

УДК 622.834.2

Васильев Л.М., д-р техн. наук,
Демченко В.С., канд. техн. наук, ст.науч.сотр.,
Демченко С.В., магистр,
Мальцева В.Е., магистр,
Уколова Т.М., магистр
(ИГТМ НАН Украины),
Чугунков И.Ф., магистр
(ПАО «Краснодонуголь»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕРМЕТИЗАТОРА СКВАЖИН ДЛЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПОРОД КРОВЛИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Васильев Л.М., д-р техн. наук,
Демченко В.С., канд. техн. наук, ст.наук.співр.,
Демченко С.В., магистр,
Мальцева В.Є., магистр,
Уколова Т.М., магистр
(ИГТМ НАН України),
Чугунков І.Ф., магистр
(ПАТ «Краснодонвугілля»)

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕРМЕТИЗАТОРА СВЕРДЛОВИН ДЛЯ ГІДРОРОЗРИВУ ПОРІД ПОКРІВЛІ ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА

Vasiliev L.M., D.Sc., Professor,
Demchenko V.S., Ph.D. (Tech.),
Demchenko S.V., M. S. (Tech.),
Maltseva V.Ye., M. S. (Tech.),
Ukolova T.M., M. S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine),
Chygunkov I.F., M. S. (Tech.)
(PJSC «Krasnodoncoal»)

DETERMINATION OF PLUG PARAMETERS FOR ROCK ROOF HYDRAULIC FRACTURING IN THE COAL SEAM

Аннотация. Рассмотрена конструкция предложенного авторами герметизатора и выявлены его преимущества по сравнению с существующими в горном деле. Определена величина сжатия упругой втулки, при которой надежно герметизируется скважина. Определено требуемое усилие сжатия упругой втулки. Установлена зависимость давления гидроразрыва пород кровли от глубины ее залегания.

Получено значение диаметра сжатой втулки с использованием коэффициента Пуассона. Приведен пример расчета давления жидкости, необходимого для собственно разрыва породы и давления жидкости, необходимого для преодоления горного давления.

Проведен анализ непосредственной кровли угольных пластов Донецкого бассейна и получены результаты для определения требуемого напорного давления насосной установки при проведении работ по гидроразрыву пород на большой глубине (1000 м и более).

Ключевые слова: скважина, герметизатор, усилие, давление, гидроразрыв, кровля.

Введение. Глубина шахт по добыче угля в Донецком бассейне значительно увеличилась и может составлять 1000 м и более. При этом значительно растет количество труднообрушающихся кровель, что существенно осложняет добычу угля, так как возникают большие площади зависания таких кровель. Это приводит к большим нагрузкам на крепь и существенному повышению напряжения в очистном забое, что может спровоцировать внезапные выбросы угля и газа.

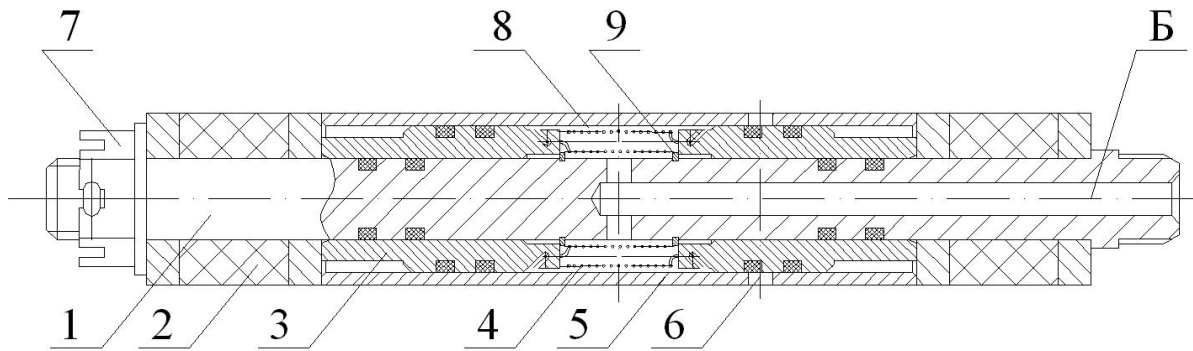
Для борьбы с отрицательными явлениями в лавах с труднообрушающимися кровлями применяются различные традиционные методы разупрочнения основной кровли, направленные на уменьшение шага ее посадки [1-3]. Это, прежде всего, гидрообработка кровли, передовое торпедирование и их сочетание. Главным недостатком этих методов является невозможность направлено управлять процессом разупрочнения кровли, что негативно сказывается на ведении очистных работ.

В настоящее время существует метод, при котором для ослабления кровли, производят расслоение ее пород направленными по напластованию протяженными трещинами [4]. Для этого в стенках скважины или шпура в породе кровли специальным устройством [5] прорезается иницирующая щель необходимой формы и размеров. В скважину нагнетают жидкость, которая создает давление на стенки щели, в ее вершине происходит концентрация растягивающих напряжений, щель страгивается и начинает развиваться в заданном направлении.

Для подачи жидкости непосредственно в щель производят герметизацию зоны ее нахождения односторонними или двусторонними герметизирующими устройствами (пакерами) [6, 7]. Принцип работы односторонних и двусторонних пакеров одинаков, а основное преимущество последних заключается в том, что при нагнетании рабочей жидкости под высоким давлением, нагрузка на уплотняющие элементы противоположно направлена и в этом случае не происходит выдавливание пакера из скважины.

Целью данной работы является определение параметров и разработка герметизатора скважин для гидроразрыва пород кровли угольного пласта.

Изложение основного материала. Авторами статьи предлагается разработанный ими двусторонний герметизатор скважин (рисунок 1), в котором они постарались учесть недостатки известных подобных герметизаторов. Он состоит из цилиндрического корпуса 1, в котором выполнен канал Б для подачи рабочей жидкости. На концах корпуса 1 выполнены резьбы для соединения с магистралью с одной стороны и навинчивания стопорной гайки 7 с другой стороны. На корпус 1 надеты упругие уплотнительные элементы 2, а между ними установлен механизм сжатия. Механизм сжатия имеет два поршня 3, соединенных пружинами растяжения 4, и общий цилиндр 5, в котором выполнено радиальное отверстие 6. Стопорная гайка 7 фиксирует в исходном положении упругие уплотнительные элементы 2 и механизм сжатия.



1 – корпус; 2 – упругие уплотнительные элементы; 3 – поршень; 4 – пружины растяжения; 5 – цилиндр; 6 – радиальное отверстие; 7 – стопорная гайка; 8 – рабочая камера; 9 – упор

Рисунок 1 - Герметизатор

Поршни 3 и цилиндр 5 образуют рабочую камеру 8, соединенную с каналом Б. Корпус 1 и поршни 3 снабжены уплотнительными кольцами для обеспечения герметизации по сопрягаемым поверхностям скольжения. Радиальное отверстие 6 выполнено так, что при определенном положении поршня оно соединяется с камерой 8. На корпусе 1 установлены также упоры 9 для ограничения хода поршней 3.

Герметизатор работает таким образом. Перед началом работы он накручивается на штангу, вставляется в скважину и подается в зону иницирующей щели. Потом через канал Б подается под давлением рабочая жидкость в камеру 8 механизма сжатия, поршни 3 которого начинают раздвигаться и, двигаясь по корпусу 1, растягивают пружины 4, одновременно сжимают упругие уплотнительные элементы 2, которые расширяются в радиальном направлении, соприкасаются со стенками скважины (шпура) и герметизируют ее с двух сторон щели. В процессе герметизации скважины настанет положение поршня, когда он уже не перекрывает радиальное отверстие 6. Тогда рабочая жидкость начинает поступать в изолированную упругими уплотнительными элементами зону щели, которая начинает раздвигаться и развиваться в нужном направлении.

Возникает момент, когда происходит гидроразрыв породы кровли и давление нагнетания резко падает. В этом случае подачу жидкости прекращают. Тогда упругие уплотнительные элементы разжимаются, преодолевают сопротивление жидкости, выталкиваемой из цилиндра, силы трения поршней 3 в общем цилиндре 5 и возвращают их в исходное положение. При этом пружины 4 сжимаются и дополнительно воздействуют на поршни 3 для полного их возвращения до упоров 9.

В отличие от ранее известных герметизаторов механизм сжатия имеет два одинаковых поршня, при движении которых в общем цилиндре возникают приблизительно равные силы трения, а значит и равные скорости сжатия упругих уплотнительных элементов. Это позволяет одновременно герметизировать оба края зоны щели в скважине. В ином случае, когда быстрее происходит герметизация края зоны щели с той стороны, где находится радиальное отверстие 6, оно сообщается с рабочей камерой механизма сжатия и рабочая жидкость

может проникнуть в скважину через другой край зоны щели, который еще не успел загерметизироваться. Кроме того, недостатком известных подобных герметизаторов является низкая надежность полного возвращения поршневой пары и уплотнительных упругих элементов в исходное положение. Это объясняется тем, что величины упругих сил уплотнительных элементов, которые возвращают поршневую пару в исходное положение, изменяются и в конце хода уменьшаются так, что не могут преодолеть силы трения, возникающие при относительном скольжении сопрягаемых поверхностей. В этом случае зазоры между уплотнительными элементами и стенками скважины не восстанавливаются до начального размера, что может привести к заклиниванию и разрушению герметизатора при его извлечении из скважины.

В предлагаемом авторами герметизаторе скважин этого не происходит, потому что полное возвращение поршней в исходное положение (до упоров) обеспечивают пружины растяжения, которые установлены на поршнях с предварительным натяжением. Все это позволило повысить надежность работы герметизатора и сохранить его работоспособность при извлечении из скважины.

Рассмотрим теперь технические характеристики спроектированного герметизатора. Определим, прежде всего, величину хода поршня, который сжимает упругую втулку и, вследствие этого, она расширяется в радиальном направлении до размера равного диаметру скважины. Для этого рассмотрим схему начального и конечного положения втулки при ее сжатии (рисунок 2).

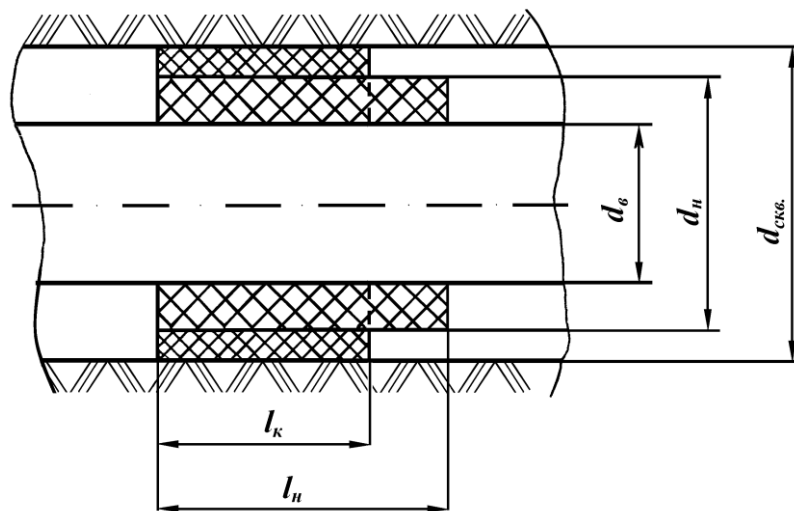


Рисунок 2 – Схема сжатия упругой втулки

На этой схеме: $d_{скв.} = 0,045$ м – диаметр скважин; $d_n = 0,042$ м – наружный диаметр втулки до сжатия; $d_e = 0,02$ м – внутренний диаметр втулки; $l_n = 0,06$ м – начальная длина втулки; l_k – длина втулки после сжатия; h – ход поршня при сжатии втулки или величина, на которую она сожмется.

Для определения хода поршня определим длину втулки после сжатия. Приравняем объемы втулки до и после сжатия

$$\frac{\pi \cdot l_H}{4} (d_H^2 - d_г^2) = \frac{\pi \cdot l_K}{4} (d_{скв.}^2 - d_г^2),$$

отсюда

$$l_K = \frac{l_H (d_H^2 - d_г^2)}{d_{скв.}^2 - d_г^2}$$

и окончательно

$$h = l_H - l_K = l_H \left(1 - \frac{d_H^2 - d_г^2}{d_{скв.}^2 - d_г^2} \right) = 0,06 \left(1 - \frac{0,042^2 - 0,02^2}{0,045^2 - 0,02^2} \right) \approx 0,01 \text{ м.}$$

Тогда продольную деформацию определим по формуле

$$\xi_{прод} = \frac{h}{l_H},$$

а поперечную деформацию выразим через коэффициент Пуассона

$$\xi_{поп.} = \mu \cdot \xi_{прод} = \frac{\mu \cdot h}{l_H};$$

Теперь можно определить диаметр упругой втулки после сжатия ее на величину h

$$d_{сж} = d_H + d_H \cdot \xi_{поп.} = d_H \left(1 + \frac{\mu \cdot h}{l_H} \right) = 42 \cdot \left(1 + \frac{0,496 \cdot 0,01}{0,06} \right) = 0,046 \text{ м,}$$

где $\mu = 0,496$ – коэффициент Пуассона для полиуретана СКУ ПФЛ-100. Полученное значение диаметра сжатой втулки показывает, что она уплотняет (герметизирует) скважину диаметром 45 мм при ходе поршня $h = 10 \div 12$ мм. Определим силу необходимую для сжатия упругой втулки герметизатора на величину h по формуле

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot F},$$

отсюда

$$P = \frac{E \cdot F \cdot \Delta l}{l} = \frac{E \cdot \pi(d_n^2 - d_g^2) \cdot h}{l_n} = \frac{150 \cdot 10^{-5} \cdot 3,14(0,042^2 - 0,02^2) \cdot 0,01}{0,06} \approx 10707 \text{ Н,}$$

где $E=150 \cdot 10^5$ Н/м² – модуль упругости для полиуретана марки СКУ ПФЛ-100; F – площадь поперечного сечения втулки, м; Δl – величина укорочения длины втулки, м; l – длина втулки до сжатия см; P – продольная сила, Н.

При этом давление в напорной магистрали герметизатора определим по формуле:

$$P_{зep.} = \frac{P}{F_n} = \frac{4P}{\pi(d_n^2 - d_g^2)} = \frac{4 \cdot 10707}{3,14 \cdot (0,036^2 - 0,02^2)} = 152 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

где F_n – площадь поршня, м²; $d_n = 0,036$ м – диаметр поршня.

Величина максимального давления жидкости при проведении работ по направленному гидроразрыву кровли определяется из выражения

$$P_n = P_p + P_\delta,$$

где P_p – давление жидкости, необходимое для разрыва породы кровли; P_δ – давление жидкости, необходимое для преодоления горного давления.

Значение P определяется по формуле Гриффитса (при допущении, что жидкость на всем протяжении заполняет щель)

$$P_p = [\pi \cdot E \cdot \gamma_m / 2(1 - \mu^2) \cdot R]^{1/2} = [3,14 \cdot 7 \cdot 10^{10} \cdot 80 / 2 \cdot (1 - 0,13^2) \cdot 0,05]^{1/2} = 134 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

где $E = 7 \cdot 10^{10}$ Н/м² – модуль упругости песчаника [8]; $\gamma_m = 80$ Дж/м² – плотность поверхностной энергии песчаника [9]; $\mu = 0,13$ – коэффициент Пуассона для песчаника [8]; $R = 0,05$ м – радиус инициирующей щели (согласно технической характеристики спроектированного щелеобразователя) [10].

Для расчета взяты значения механических свойств песчаника, поскольку непосредственная кровля угольных пластов Донецкого бассейна в основном состоит из различных алевроитов и песчаников.

Глубина разработки угольных пластов Донецкого бассейна в настоящее время достигает величины $H=1000$ м и более. Тогда давление жидкости, необходимое для преодоления горного давления, по определим по формуле

$$P_\sigma = \rho \cdot g \cdot H = 2,66 \cdot 10^2 \cdot 9,81 \cdot 1000 = 260,9 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

где $\rho = 2,66 \cdot 10^2$ кгс·с²/м⁴ – средняя плотность вышележащих пород; $g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения; $H = 1000$ м – расстояние от поверхности.

В общем, давление, развиваемое насосной установкой для гидроразрыва

песчаника на глубине 1000 м должно составлять

$$P_n = 13,4 + 26,1 = 39,5 \text{ МПа.}$$

По аналогии с приведенным выше расчетом проведен расчет давления гидроразрыва песчаника от глубины его залегания, и данные сведем в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость давления гидроразрыва песчаника от глубины его залегания

	Глубина залегания пласта, м					
	10	50	100	300	500	1000
P_p , МПа	13,37	13,37	13,37	13,37	13,37	13,37
P_δ , МПа	0,261	1,305	2,61	7,83	13,05	26,1
P_n , МПа	13,631	14,675	15,98	21,2	26,42	39,47

Выводы.

1. Анализ приведенной таблицы показал, что для выполнения работ по гидроразрыву пород кровли на большой глубине необходимо иметь насосную установку, которая может развивать давление нагнетания до 45 МПа.

2. Расчетным путем определен ход поршня устройства для надежной герметизации области щели в скважине диаметром 45 мм, который составляет 10–12 мм.

3. Определена сила, необходимая для сжатия полиуретановой втулки на 10 – 12 мм, которая составляет 10,7 кН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов, Ю.А. Управление труднообрушаемыми кровлями методом передового торпедирования / Ю.А. Семенов, М.М. Макушев. – М.: Экспресс информ. ЦНИЭИуголь, 2008. – 4 с.
2. Кочетов, Г.Н. Гидрообработка породного массива / Г.Н. Кочетов, А.Н. Осипов. – В кн. Новые методы разупрочнения труднообрушаемых кровель на угольных шахтах. – М.: Недра, 2009. – С. 66-73.
3. Barker, D.V. Fracture Control in Tunnel Blasting / D.V. Barker, L.W. Fournery, J.W Dally // Transportation Research Record, 2002. -No. 648. - pp. 97-103.
4. Чернов, О.И. Гидродинамическая стратификация монолитных прочных пород в качестве способа управления труднообрушающейся кровлей / О.И.Чернов // ФТПРПИ. – 2002. - №2. – С. 36-40.
5. Пат. № 108005 UA, МПК E21C 37/04 (2006.01). Скважинный щелеобразователь / Л.М. Васильев, В.С.Демченко, С.В.Демченко, И.Ф. Чугунков; заявитель и патентодержатель ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины; заявл. 01.07.13; опубл. 10.07.14, Бюл. № 13.
6. Беленков, А.Ф. Исследование, разработка и применение пакерных устройств в бурении / А.Ф. Беленков. – М.: Недра, 2006. – 160 с.
7. Лещев, Д.А. Разделительный тампонаж в скважинах / Д.А. Лещев. – М.: Гостоптехиздат, 2003. – 61 с.
8. Ржевский, В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новак. М.: Недра, 1978. – 390 с.
9. Алексеев, Д.А. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений / А.Д. Алексеев, В.Н. Рева, Н.А. Рязенцев. К.: Наукова думка, 2009. – 168 с.
10. Определение усилия подачи резца и частоты вращения щелеобразователя при резании щели в породах различной крепости / Л.М. Васильев, В.С. Демченко, С.В. Демченко [и др.] / Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 107. - С. 172-178.

REFERENCES

1. Semenov, Y.A. and Makushev, M.M. (2008), “*Upravlenie trudnoobrushaemyi krovyami metodom peredovogo torpedirovaniya*” [Managing difficult by the breaking roofs advanced torpedoing], Express Inf. CNIEIcoal, Moscow, Russia.
2. Kochetov, G.N. and Osipov, A.N. (2009), “*Gidroobrabotka porodnogo massiva*” [Hydrotreating intermarry array], Nedra, Moscow, Russia, pp. 66 - 73.
3. Barker, D.B., Fourney, L.W. and Dally, J.W. (2002), “Fracture Control in Tunnel Blasting”, *Transportation Research Record*, no.648, pp. 97-103.
4. Chernov, O.I. (2002), “Hydrodynamic stratification monolithic solid rock as a way to control it is difficult to collapsing roof”, FTTPRI, no. 2, pp. 36 - 40.
5. Vasiliev, L.M., Demchenko, V.S., Demchenko, S.V. and Chygunkov, I.F., M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2013), “*Skvaginnyi cheleobrazovatel*” [Downhole the gap formed], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 108005.
6. Belenkov, A.F. (2006), “*Issledovanie, razrabotka i primeneniye pakernykh ustroystv v bureanii*” [Research, development and application of devices in the drilling packer], Nedra, Moscow, Russia.
7. Lechev, D.A. (2003), “*Razdelitelnyi tamponahz v skvazhinakh*” [Separating plugging wells], Gostoptechzdat, Moscow, Russia.
8. Rhzevskiy, V.V. and Novak, G.Y. (1978), “*Osnovy fiziki gornykh porod*” [Fundamentals of Physics of rocks], Nedra, Moscow, Russia.
9. Alekseev, D.A., Reva, V.N. and Ryasentsev, N.A. (2009), “*Razrusheniye gornykh porod v obemnom pole szhimayushchikh napryazheniy*” [Destruction of rocks in bulk compressive stress field], Scientific Thought, Kyiv. Ukraine.
10. Vasiliev, L.M., Demchenko, V.S., Demchenko, S.V., Chygunkov, I.F. (2012), “The Determination of cotter feed thrust and rotation frequency of gap maker in cutting the gap in the rocks of varying strength”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technical Mechanics], no. 107, pp. 172-178.

Об авторах

Васильев Леонид Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, Demchik@bk.ru.

Демченко Вячеслав Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, Demchik@bk.ru.

Демченко Сергей Вячеславович, магистр, младший научный сотрудник в отделе Проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, Demchik@bk.ru.

Мальцева Вера Евгеньевна, магистр, ведущий инженер в отделе проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, Demchik@bk.ru.

Уколова Татьяна Михайловна, магистр, ведущий инженер в отделе проблем разрушения горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, Demchik@bk.ru.

Чугунков Игорь Федорович, инженер, директор публичного акционерного общества «Краснодонуголь» (ПАО «Краснодонуголь»), Краснодар, Украина, Demchik@bk.ru.

About the authors

Vasilyev Leonid Mikhailovich, Doctor of Technical Science (Ph.D), Professor, Head of Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, Demchik@bk.ru.

Demchenko Vyacheslav Sergeevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Demchik@bk.ru.

Demchenko Sergey Vyacheslavovich, Master of Science, Junior Researcher in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, Demchik@bk.ru.

Maltseva Vera Yevgenevna, Master of Science, Lead Engineer in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, Demchik@bk.ru.

Ukolova Tatyana Michaylovna, Master of Science, Lead Engineer in Department of Rock Breaking Problems, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, Demchik@bk.ru.

Chugunkov Igor Fedorovich, Engineer, Director of Public Joint Stock Company «Krasnodoncoal» (PJSC «Krasnodoncoal»), Demchik@bk.ru.

Анотація. Розглянута конструкція запропонованого герметизатора та визначені його переваги по співвідношенню існуючих в гірничій справі. Визначені величини тиску гнучкої втулки, при якій надійно герметизується свердловина. Визначено необхідну силу тиску гнучкої втулки.

Встановлено залежність тиску гідророзриву порід покрівлі від глибини її залягання. Отримано значення діаметра стиснутої втулки з використанням коефіцієнта Пуассона. Приведений приклад розрахунку тиску рідини, необхідного для власного розриву гірських порід і тиску рідини, щоб здолати гірський тиск. Результати розрахунків приведені в таблиці.

Аналіз попередньої покрівлі вугільних пластів Донецького вугільного басейну визначив, що вона складається завжди із різних алевролітів і пісковиків. Зроблено висновок, що для проведення робіт по гідророзриву порід покрівлі на великій глибині (1000 м і більше) необхідно використовувати нагнітальний пристрій, що виробляє тиск не менш 45 МПа.

Ключові слова: свердловина, герметизатор, зусилля, тиск, гідророзрив, покрівля.

Abstract. Design of a sealing plug proposed by the authors and its advantages in comparison with existing ones are considered in the article. A value of flexible plug compression is determined at which a borehole is securely sealed. A rate of flexible plug compression needed for proper sealing of the borehole is specified. Dependence is set between hydraulic fracturing pressure in the rock roof and depth of the roof occurrence.

Diameter of the sealing plug was calculated by the Poisson's ratio. An example is given of how to calculate fluid pressure needed for the rocks hydraulic fracturing, and fluid pressure needed for resisting against rock pressure. Results of the calculations are summarized in the table.

Analysis of the immediate roof in the coal seams of Donets Basin shows that the roof consists of various siltstones and sandstones. It is concluded that for the roof rocks hydraulic fracturing at great depths (1000 m or more) it is necessary to use a pump station with head pressure up to 45 MPa.

Keywords: borehole, sealing plug, effort, pressure, hydraulic fracturing, roof.

Стаття поступила в редакцію 13.10.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук М.С. Четвериком