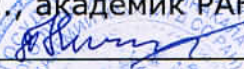


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА им. Н.А. ЧИНАКАЛА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УТВЕРЖДАЮ

И. о. директора ИГД СО РАН,  
Д.т.н., академик РАН

  
\_\_\_\_\_ М.В. Курленя  
« 01 » \_\_\_\_\_ 20 13 г.



**МЕТОДИКА**

проектирования и создания дегазационных сеток с использованием управляемого продольного гидроразрыва и пеногелей в качестве рабочих жидкостей разрыва

Разработчики:

Патутин А.В.  
Павлов В.А.  
Дегтярева Н.В.  
Захаров Ю.С.  
Мартынюк П.А.  
Рыбалкин Л.А.  
Сердюков А.С.  
Сердюков С.В.  
Хуторной В.И.  
Шилова Т.В.

## **1. Общие положения**

1.1. Методика проектирования и создания дегазационных сеток с использованием управляемого продольного гидроразрыва и пеногелей в качестве рабочих жидкостей разрыва (далее – Методика) разработана в соответствии с условиями Государственного контракта №16.515.1.5035 от 12.05.2011г. по теме «Проведение исследований и разработка прототипа экологически безопасной технологии добычи метана из угольных пластов и подстилающих горных пород в шахтных условиях».

Направленный подземный гидроразрыв (далее гидроразрыв) пеногелями применяют для снижения сроков и/или повышения степени предварительной дегазации угольных пластов в шахтных условиях. Его сущность состоит в формировании в угольном пласте и вмещающих горных породах системы трещин гидроразрыва, предназначенных для частичной разгрузки массива горных пород, создания в нем фильтрационных каналов для дренирования (осушения) пород и их дегазации.

1.2. Методика соответствует требованиям Инструкции по дегазации угольных шахт, утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01 декабря 2011 г. №679 [1], и Правилам безопасности в угольных шахтах, утвержденных Постановлением Госгортехнадзора России от 05.06.03 №50 (ПБ 05–618–03) [2], зарегистрированных Министерством юстиции Российской Федерации 19.06.2003, регистрационный № 4737. Перечень ссылочных документов приведен в Приложении №1.

1.3. Методика дополняет Приложение №4 «Дегазация неразгруженных угольных пластов» в части «III. Дегазация разрабатываемых пластов скважинами с применением подземного гидроразрыва» Инструкции по дегазации угольных шахт (п. 1.2 Методики), регламентирует порядок проектирования работ по подземному направленному гидроразрыву.

1.4. Методика предназначена для организаций, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией дегазационных скважин системы дегазации угольных шахт.

1.6. Методика содержит указания и рекомендации по проектированию гидроразрыва угленосного массива для решения задач дегазации разрабатываемых пластов.

1.5. В Методике используются термины, понятия и условные обозначения, приведенные в Приложении №2.

1.6. Приведенные в настоящей Методике указания и рекомендации могут корректироваться научно-исследовательским институтом – разработчиком Методики с учетом опыта работ.

## **2. Проектирование дегазационной сетки**

2.1. Математическое моделирование углепородного массива проводят с целью оптимизации расположения трещин для разгрузки и дегазации углепородного массива, оценки интенсификации газоотдачи методом продольного направленного гидроразрыва.

2.2. Моделирование проводят с использованием лицензионного программного обеспечения Itasca FLAC 6.0, реализующего модификацию метода конечных разностей. Основные возможности и принципы работы данного пакета изложены в «FLAC Version 6.0, Theory and Background». – USA, Itasca, 2011 [3].

2.3. Исходными данными для проектирования дегазационных сеток, представленных системой трещин продольного гидроразрыва, являются:

- 1) геологические данные, включающие положение и состав пластов и включений горных пород, положение известных тектонических нарушений;
- 2) физические свойства горных пород, слагающих углепородный массив, включая упругие свойства горных пород, их плотность, проницаемость (по возможности);
- 3) напряженное состояние углепородного массива;
- 4) расположение горных выработок, лан ведения горных работ.

2.4. Построение модели дегазируемой области углепородного массива

2.4.1. Запускают программу Itasca FLAC 6.0 и создают новый проект. Для этого в появившемся диалоговом окне выбирают позицию «Tree», (см. рисунок 1) и нажимают кнопку «ОК». Приближение плоской деформации используются по умолчанию.

2.4.2. В появившемся окне вводят название проекта и его описание (не обязательно), нажимают кнопку «ОК» (рисунок 2).

2.4.3. Вводят параметры модели углепородного массива. Для этого на верхней панели интерфейса программы открывают вкладку «Build» и нажимают на кнопку «Grid». В появившемся диалоговом окне заполняют параметры количества элементов по оси X и количества элементов по оси Y (рисунок 3). Значения данных параметров выбирают исходя из размеров моделируемой области углепородного массива.

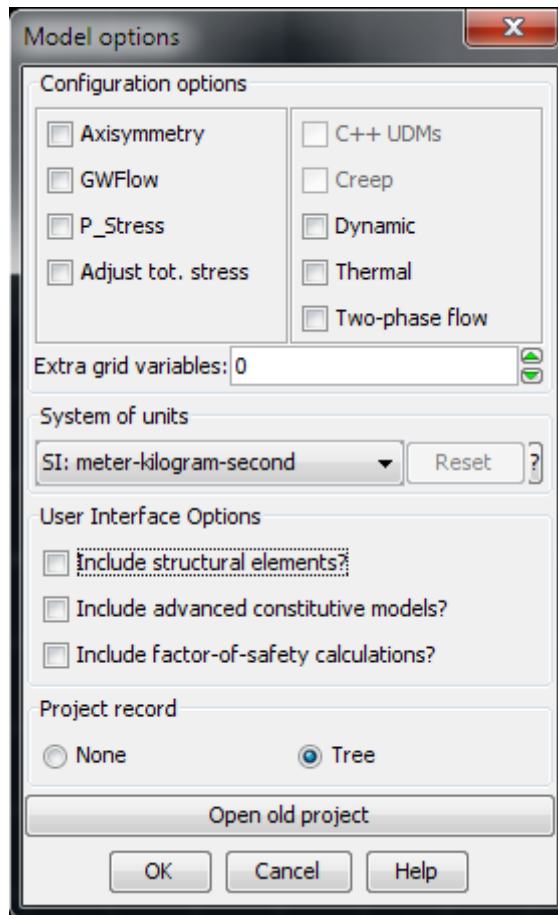


Рисунок 1 – Диалоговое окно ввода конфигурации проекта.

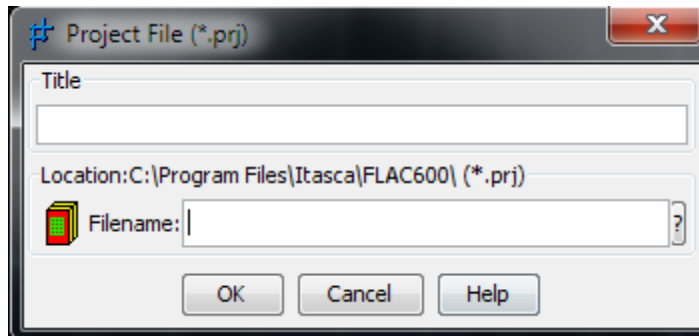


Рисунок 2 – Окно ввода названия проекта.

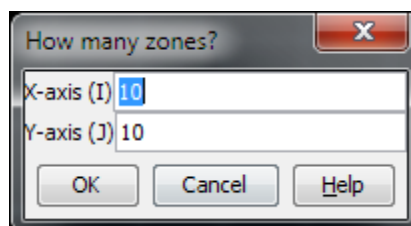


Рисунок 3 – Ввод количества элементов модели по оси X и Y.

2.4.4. После нажатия кнопки «ОК» (см. рисунок 3) на экране появляется сетка размерами X на Y метров.

Для ввода количества элементов и изменения их размеров, необходимо с помощью команды *gen* откорректировать код программы, отображаемый в левой части экрана (рисунок 4), например *gen 0.0,-280.0 0.0,-200.0 100.0,-200.0 100.0,-280.0 i=1,501 j=1,196*. В приведенном примере модель смещена и растянута так, что угловые точки имеют координаты (0,-280), (0,-200), (100,-200), (100,-280), количество элементов по оси X составляет 196, а по оси Y – 500 элементов.

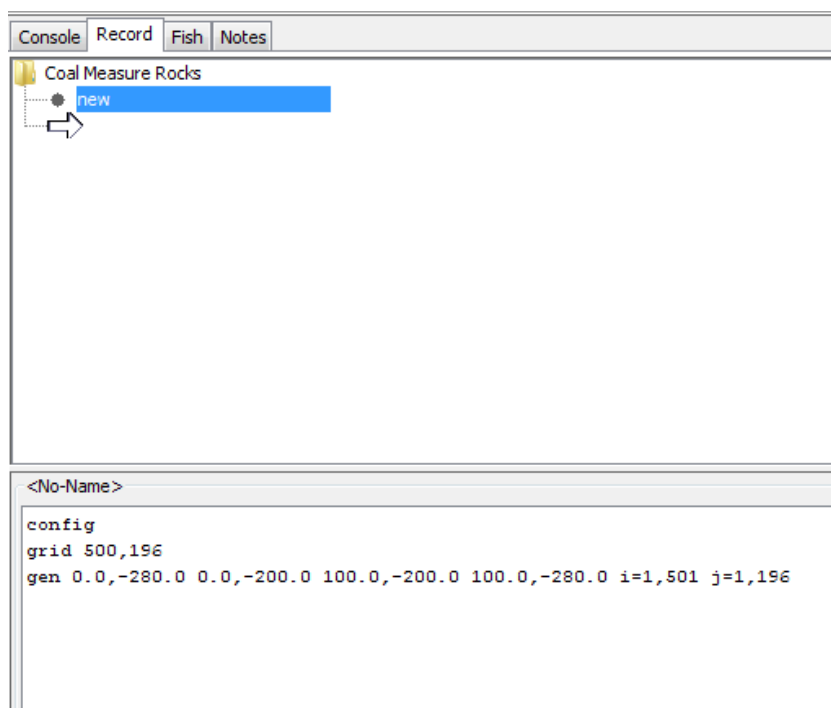


Рисунок 4 – Ввод угловых координат и параметров сетки.

2.4.5. Затем используя известные геологические данные и результаты исследования упругих свойств горных пород, в модель вводят геометрические параметры пластов и/или включений горных пород и задают их механические свойства. Для этого в левой части экрана записывают код, подобный следующему:

```
group 'SU:Shale' i=51,251 j 1 196
model su group 'SU:Shale'
prop dens=2200.0 bulk=5.33333E9 shear=3.2E9 group 'SU:Shale'
prop coh=8000000.0 fric=28.0 dil=10.0 tens=2700000.0 group 'SU:Shale'
prop jcoh=7000000.0 jfric=27.0 jdil=10 jtens=2300000.0 group 'SU:Shale'
```

```
prop ctab 1 c jtab 2 dtable 3 djtable 4 ttable 5 tjtable 6 group 'SU:Shale'
table 1 0,8.0e6 5e-3,8.0e5
table 2 0,7.0e6 5e-3,7.0e5
table 3 0,10 5e-3,0
table 4 0,10 5e-3,0
table 5 0,2.7e6 1e-3,0
table 6 0,2.3e6 1e-3,0
```

В приведенном примере заданы параметры модели пласта сланцев. Использована модель состояния “Strain-Softening” (SU), описывающая поведение деформационного разупрочнения породы.

2.4.6. Затем задают граничные условия. В левую часть экрана записывают код, определяющий смещения по осям X и Y, а также граничные напряжения. Ниже приведен пример такого кода:

```
apply nstress -5000000.0 from 1,197 to 501,197
fix x y j 1
fix x i 1
fix x i 501
ini sxx -6470000.0 j 175 197
ini sxx -5360000.0 j 147 175
ini sxx -1.3875E7 j 134 147
ini sxx -5530000.0 j 127 134
ini sxx -9160000.0 j 113 127
ini sxx -3517000.0 j 73 113
ini sxx -5630000.0 j 63 73
ini sxx -6875000.0 j 1 63
```

В указанном примере к верхней границе модели приложено горное давление 2 МПа. У элементов сетки, составляющих боковые границы модели, заданы нулевые смещения по оси X, у элементов составляющих нижнюю границу нулевые смещения по обеим осям X, Y.

В каждом пласте горизонтально слоистой модели заданы начальные горизонтальные напряжения, рассчитанные по соответствующим механическим свойствам и тектоническим деформациям, характерным для глубин порядка 200 метров.

2.4.7. Для получения распределения напряжений в построенной модели, проводят расчет равновесного состояния. Для этого нажимают кнопку «Rebuild» в левом нижнем углу (рисунок 5).

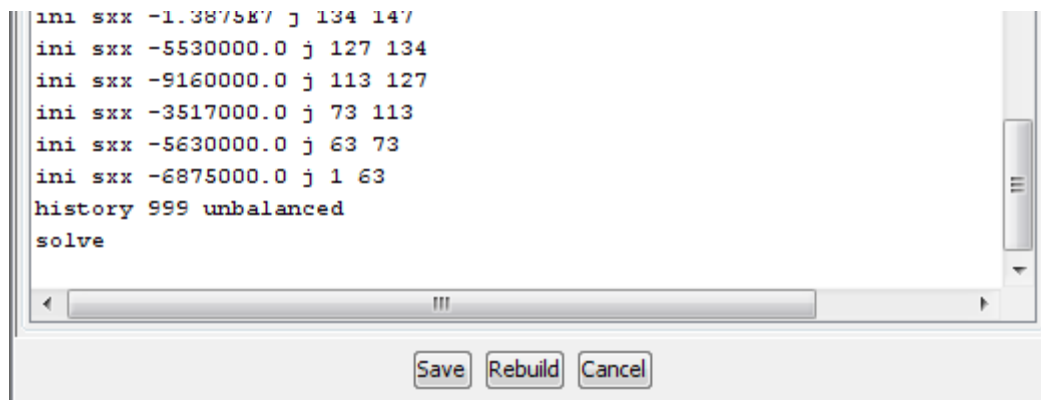


Рисунок 5 – Запуск расчета равновесного состояния модели.

2.4.8. Во время вычислений программа отображает параметры состояния, количество выполненных шагов (рисунок 6). По завершению расчётов окно закрывается автоматически.

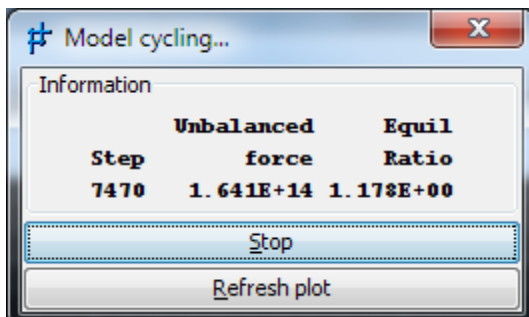


Рисунок 6. – Расчет равновесного состояния модели.

2.4.9. По завершению расчета равновесного состояния, полученную модель сохраняют. Дальнейшие расчеты разгрузки напряженного состояния массива проводят с использованием этой модели.

2.4.10. Для расчета разгрузки углеродного массива методом направленного гидроразрыва в модель вводят разрывы заданных геометрических параметров. Для вычисления разгрузки углеродного массива нажимают кнопку «Follow», расположенную в левом нижнем углу (рисунок 7).

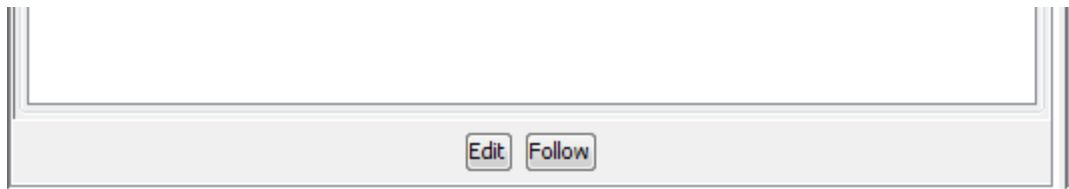


Рисунок 7. – Запуск расчета разгрузки модели углепородного массива методом направленного гидроразрыва.

2.4.11. Результаты расчетов отображаются в графическом виде на экране. Для этого во вкладке «Plot» нажимают кнопку «Model». В появившемся окне выбирают нужную переменную, значение которой и будет выведено на экран. На рисунке 7 показан выбор переменной sig2, соответствующей минимальному главному напряжению.

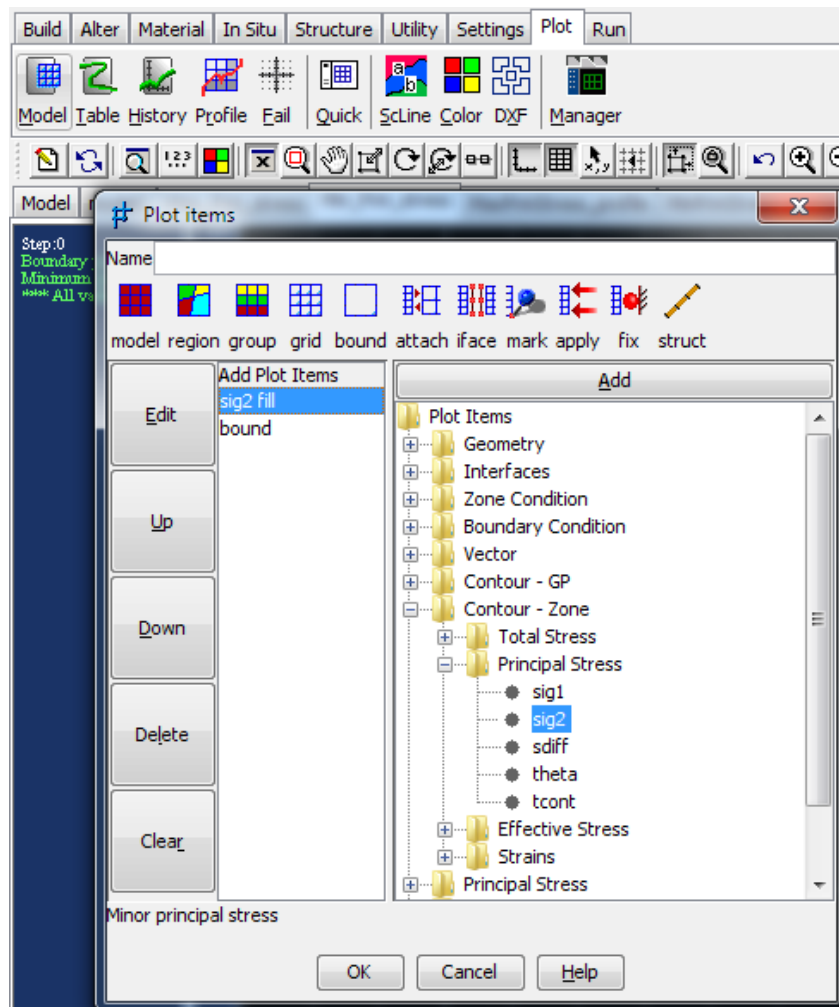


Рисунок 7 – Выбор переменной sig2, задающей распределение главного минимального напряжения.

## 2.5. Дегазационный тест.



2.5.1. Дегазационный тест предназначен для определения зависимости газовыделения углеродного массива от его разгрузки методом направленного гидроразрыва.

2.5.2. Дегазационный тест проводят в трех близкорасположенных испытательных скважинах малого диаметра (36–48 мм) глубиной 5–10 м, пробуренных из борта горной выработки в угольный пласт.

2.5.3. Испытательные скважины герметизируют, подключают через расходомер к вакуумному насосу и проводят измерения газовыделения при давлении в скважине 100 мм. рт. столба.

2.5.4. В окружающих породах двух из трех испытательных скважин проводят разгрузку от сжимающих напряжений методом бурения параллельных скважин [4, 5].

Для этого на расстоянии 20–30 см от испытательной скважины бурят параллельную разгрузочную скважину диаметром 180 мм и устанавливают в ней нагрузочное устройство, в качестве которого используют пакерные модули устройств разрыва ДС21.01.00.000, ДС21.02.00.00 или импрессионный пакер ДС21.05.00.000 из состава комплекса экспериментального оборудования (ЭОО) «ГРОТ» с пакерными оболочками увеличенного диаметра (122 мм).

Одну из разгрузочных скважин располагают строго по вертикали над испытательной скважиной (далее верхняя разгрузочная скважина), другую – по горизонтали сбоку (далее боковая разгрузочная скважина) у второй испытательной скважины.

Схема подключения оборудования для выполнения дегазационного теста показана на рисунке 8.

2.5.5. Дегазационный тест проводят следующим образом. Разгрузочные скважины нагружают давлением равным сжимающим напряжениям, действующим в исследуемой области углеродного массива, в т.ч. верхнюю разгрузочную скважину нагружают давлением равным горному давлению веса вышележащих горных пород, боковую – давлением, равным горизонтальному сжимающему напряжению.

Величину действующих в массиве напряжений определяют любым известным способом, например методом гидроразрыва.

2.5.6. Измерения газовыделения проводят ступенчато снижая давление нагружения в разгрузочных скважинах. При каждом последующем измерении давление в нагрузочном устройстве снижают на 20% от начального значения вплоть до полного сброса давления в нагрузочном устройстве.

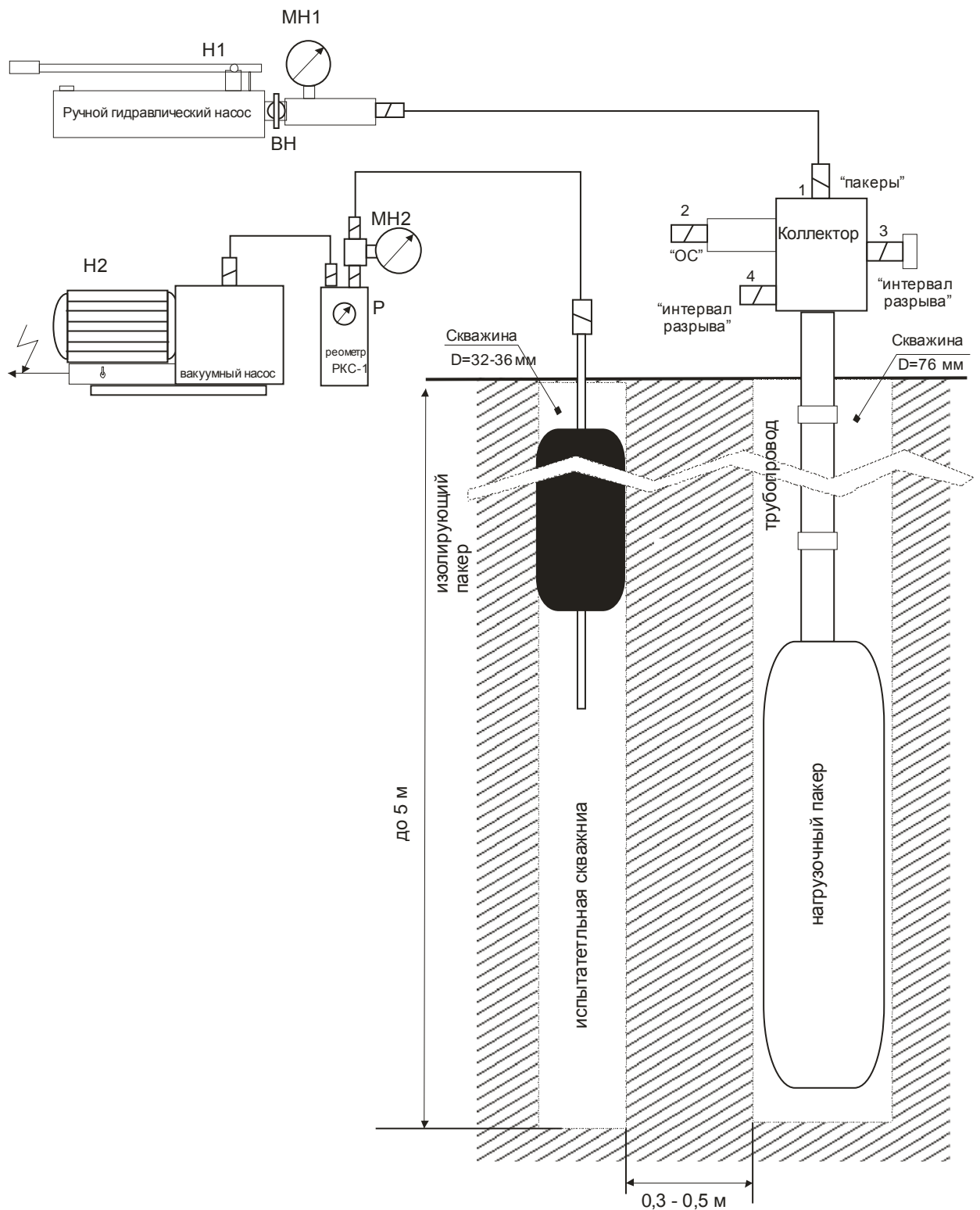


Рисунок 8 – Схема подключения оборудования для выполнения дегазационного теста: Н1 – ручной гидравлический насос высокого давления; Н2 – вакуумных насос с входным водоотделителем; ВН – вентиль; МН1, МН2 – образцовые манометры; Р – измеритель расхода газа РКС-1.

2.5.7. По результатам измерений строят зависимости начального газовыделения (или удельного газовыделения) от степени разгрузки (или величины сжатия) углеродного массива отдельно для вертикальной и горизонтальной компонент поля напряжений.

2.5.8. Дегазационный тест повторяют в двух-трех местах исследуемого угольного пласта с усреднением результатов измерений. Пример итоговой зависимости газовыделения от горного давления показан на рисунке 9.

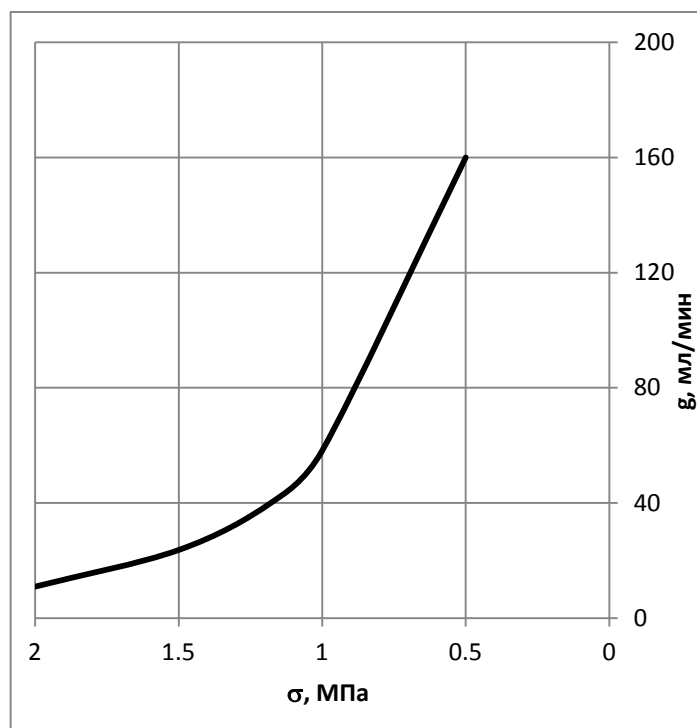


Рисунок 9. – Пример зависимости газовыделения от горного давления в углеродном массиве.

2.5.9. После полного сброса давления в разгрузочных скважинах во всех испытательных скважинах проводят долговременное (в течение нескольких суток) измерение коэффициент темпа снижения газовыделения из дегазационной скважины во времени.

2.5.10. Рекомендуется проводить деформационный тест в двух – трех различных местах исследуемого объема дегазируемого углеродного массива с усреднением полученных зависимостей.

2.6. Оценка газоотдачи углеродного массива методом направленного гидроразрыва.

2.6.1. Рассчитывают напряженное состояние модели углеродного массива по методике п. 2.4 настоящей методики до и после создания в нем разрывов заданной конфигурации.

Расчет ожидаемой добычи метана рассчитывают по формулам:

$$Q_{\text{CH}_4} \approx S_d \cdot \int_0^T g_0(\Delta\sigma_{av}) \cdot e^{-\alpha(\Delta\sigma_{av})t} dt;$$

$$\Delta\sigma_{av} = \frac{1}{V} \int_{(V)} [\sigma_2(x, y, z) - \sigma_1(x, y, z)] dV;$$
(1)

где  $\sigma_1(x, y, z)$  и  $\sigma_2(x, y, z)$  – напряженное состояние дегазируемой области до и после разгрузки массива, соответственно;  $S_d$  – площадь дегазационной системы (поверхность рабочих участков скважин и раскрытых участков трещин);  $V$  – объем разгружаемой области;  $T$  – период дегазации;  $\Delta\sigma_{av}$  – среднее значение разгрузки напряжений дегазируемого объема углеродного массива;  $g_0$  – удельное начальное газовыделение в дегазационную скважину;  $\alpha$  – коэффициент темпа снижения газовыделения дегазационной скважины во времени.

Расчеты проводят отдельно для вертикальных и горизонтальных сжимающих напряжений с суммированием получаемых данных.

2.6.2. Ожидаемое значение коэффициент (степени) интенсификации дегазации заданной конфигурацией трещин направленного подземного гидроразрыва рассчитывают по формуле

$$K = \frac{S_d^{(k)} \cdot \sum_{k=1}^2 \int_0^T g_0^{(k)}(\Delta\sigma_{av}) \cdot e^{-\alpha_k(\Delta\sigma_{av})t} dt}{S_d^{(0)} \cdot \int_0^T g_0^{(0)} \cdot e^{-\alpha_0 t} dt} + 1,$$
(2)

где  $K$  – коэффициент увеличения степени дегазации,  $(0)$  – индекс газовыделения без разгрузки;  $(k)$  – индекс газовыделения с разгрузкой горного давления;  $\sum$  – суммирование по индексу  $k$ ;

$$\Delta\sigma_{av} = \frac{1}{V} \int_{(V)} [\sigma_2(x, y, z) - \sigma_1(x, y, z)] dV$$
(3)

где  $\sigma_1(x,y,z)$  и  $\sigma_2(x,y,z)$  – напряженное состояние модели дегазируемой области углепородного массива до и после его разгрузки массива методом направленного гидроразрыва, рассчитываемое в соответствии с разделом 2.4 настоящей методики.

Относительное снижение периода дегазации вычисляется из уравнения

$$S_d \cdot \sum_{k=1}^2 \int_0^T g_0^{(k)} (\Delta\sigma_{av}) \cdot e^{-a_k(\Delta\sigma_{av})t} dt = S_d \cdot \int_0^{T_0} g_0^{(0)} \cdot e^{-a_0 t} dt \quad (4)$$

по формуле

$$\Delta T = \frac{T_0 - T}{T_0} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $T_0$  – длительность периода дегазации без интенсификации методом направленного подземного гидроразрыва,  $T$  – длительность периода дегазации методом направленного гидроразрыва.

2.6.3. Расчет проводится для различных конфигураций системы трещин гидроразрыва, элементом которых являются трещины вдоль угольного пласта с длиной крыла 50 м (тип «Г») и 10 м (тип «г») и трещины в крест простирания пласта с длиной крыла 50 м (тип «В») и 10 м (тип «в»).

Разгрузку углепородного массива рассчитывают при различных сочетаниях (рядах) гидроразрывов различного типа, например задаваемых последовательностью типа «ГГГвГГв», где длина последовательности вдоль пласта (в данном примере равная  $5\Gamma = 250$  м) равна протяженности дегазируемого участка углепородного массива вдоль горной выработки.

Для этого в модель углепородного массива вводят систему трещин заданной конфигурации (см. п. 2.4.9), задавая соответствующим элементам состояние «Null» следующим образом:

```
model null i 251 j 65 120
group 'null' i 251 j 65 120
group delete 'null'
solve
```

В приведенном примере в модель введена единичная вертикальная щель (трещина) шириной в один элемент разбиения пространства исследуемой области углеродного массива длиной 10 метров, расположенная в центре модели. Для запуска расчета напряженного состояния массива, содержащего заданный разрыв, нажимаем кнопку «Rebuild» (рисунок 10).

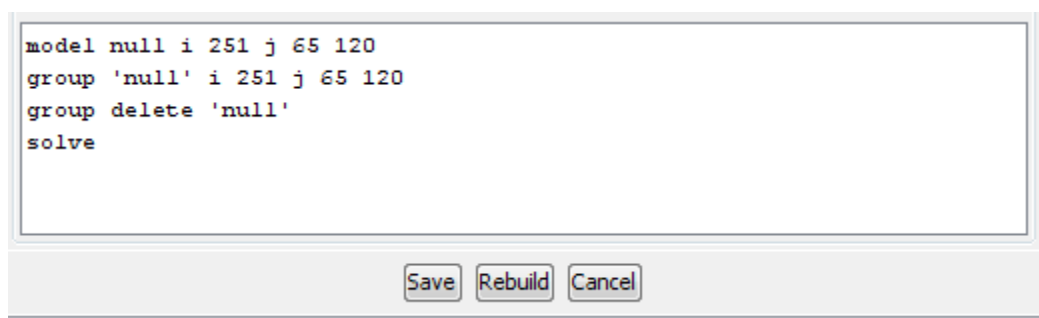


Рисунок 10 – Ввод вертикальной трещины длиной 10 метров и запуск расчета напряженного состояния модели.

2.6.4. Дальнейшая обработка проводится в одном из известных графических пакетов, который позволяет считать итоговую объем области разгрузки и параметры дегазации по формулам 1–5.

2.6.5. Оптимальную конфигурацию системы трещин гидроразрыва выбирают исходя из одного из следующих критериев:

- 1) максимальное увеличение степени дегазации при сохранении продолжительности дегазации (критерий интенсификации);
- 2) максимальное снижение продолжительности дегазации при заданной ее степени (критерий эффективности);
- 3) максимальная интенсификация или повышение эффективности дегазации при заданном объеме работ по выполнению подземного направленного гидроразрыва (экономический критерий).

Критерий оптимизации задает заказчик работ.

По результатам расчетов выбирают оптимальную с точки зрения заказчика конфигурацию системы трещин гидроразрыва для подземной дегазации углеродного массива.

### 3. Расчет системы скважин синхронного разрыва

3.1. Расчет системы скважин синхронного гидроразрыва проводят в случае, когда оптимизированная конфигурация системы (рядов) разрывов (см. раздел 2.6) содержит последовательность разрывов типа «...ГГ...». В этом случае для создания протяженных (магистральных) трещин вдоль угольного пласта применяют синхронный продольный гидроразрыв системы параллельных скважин.

3.2. Расчет системы скважин синхронного разрыва проводят для определения расстояния между скважинами, при котором образующиеся в процессе разрыва трещины сливаются в единый разрыв.

3.3. Для проведения расчетов используют специальное программное обеспечение, разработанное на FORTRANе. Программа рассчитывает рост траектории трещин при разрыве до пяти параллельных эквидистантно расположенных параллельных скважин в изотропной упругой среде в неравномерном поле напряжений. Полученные в результате вычислений данные экспортируются в текстовые файлы.

3.4. Входными параметрами для расчета траекторий являются (см. рисунок 11):

- 1) безразмерное расстояние между скважинами  $d$ , равное отношению фактического расстояния между скважинами гидроразрыва к их радиусу;
- 2) отношение  $qdp$  минимального  $q_0$  к максимальному  $p_0$  сжимающему напряжению;
- 3) угол  $gam$  (в градусах) между максимальным напряжением и заданной плоскостью магистральной трещины (на рисунке 11 плоскость магистральной трещины лежит вдоль оси X);
- 4) параметр  $e_{00}$ , характеризующий отношение амплитуды импульса давления рабочей жидкости в интервале гидроразрыва к максимальному сжимающему напряжению  $p_0$  (рисунок 11).

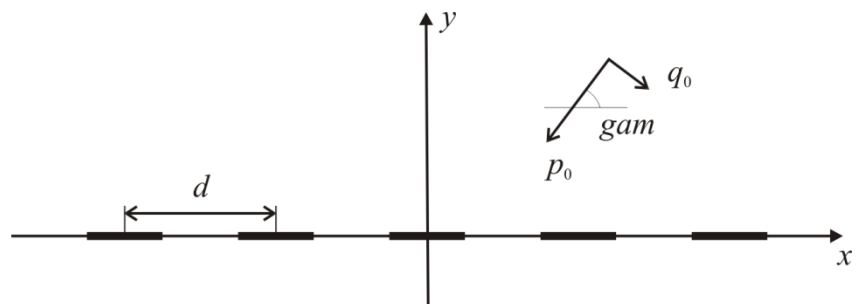


Рисунок 11 – Входные параметры программы расчета системы скважин синхронного гидроразрыва.

3.5. В качестве критериев соединения трещин в единую систему выбраны параметры  $ax_{krit}$  и  $ay_{krit}$  (рисунок 12), соответствующие размерам зоны предразрушения при формировании трещины гидроразрыва.

В соответствии с заданными критериями трещины гидроразрыва сливаются в магистральную трещину, когда расстояние между крыльями соседних трещин по оси X равно или меньше  $ax_{krit}$ , а сами трещины расположены в полосе  $\pm ay_{krit}$ .

Для углепородного массива в расчетах принимают следующие значения указанных параметров: 0.05 и 1 (относительно радиуса скважин), соответственно.



Рисунок 12 – Графическая иллюстрация критериев слияния единичных трещин синхронного продольного гидроразрыва в единую магистральную трещину.

3.6. Разработанное исследовательское программное обеспечение не имеет пользовательского интерфейса. Параметры расчета задают непосредственно в теле программы (рисунки 13, 14). Результаты вычислений записываются в текстовые файлы.

```

complex cra
n00=2*n0*nr

qdp=0.8
d=10.
axkrit=0.05
aykrit=1.

pi=4.*atan(1.)
alfa(1)=0.*pi/180.
alfa(2)=0.*pi/180.
alfa(3)=0.*pi/180.
alfa(4)=0.*pi/180.
alfa(5)=0.*pi/180.

gam=60.*pi/180.

write(*,*) 'gam,q/p,n0,nr=',gam*180./pi,qdp,n0,nr
do i=1,n0
write(*,*) 'n0,alfa=',i,alfa(i)*180./pi
end do
pause

open(11,file='itog1.txt',status='new')
open(12,file='itog2.txt',status='new')
open(13,file='itog3.txt',status='new')
open(14,file='itog4.txt',status='new')
open(15,file='itog5.txt',status='new')
open(100,file='itog_all.txt',status='new')
ke=1

```



Рисунок 13 – Ввод параметров  $qdp$ ,  $d$ ,  $ax_{krit}$  и  $ay_{krit}$ ,  $gam$ , а также имен выходных текстовых файлов.

```

do i=1,n0
e0(i)=-aq01p(i)/as01p(i)
e0(i+n0)=-aq01l(i)/as01l(i)
end do
ee=0.1
do i=1,2*n0
if (e0(i).ge.ee) then
ee=e0(i)
end if
end do

e00=2.*ee+0.05
write(*,*) 'e00=',e00

do i=1,n0
as1p(i)=e00*as01p(i)+aq01p(i)
as1l(i)=e00*as01l(i)+aq01l(i)
as2p(i)=e00*as02p(i)+aq02p(i)
as2l(i)=e00*as02l(i)+aq02l(i)
write(*,*) 'k1+-,K2+-=',as1p(i),as1l(i),as2p(i),as2l(i)
end do

```

Рисунок 14 – Ввод параметра  $e_{00}$ .

3.7. После выполнения программы результаты вычислений экспортируются в шесть текстовых файлов: пять из которых содержат координаты трещин для каждой скважины, еще один файл является сводным и содержит координаты всех трещин. Файл имеет несколько столбцов: номер расчетного шага, координата X и координата Y для правого конца трещины, координата X и координата Y для левого конца трещины. Пример файла с результатами расчета траектории для одной трещины приведен на рисунке 15.

1.0000	1.0000	.0000	-1.0000	.0000
2.0000	1.2000	.0344	-1.2000	-.0344
3.0000	1.4000	.0756	-1.4000	-.0756
4.0000	1.6000	.1223	-1.6000	-.1223
5.0000	1.8000	.1754	-1.8000	-.1754
6.0000	2.0000	.2330	-2.0000	-.2330
7.0000	2.2000	.2951	-2.2000	-.2951
8.0000	2.4000	.3628	-2.4000	-.3628
9.0000	2.6000	.4364	-2.6000	-.4364
10.0000	2.8000	.5150	-2.8000	-.5150
11.0000	3.0000	.5980	-3.0000	-.5980
12.0000	3.2000	.6852	-3.2000	-.6852
13.0000	3.4000	.7753	-3.4000	-.7753
14.0000	3.6000	.8660	-3.6000	-.8660
15.0000	3.8000	.9543	-3.8000	-.9543
16.0000	4.0000	1.0364	-4.0000	-1.0364

Рисунок 15 – Структура текстового файла с результатами вычислений.

3.8. Алгоритм определения максимального расстояния между скважинами, при котором образуется магистральная трещина, не автоматизирован и работает следующим образом:

- 1) Параметры  $gam$  и  $qdp$  задают по результатам измерений напряженного состояния дегазируемой области углепородного массива и оптимизации конфигурации системы трещин гидроразрыв, выполненной в соответствии с разделом 2.4 настоящей методики.
- 2) Значение  $e_{00}$  задают исходя из характеристик используемого для разрыва оборудования. Данный параметр показывает во сколько раз давление в скважине на момент разрыва может превышать максимальное сжимающее давление  $p_0$  в массиве.
- 3) Значения  $ax_{krit}$  и  $ay_{krit}$  принимают, соответственно, равными 0.05 и 1 значений радиуса скважины. Расстояние между скважинами  $d$  подбирают в результате вычислений. На начальном этапе расчетов значение  $d$  задают равным 5 значениям радиуса скважины. После ввода исходных данных в программу запускают расчет.
- 4) Выходные данные в сводном текстовом файле `itog_all.txt` анализируют на наличие в 3-тнем и 5-ом столбцах (Y-координаты левого и правого концов трещин) значений больших, чем значение  $ay_{krit}$ . Если такие значения имеются, то расстояние  $d$  увеличивают в 2 раза, в противном случае, расстояние  $d$  уменьшают в 1, 5 раза.
- 5) После изменения значения  $d$  вычисления повторяют, затем повторяют предыдущую операцию (подпункт 4 пункта 3.8 Методики). В результате нескольких итераций находят расстояние  $d$ , обеспечивающее максимально возможные значения Y-координат, меньшие чем  $ay_{krit}$ . Это и есть искомое расстояние между скважинами.

#### **4. Выходные данные**

4.1. Выходными данными настоящей методики, которые используют в качестве входных для проектирования подземных направленных гидроразрывов (см. Приложение Б к отчету о НИР) являются последовательность выполнения гидроразрывов, схема бурения скважин и оценка эффективности дегазации методом подземного направленного гидроразрыва.

4.2. Схема последовательности выполнения гидроразрыва определяет порядок выполнения гидроразрыва оптимизированной последовательности (ряда) по пункту 2.6.3 Методики.

В первую очередь выполняю гидроразрывы поперек угольного пласта (типы «В» и «в»).

Во вторую очередь выполняют единичные гидроразрывы вдоль простирания угольного пласта, расположенные между гидроразрывами поперек угольного пласта.

В последнюю очередь выполняются синхронные гидроразрывы системы параллельных скважин с образованием магистральной трещины вдоль протирания пласта.

4.3. Схема бурения скважин гидроразрыва, которые могут в дальнейшем использоваться и в качестве дегазационных скважин, включает координаты скважин для производства единичных гидроразрывов поперек и вдоль простирания угольного пласта, располагаемых в середине расчетного положения указанных разрывов, а также скважины синхронного гидроразрыва вдоль простирания пласта, количество которых и взаимное расположение выбирают исходя из результатов расчетов раздела 3 настоящей методики.

4.4. Оценку эффективности решения задач дегазации или подземной добычи метана методом направленного гидроразрыва выполняют в соответствии с выбранным критерием по формулам раздела 2.5 Методики.

## **5. Уплотнение дегазационной сетки методом направленного подземного гидроразрыва по данным локализации трещиноватых газонаполненных зон**

5.1. Проектирование и создание уплотняющих дегазационных сеток проводят следующим образом (см. рисунок 16):

1) В двух скважинах, расположенных в зоне предварительной дегазации углепородного массива (на участке подземной добычи метана) на удалении 100–150 м друг от друга, размещают излучатели и приемники сейсмической просвечивающей системы с шагом 5–10 м.

2) Проводят сейсмическое просвечивание методами шахтной сейсморазведки и определяют начальные значения времен пробега квазипродольных упругих волн для всех пар «приемник – излучатель».

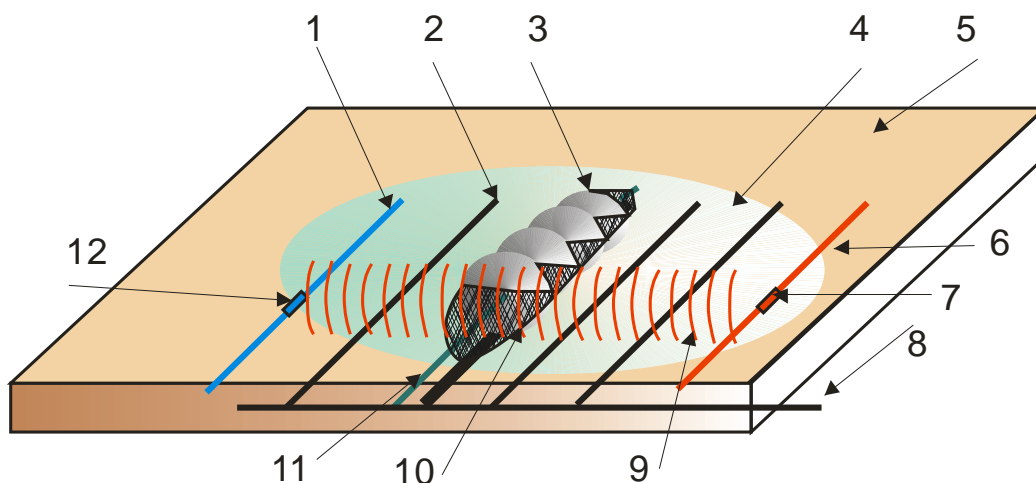


Рисунок 16 – Схема уплотняющей дегазационной сетки в трещиноватой газонаполненной зоне углепородного массива: 1 – скважина с сейсмическими приемниками; 2 – дегазационная скважина; 3 – трещина поперечного гидроразрыва; 4 – магистральная трещина продольного гидроразрыва; 5 – угольный пласт; 6 – скважина с сейсмическими излучателями; 7 – скважинный сейсмический излучатель; 8 – газопровод шахтной дегазационной системы; 9 – квазипродольная сейсмическая волна; 10 – трещиноватая газонаполненная зона; 11 – дополнительная дегазационная скважина; 12 – сейсмический приемник.

3) Проводят продольный гидроразрыв системы параллельных дегазационных скважин с созданием магистральной трещины гидроразрыва, объединяющей отдельные скважины в единую дегазационную систему (сетку). После прекращения обильного выделения воды из дегазационных скважин после гидроразрыва их подключают через водоотделители к вакуумной дегазационной системе шахты.

4) Проводят повторное сейсмическое просвечивание зоны дегазации и определяют текущие значения времен пробега квазипродольных упругих волн для всех пар «приемник – излучатель».

5) Проводят обработку сейсмических данных методом сейсмической томографии с использованием специального исследовательского программного обеспечения и определяют положение трещиноватых газонасыщенных зон.

6) В каждую из обнаруженных газонасыщенных зон пробуривают дополнительную восходящую или горизонтальную дегазационную скважину выше плоскости магистральной трещины продольного гидроразрыва вдоль направления максимальной оси проекции трещиноватой зоны на плоскость магистральной трещины.

7) На участке пересечения дополнительной дегазационной скважины и трещиноватой газонасыщенной зоны проводят множественный гидроразрывы (поинтервальные) поперечного типа с шагом 1–2 м по оси скважины с радиусом образующихся трещин 5–10 м. Гидроразрыв проводят водой или пеногелем с раскрепляющим материалом (проплатном) или без него.

8) Обустраивают устье дополнительной дегазационной скважины и подключают ее к вакуумной дегазационной системе шахты.

**Приложение №1**

К Методике проектирования и создания дегазационных сеток с использованием управляемого продольного гидроразрыва и пеногелей в качестве рабочих жидкостей разрыва

Перечень ссылочных документов

Шифр документа	Наименование документа
	Инструкция по дегазации угольных шахт, утвержденная приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01 декабря 2011 г. №679
ПБ 05–618–03	Правила безопасности в угольных шахтах, утвержденные Постановлением Госгортехнадзора России от 05.06.03 №50, зарегистрированные Министерством юстиции Российской Федерации 19.06.2003, регистрационный № 4737.
	FLAC Version 6.0, Theory and Background». – USA, Itasca, 2011
	Курленя М.В., Попов С.Н. Теоретические основы определения напряжений в горных породах. – Новосибирск: Наука, 1983.
	А.С. СССР № 368402. Способ определения напряжений в массиве осадочных пород /Курленя М.В., Леонтьев А.В. – БИ, №9, 1973.

## Приложение №2

К Методике проектирования и создания дегазационных сеток с использованием управляемого продольного гидроразрыва и пеногелей в качестве рабочих жидкостей разрыва

### Термины, понятия и условные обозначения

$\sigma_1(x,y,z)$  и  $\sigma_2(x,y,z)$  – напряженное состояние дегазируемой области до и после разгрузки массива, соответственно, Н/м<sup>2</sup>;

$S_d$  – площадь дегазационной системы (поверхность рабочих участков скважин и раскрытых участков трещин), м<sup>2</sup>;

$V$  – объем разгружаемой области, м<sup>3</sup>;

$T$  – период дегазации, сут;

$\Delta\sigma_{av}$  – среднее значение разгрузки напряжений дегазируемого объема углепородного массива, Н/м<sup>2</sup>;

$g_0$  – удельное начальное газовыделение в дегазационную скважину, м/сут;

$a$  – коэффициент темпа снижения газовыделения дегазационной скважины во времени, 1/сут;

$K$  – коэффициент увеличения степени дегазации, раз;

$d$  – безразмерное расстояние между скважинами, равное отношению фактического расстояния между скважинами гидроразрыва к их радиусу;

$q_{dp}$  – отношение минимального  $q_0$  к максимальному  $p_0$  сжимающему напряжению;

$gam$  – угол (в градусах) между максимальным напряжением и заданной плоскостью магистральной трещины;

$e_{00}$  – параметр  $e_{00}$ , характеризующий отношение амплитуды импульса давления рабочей жидкости в интервале гидроразрыва к максимальному сжимающему напряжению  $p_0$  ;

$a_{xkrit}$  ,  $a_{ykrit}$  – размеры зоны предразрушения при формировании трещины гидроразрыва по осям X и Y соответственно.