V., Patutin A.V. & Shilova T.V. Intensification of underground degassing of coal seams using hydraulic fracturing. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2017, (6), pp. 2-9. (In Russ.).

- Jeffrey R., Mills K. & Zhang X. Experience and results from using hydraulic fracturing in coal mining / Proc. 3rd Int. Workshop on Mine Hazards Prevention and Control, Brisbane, 2013. P. 110-116.

- El Rabaa W. Experimental study of hydraulic fracture geometry initiated from horizontal wells / SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Society of Petroleum Engineers, 1989.

- Guidelines for degassing coal mines. Series 05. Issue 22. Moscow, Scientific Technical Center of Industrial Safety Problems Research CJSC, 2012, 250 p. (In Russ.).

- Cherniy S.G., Lapin V.N., Yesipov D.V. & Kuranakov D.S. Modelling methods of fracture initiation and propagation. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2016, 312 p. (In Russ.).

- COMSOL Multiphysics® Modeling Software. [Electronic resource]. Available at: <https://www.comsol.com> (accessed 15.11.2022).

**Acknowledgements**

The research was carried out as part of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022 (Agreement No. 075-15-2022-1191).

**For citation**

Klshin V.I., Opruk G.Yu., Klshin S.V. & Svyazev S.I. Interval hydraulic fracturing of a coal seam to intensify the degassing process. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 16-22. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-16-22.

**Paper info**

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022