

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН ГИДРОРАЗРЫВА

М.В. Курленя¹, В.Е. Миренков¹

¹ Институт горного дела им. Н.А. Чинакапла СО РАН, Новосибирск, Россия, e-mail: mirenkov@misd.ru

Аннотация: Рассмотрены изолированные прямолинейные трещины конечной длины в линейном поле нетронутого массива пород, ориентация которых определяется углом наклона к вертикальной линии. Статический аспект таких ослаблений предполагает классический подход, когда априори задавались необходимые параметры, характеризующие горный массив с математическим разрезом. Кинематический аспект предполагает учет собственного веса пород на раскрытие трещин, прорастание ее связано с динамическим аспектом, определяющим разрушение пород. Для каждого из аспектов определяется несимметрия деформирования пород и ее влияние на процесс выбора точки начала разрушения и прорастания трещины. Рассматривается ансамбль взаимовлияющих трещин гидроразрыва пласта и направления их распространения.

Ключевые слова: массив горных пород, собственный вес, трещина, берега, смещение, движение, разрушение.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-00533).

Для цитирования: Курленя М. В., Миренков В. Е. Влияние напряженно-деформированного состояния массива горных пород на направление развития трещин гидроразрыва // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 5–13. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-5-13.

Influence of rock mass stress state on propagation direction of hydraulic fractures

M.V. Kurlenya¹, V.E. Mirenkov¹

¹ Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, e-mail: mirenkov@misd.ru

Abstract: This study is devoted to the analysis of isolated straight finite-length cracks in linear field of intact rock mass. The cracks are modeled by mathematical cuts orientation of which is governed by their inclination angle relative to the vertical. The static aspect of such weakening supposes a classical approach with setting of the a priori parameters that characterize rock mass with mathematical cut. It is important that such problems and determination of stress intensity factors belong to the class of ill-posed problems as they operate infinite stresses and zero displacements at crack tips. The kinematic aspect of rock deformation in the vicinity of cracks assumes taking into account influence exerted by rock mass deadweight on the displacement of crack edges. The influence zone of mathematical cut is determined using the classical static approach. In the influence zone

of crack, vertical fibers are selected and subjected to loading by deadweight of rocks. In the roof, the deadweight direction is opposite to the action of stresses on the crack edges, while in the floor, these directions coincide, which deepens dissymmetry of deformation. In any case, the computational accuracy requires taking into account deadweight of rocks, which makes it possible to obtain analytically (in the first approximation) displacements of crack edges and to refine characteristics of rocks by any program of numerical calculation. The authors use phenomenological theory to calculate displacements based on in-situ values of edges. This theory allows solution of inverse problems by identifying characteristic parameters of rock mass with weakening by successive approximations, starting from natural stresses in intact rock mass. The dynamic aspect of the problem is connected with the growth of cracks under increasing internal pressure, i.e. with failure of rocks. It is considered that crack propagation is jump-wise and connected with formation of pores in the neighborhood of the crack tip and with rock fracture in this zone. The influence of stress state of intact rock mass on deformation in the vicinity of crack and on the crack propagation direction is discussed. For each of the aspects, dissymmetry of rock deformation is determined, and its effect on selection of fracture initiation and growth point is estimated. A set of interacting hydraulic fractures and their propagation directions in the varying stress field are analyzed. Within some limits, it is possible to control propagation directions of interacting cracks considering that the width of crack opening is the largest in the middle and decreases toward the crack tips.

Key words: rock mass, deadweight, fracture, edges, displacement, movement, failure.

Acknowledgements: This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 18-05-00533.

For citation: Kurlenya M. V., Mirenkov V. E. Influence of rock mass stress state on propagation direction of hydraulic fractures. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:5-13. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-5-13.

Введение

Для увеличения добычи нефти и дегазации угольных пластов осуществляется гидроразрыв горных пород ансамблем трещин, которые нужно оптимально расположить и определить длину. До настоящего времени теоретические модели по расчету геометрии раскрытия берегов ослаблений не подтверждены экспериментально из-за сложности процесса. Применение новейших способов диагностики трещин позволит либо создать обоснованные теоретические модели, либо подтвердить сложность процесса.

В данной работе рассматриваются прямолинейные изолированные конечные трещины произвольно ориентированные в массиве пород. Существенно, что во всех исследованиях по теории разрушения используется некорректное решение характеризующее коэффициентами интенсивности напряжений (КИН) [1–5]. В работе [6] обсуждается такая ситуация и приводится ограниченное в вер-

шинах трещин приближенное решение, однако, сложность его реализации не позволяет использовать в практических расчетах. В дальнейшем будем просто считать, что оно есть, и развивать кинематический и динамический аспекты деформирования массива пород с трещинами. Динамический, да и кинематический подходы к управлению трещинами в массиве пород представляются очень сложными, и поэтому кинематика предполагает учет собственного веса пород, а динамика обсуждается только со статических позиций и связана с прорастанием трещины скачками в процессе повышения давления до очередного разрыва пород. Линейное поле напряжений нетронутого массива [1, 2] автоматически вводит несимметрию на деформирование трещин, а отсутствие экспериментальных данных не позволяет учесть эту нелинейность аналитически. Будем считать, что прорастание трещин происходит скачками и связано с разрушением пород.

Учет собственного веса пород

Для расчета деформирования пород в окрестности трещины предлагается феноменологическая теория, характеризующаяся безразмерным параметром k , учитывающая дополнительно к классическому (без учета собственного веса) еще и собственный вес пород. Параметр k равен отношению смещений верхнего берега трещины v_1 к нижнему — v_2 и определяется экспериментально. Можно считать k первичным и многофункциональным по сравнению с любыми другими сведениями о массиве (напряжения, электромагнитное излучение и т.д.), являющимися как минимум вторичными. Выделим вертикальное породное волокно $0 \leq y \leq H_1$ растягиваемое собственным весом γ_1 , а волокно $0 \geq y \geq -H_2$ сжимаемое весом γ_2 (разные обозначения γ_1 и γ_2 несущественны). На эти же волокна действуют еще и сжимающие напряжения γH на контуре трещины. Смещения берегов трещины будут

$$v_1 = \frac{-\gamma H H_1 + 0,5 \gamma_1 H_1^2}{E_1 A} \quad (1)$$

$$v_2 = \frac{-\gamma H H_2 + 0,5 \gamma_2 H_2^2}{E_2 A} \quad (2)$$

где E_1, E_2 — модули Юнга; A — площадь сечения волокна. По определению

$$k = \frac{1}{2} \frac{(-\gamma + 0,5 \gamma_1)}{1} \frac{1}{2} \frac{(-\gamma + 0,5 \gamma_2)}{2}. \quad (3)$$

Обозначим через v смещения берегов трещины, определяемые классически [1–5],

тогда

$$v_1 = \frac{2k}{1+k} v, \quad v_2 = \frac{2}{1+k} v \quad (4)$$

или

$$v_1 + v_2 = 2v, \quad (5)$$

другими словами, если известно k , то классическое решение определяет смещения берегов трещины (4), верно и обратное (5).

Горизонтальная трещина

Остановимся на изолированной прямолинейной трещине конечной длины расположенной горизонтально в массиве пород с линейным законом распределения вертикальных и горизонтальных напряжений [1, 2] (рис. 1)

$$\sigma_y = \gamma(H - y), \quad \sigma_x = \lambda \gamma(H - y), \quad (6)$$

где γ — удельный вес пород, H — глубина расположения трещины, λ — боковой распор. Статические задачи предполагают наличие давления в трещине

$$\sigma_0 = \gamma H + \sigma_y, \quad (7)$$

где σ_y — напряжения, раскрывающие уже имеющуюся трещину. Статический расчет напряжений и смещений, следуя [1, 2], предполагает симметрию деформирования относительно осей x и y и допускает возможность развития трещины по оси x . Учет собственного веса пород (кинематический аспект деформирования) осуществляется согласно [7] и нарушает симметрию деформирования относительно оси x , но сохраняет симметрию смещений берегов трещины относительно оси y и здесь уже направление распространения трещины представляет самостоятельную проблему. На рис. 1 представлена расчетная схема конечной, прямолинейной, горизонтальной трещины. Пунктирной линией рис. 1 показаны зоны влияния трещины в породах кровли и почвы, рассчитанные согласно классическому подходу и позволяющие оценить влияние собственного веса пород на смещения [7]. Здесь введены обозначения: E_1 и E_2 — модули Юнга пород, ν — коэффициент Пуассона, γ_1 — удельный вес пород над трещиной, γ_2 — под трещиной. То, что в рассмотрение введено три различных удельных веса для массива, не должно вызывать недоумения, этим просто подчеркивается различие для сжатия пород над, под трещиной и в среднем (6) в массиве. Аналогично можно ввести по два значе-

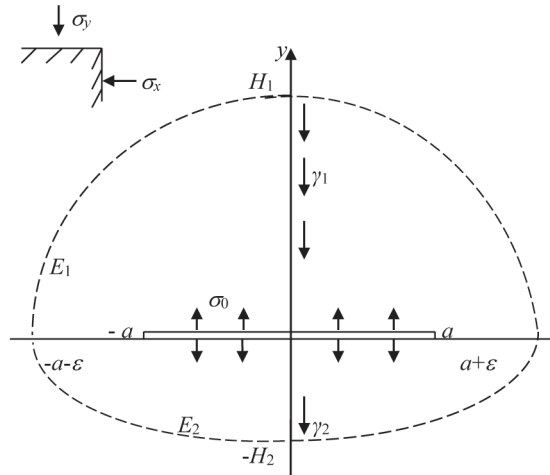


Рис. 1. Схема горизонтальной трещины; --- область влияния трещины
 Fig. 1. Horizontal crack scheme; --- crack influence zone

ния модуля Юнга и коэффициента Пуассона, что не делаем из-за громоздкости. Феноменологическая теория учета собственного веса пород предполагает натурные эксперименты по определению коэффициента k [7], который позволит вычислить полные смещения берегов трещины и уточнить значения γ , γ_1 , γ_2 , E , ℓ приведенные к эксперименту. Если увеличивать (7), то наступит момент, когда произойдет увеличение длины трещины, т.е.

$$\sigma_{01}\gamma H + \sigma_y + \sigma_{y1}, \quad (8)$$

где σ_{y1} — напряжения, идущие на разрушение пород (прорастание трещины скачком). Динамика процесса имеет место, если усилия (7) не приводят к увеличению смещений берегов, а напряжения σ_{y1} предельные, приводящие к разрыву пород. На рис. 1 представлена трещина в момент, когда ее берега не смещаются, а давление растет и фиксирует момент разрыва на величину 2ϵ . Так как при $y \geq 0$ породы сжаты меньше, согласно (6), а для $y \leq 0$ — больше, можно утверждать, что смещение верхнего берега трещины больше, чем нижнего (рис. 1). В этих условиях важно определить направление развития прорастания трещины. Можно считать, что оно опре-

деляется наименьшим сопротивлением разрушению, т.е. для $y \geq 0$ (рис. 1) менее сжатый массив легче раздвинуть. При этом напряжения (7) уравнивают напряжения нетронутого массива, а величину σ_{y1} из (8) можно рассматривать как статическую классическую проблему для невесомой плоскости, приводящей к растягивающим напряжениям в окрестности вершин, которые складываются с (6) в любом вертикальном сечении, проходящем через область растяжения. Легко проверить, что в общем случае часть растягивающих напряжений (в смысле главного вектора) для $y > 0$ больше части для $y < 0$, и в результате уменьшение исходного поля (6) наблюдается только при $y > 0$. Другими словами, если главный вектор растягивающих для $y \leq 0$ будет S_1 , а для $y \geq 0$ аналогичная часть — S_2 , то $S_2 - S_1 > 0$, это доказывает, что расположение части $S_2 - S_1$ наиболее слабое место, находящееся в окрестности y_0 , и ее влияние на траекторию разрушения отрывом имеет место. Преградой, управляющей траекторией прорастания трещины, здесь выступают большие сжимающие напряжения для $y \leq 0$ чем для $y > 0$, т.е. раздвинуть более сжатые породы сложнее, чем менее сжатые, и тре-

щина подрастает по линии наименьшего сопротивления. При движении от $|x|a + \varepsilon$ в направлении трещины и от нее величина $S_2 - S_1$ уменьшается, и ее положение приближается к оси x .

Остановимся на физике процесса, протекающего перед вершинами трещины при нагружении. При выполнении (7) перед вершинами трещины материал переходит в новое состояние с образованием пор и дефектов, т.е. ведет себя нелинейно. Можно представить такой новый материал, как вертикальные стержни, которые при выполнении (8) начнут разрушаться. Анализ [6] показал, что в вершинах трещины имеет место плавное смыкание и нулевые значения нормальных напряжений σ_y , возрастающих до максимальных при $|x|a + \varepsilon$ и убывающих до нуля с ростом x по модулю. Вертикальный стержень из пород с координатой $|x|a + \varepsilon$ растягивается наибольшими усилиями и имеет наибольшую длину, но симметрии относительно оси x нет, и часть этого стержня выше оси x больше, чем часть ниже. Поэтому разрыв должен произойти посредине стержня, т.е. выше оси x . Стержень из пород с координатой $|x|a + \varepsilon$ разрывается в первую очередь, т.е. разрушение начинается впереди трещины и движется к вершинам, образуя траекторию с выпуклостью вниз, т.е. отклонение от оси x в направлении $y > 0$. Движение разрушения в направлении возрастания $|x| > a + \varepsilon$ невозможно, так как реализуются на конечном расстоянии вершины трещины.

Наклонная трещина

Наклонную трещину легко получить из рис. 1 поворотом ее на угол α , отсчитываемый от оси y , сохраняя при этом оси координат и направления напряжений (6). Для трещины, расположенной под углом α к вертикали расчет напряженно-деформированного состояния су-

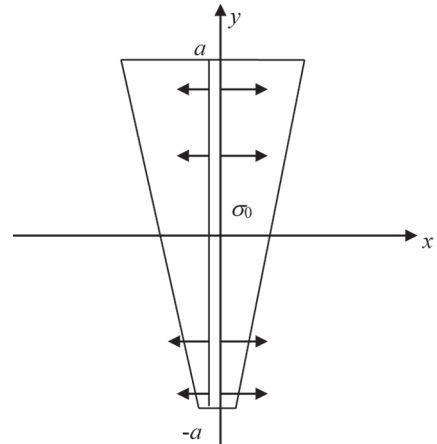


Рис. 2. Схема раскрытия берегов вертикальной трещины

Fig. 2. Opening of vertical crack

щественно усложняется. Алгоритм определения напряжений и смещений в окрестности трещины описан в [6].

С увеличением угла наклона трещины горизонтальные усилия σ_x из (6) различны для вершин при $y > 0$ и $y < 0$, т.е. смещения берегов в окрестности верхней вершины больше, чем нижней при давлении σ_0 из-за различного сопротивления горизонтальных усилий (6). Существенно уменьшается величина смещений от собственного веса с уменьшением α и при α_0 практически исчезает. На рис. 2 приведена схема такой трещины и качественная картина смещений берегов трещины, симметричная относительно оси y и существенно несимметричная относительно x . При возрастании α до $0,5\pi$ смещения берегов плавно переходят к одинаковым в окрестности вершин.

С увеличением давления в наклонной трещине наступает момент прорастания трещины скачком, что трактуем как динамический аспект, при этом разрыв пород связан только с вершиной, лежащей в полуплоскости $y > 0$. Действительно, напряжениям в трещине проще преодолеть меньшее сжимающее давление в окрестности верхней вершины, чем в нижней. После прорастания трещи-

ны возможно закрытие трещины около нижней вершины. Для наклонной трещины небольшой длины этими различиями можно пренебречь, но приоритетность прорастания трещины около верхней вершины остается, и увеличение длины идет только вверх.

При расчете напряженного состояния около наклонной трещины на продолжении ее возникают перпендикулярные растягивающие напряжения [1, 2], полученные для невесомой плоскости с математическим разрезом. Если на это решение наложить поле (6), то область с пониженными напряжениями будет выше линии разреза, и тенденция раскрытия трещины будет в сторону наименьшего сопротивления, т.е. будет отклоняться вверх медленно, но неустанно в процессе прорастания. Эта тенденция полностью реализуется при α_0 , и прорастание трещины может происходить только вверх, учитывая симметрию и направление наименьшего сопротивления.

Необходимо отметить, что все трещины имеют переменное изменение раскрытия берегов, уменьшающееся от середины к вершинам, т.е. сжатие пород сильнее в центре трещин, чем на концах, и согласуется с зоной растягивающих напряжений в окрестности вершин.

Обобщая плоский случай, можно утверждать, что трещина не будет в пространстве дискообразной, а будет представлять овал, вытянутый в направлении дневной поверхности. Отклонение от диска будет зависеть от плоскости ее расположения и исходного поля напряжений в массиве, механических характеристик пород и т.п.

Система параллельных трещин

Гидравлический разрыв пласта производится последовательным нарезанием параллельных трещин из горизонтальных скважин в направлении вертикальных напряжений исходного поля напряжений

массива и представляет метод увеличения интенсивности добычи нефти. Теоретические модели, предложенные для определения плотности расположения и геометрии трещин, нельзя признать удовлетворительными, т.к. было использовано некорректное решение для трещины, основанное на коэффициентах интенсивности напряжений. Деформирование изолированной вертикальной трещины представлено на рис. 2, и, в силу симметрии относительно оси y , распространяется вверх, независимо от способа нарезания: последовательными шагами, выделяя очередной скачок увеличения длины, или сразу на всю длину, когда скачки сливаются в непрерывное разрушение. Второй вариант дает минимум информации о процессе гидроразрыва и поэтому мало информативен как с теоретической, так и практической точки зрения.

При нарезании второй трещины на начальной стадии (от нуля до середины первой), она проходит через сжатый массив от первой, и растягивающие напряжения с левой части вершины сильнее нейтрализуются, а с правой меньше, и создается предпосылка возможности изменить направление в сторону наименьшего сопротивления. Можно повторить все сказанное для изолированных горизонтальной и наклонной трещин — закономерность одна. Здесь имеет место аналогия с пузырьком воздуха в воде. Он движется строго к свободной поверхности, но если на пути пузырька будет преграда, то он обойдет ее, так как ей это позволят. После образования второй трещины смещения ее левого берега меньше, чем правого, и в этих условиях ситуация усложняется при образовании третьей трещины. Создаются условия для изменения траектории прорастания трещины, как это показано на рис. 3.

В данном случае преградой, управляющей траекторией растущей трещины, является дополнительная область повы-

шенных напряжений сжатия около левого берега вновь образуемой трещины по сравнению с окрестностью правого берега. Очевидно, что при увеличении числа параллельных трещин в ансамбле наступает момент, когда напряжения в «преграде», стабилизируются, и стабилизируется для дальнейших трещин величина траектории. Ситуация стабилизируется и определяется частотой нарезания трещин и их длиной. Относительно нижней части (рис. 3) можно утверждать, что симметрии развития трещин не будет, каким бы способом их ни создавали, и это необходимо учитывать при планировании работ. Независимо от варианта образования параллельных трещин в процессе гидроразрыва, необходимо проводить мероприятия, которые не дадут трещинам закрыться после снятия давления. Мероприятия сводятся к заполнению трещин телами, препятствующими их схлопыванию. Этот процесс не управляем, и как следует из рис. 2, нижняя часть трещины недоступна для прохода тел, сохраняющих ее открытой. При гидроразрыве пласта необходимо горизонтальную скважину располагать ближе к нижней границе нефтеносного пласта. Существующие в массиве пород ослабления взаимодействуют с искусственно создаваемыми, и картина становится сложной.

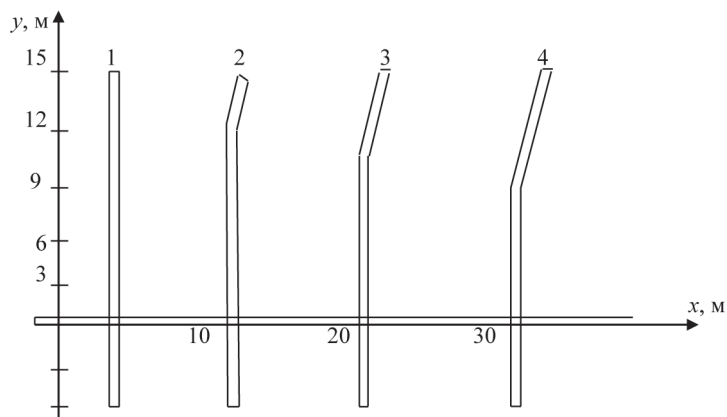


Рис. 3. Направления развития трещин
Fig. 3. Opening directions of cracks

Для образования строго прямолинейно распространяющихся трещин после проведения первой необходимо сбросить давление в скважине и изолировать ее. В такой ситуации каждая последующая становится первой, т.е. распространяется вертикально. Убрав из горизонтальной скважины изоляторы, можно, подав давление, открыть все трещины, которые останутся прямолинейными. Чтобы ансамбль параллельных трещин был практически вертикальным, достаточно последовательно нарезать первую, а вторую на месте последней, планируемой в пласте. Третью провести между первой и второй, четвертую между первой и третьей, пятую между третьей и второй и т.д. Если движение образуемых разрывов организовать от начала и от конца навстречу, то ансамбль от начала до половины намеченного пролета будет повторять схему (рис. 3), а трещины, идущие от конца к началу, будут изгибаться в противоположную сторону.

В некоторых случаях, когда имеется дополнительная информация, мощность нефтеносного пласта накладывает ограничения на длину ослаблений (рис. 3). Первый способ нарезания трещин позволяет оценить слагаемые, входящие в правую часть (8), а применение новейших способов их диагностики существен-

но увеличит дополнительную информацию и позволит развить динамический аспект понимания процесса гидроразрыва.

Алгоритм расчета трещин

Учитывая отсутствие экспериментальных данных о смещениях берегов при расчете трещин, воспользуемся численными методами. Существует много программ численного счета около таких ослаблений. При этом используются приблизительные данные о массиве.

Существенно, что ни использование наиболее эффективных численных алгоритмов, ни использование мощных компьютеров, ни всевозможные уточнения для некорректной задачи, связанной с коэффициентом интенсивности напряжений, не могут считаться удовлетворительными. Точность расчетов в любом случае предполагает учет собственного веса пород, позволяющего аналитически (в первом приближении) получить значение параметра k (3), уточнить характеристики пород, согласно [7] и, естественно, произвести новый уточненный расчет по любой программе численного счета.

Важное значение приобретает значение области влияния трещины в породах кровли и почвы. Оценить это влияние можно по аналогии с результатами для выработок. В научной литературе очень много расчетов по определению напряжений и смещений около ослаблений и их прорастанию, но практически нет натурных или лабораторных экспериментов. Необходимо поставить в соответствие слагаемые, входящие в (8), и изменение давления в процессе гидроразрыва. Процессы, лежащие в основе правой части (8), существенно различны, и представляется возможным реализовать соответствие за счет негладкости перехода от

составляющих частей диаграммы нагружения. Диаграмма нагружения давлением разрыва качественно аналогична диаграмме одноосного растяжения стержня и также имеет ниспадающую ветвь. В первый момент спада давления длина трещины $2a$ (рис. 1) при окончании спада длина стала $2a + 2\varepsilon$. Если принять, что σ_{y1} из (8) возрастает по диаграмме от σ_3 до σ_4 , т.е. прирост напряжений тратится только на разрушение, то можно оценить величину ε . Имеем

$$2a(\sigma_4 - \sigma_3)2\varepsilon\sigma_5,$$

где σ_5 — напряжение на разрыв пород, то

$$\varepsilon = \frac{\sigma_4 - \sigma_3}{\sigma_5} 0.$$

Величина прорастания трещины пропорциональна длине ее перед разрывом пород и обратно пропорциональна напряжениям пород на разрыв.

Выводы

1. Установлено, что зоны повышенных напряжений служат экраном, отклоняющим траекторию прорастающей трещины.
2. Изолированная вертикальная трещина распространяется строго вверх (в однородном массиве пород), смещения берегов симметричны относительно оси y , и раскрытие такой трещины возрастает в сторону падения исходного поля напряжений.
3. Установлено, что в системе вертикальных трещин гидроразрыва взаимовлияние их приводит к искривлению траекторий раскрытия в направлении образования следующих разрывов.
4. Рекомендуется в нефтеносном пласте при подготовке гидроразрыва горизонтальную скважину располагать ближе к почве пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михлин С. Т. О напряжениях в породе над угольным пластом // Изв. АН СССР. ОТН. — 1942. — № 7—8. — С. 13—28.

2. Баренблатт Г.И., Христианович С.А. Об обрушении кровли при горных выработках // Изв. АН СССР. ОТН. — 1955. — № 11. — С. 73–86.
3. Шер Е.Н., Колыхалов И.В. Особенности последовательного развития близко расположенных трещин гидроразрыва // ФТПРПИ. — 2011. — № 6. — С. 43–53.
4. Kresse O., Weng X. et al. Numerical modeling of hydraulic fractures interaction in complex naturally fractured formations // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. — 2013. — Vol. 46. — № 4. — Pp. 117–128.
5. Crosby D. G., Rahman M. M. Single and multiple transvers fracture initiation from horizontal wells // *J. of Petroleum Science and Engineering*. — 2002. — Vol. 35. — № 3–4. — Pp. 29–36.
6. Миренков В.Е. О некорректных задачах геомеханики // ФТПРПИ. — 2018. — № 3. — С. 3–9.
7. Курленя М.В., Миренков В.Е. Деформирование весомого массива пород в окрестности прямолинейной конечной трещины // ФТПРПИ. — 2018. — № 6. — С. 12–19.
8. Васильев В.В. Сингулярные решения в задачах механики и математической физики // *Механика твердого тела*. — 2018. — № 4. — С. 48–65. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Mikhlín S.T. Rock mass stresses above coal seam. *Izvestiya akademii nauk SSSR. Otdelenie tekhnicheskikh nauk*. 1942, no 7–8, pp. 13–28. [In Russ].
2. Barenblatt G.I., Khristianovich S.A. Roof falls in mines. *Izvestiya akademii nauk SSSR. Otdelenie tekhnicheskikh nauk*. 1955, no 11, pp. 73–86. [In Russ].
3. Sher E.N., Kolykhalov I.V. Propagation of closely spaced hydraulic fractures. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2011, no 6, pp. 43–53. [In Russ].
4. Kresse O., Weng X. et al. Numerical modeling of hydraulic fractures interaction in complex naturally fractured formations. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2013. Vol. 46, no 4. Pp. 117–128.
5. Crosby D. G., Rahman M. M. Single and multiple transvers fracture initiation from horizontal wells. *J. of Petroleum Science and Engineering*. 2002. Vol. 35, no 3–4. Pp. 29–36.
6. Mirenkov V. E. О некорректных задачах геомеханики. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2018, no 3, pp. 3–9. [In Russ].
7. Kurlenya M. V., Mirenkov V. E. Deformation of ponderable rock mass in the vicinity of straight finite-line crack. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2018, no 6, pp. 12–19. [In Russ].
8. Vasil'ev V.V. Singular solutions in problems of mechanics and mathematical physics. *Mekhanika tverdogo tela*. 2018, no 4, pp. 48–65.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Курленя Михаил Владимирович¹ — академик, доктор технических наук, профессор, научный руководитель института, e-mail: kurlenya@misd.ru,
 Миренков Валерий Егорович¹ — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: mirenkov@misd.ru,
¹ Институт горного дела им. Н.А. Чинакапла СО РАН.
Для контактов: Миренков В.Е., e-mail: mirenkov@misd.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.V. Kurlenya¹, Academician, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Director of the Institute, e-mail: kurlenya@misd.ru,
 V.E. Mirenkov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, e-mail: mirenkov@misd.ru,
¹ Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia.
Corresponding author: V.E. Mirenkov, e-mail: mirenkov@misd.ru.