DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.35.005 УДК 622.831.1 © В.О. Торро, А.В. Ремезов, Р.Р. Зайнулин, 2018

B.O. ТОРРО старший преподаватель Филиал КузГТУ, г. Междуреченск e-mail: torrovo@mail.ru



А.В. РЕМЕЗОВ д-р техн. наук, профессор кафедры КузГТУ, г. Кемерово e-mail: lion742@mail.ru







ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТОВ КОНЦЕНТРАЦИИ И ДЕКОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ХАРАКТЕРНЫХ ЗОНАХ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ

Один из вариантов решения актуальной для горной промышленности задачи выявления максимально возможного количества закономерностей формирования напряженного состояния массива горных пород в различных горно-геологических условиях в ходе ведения горных работ состоит в конкретизации факторов, зависимостей и необходимых условий, определяющих параметры коэффициентов концентрации и деконцентрации напряжений при проявлении опорного давления в характерных зонах выемочных столбов.

В настоящее время при решении задач о распределении напряжений в массиве в ходе ведения горных работ в различных условиях в качестве исходных гипотез напряженного состояния угля и пород в не подверженном техногенному воздействию массиве используются различные версии.

Анализ существующих гипотез: сплошной среды, пластичной среды, упруго-пластичной среды, наследственной ползучести, плит, балок и результаты натурных исследований, проведённых на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» за период 2010–2014 гг., показывают возможность их практического использования для определения параметров опорного давления в ходе разработки паспортов выемочных участков при условии определения диапазона применения, уточнения значений вводимых параметров, с обязательной проверкой результатов расчётов на адекватность.

Ключевые слова: ГОРНЫЙ МАССИВ, ОПОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ГИПОТЕЗА СПЛОШ-НОЙ СРЕДЫ, ГИПОТЕЗА ПЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ, ГИПОТЕЗА УПРУГО-ПЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ, ГИПОТЕЗА НАСЛЕДСТВЕННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ, ГИПОТЕЗА ПЛИТ, ГИПОТЕЗА БАЛОК, НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД, КОЭФФИЦИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИИ И ДЕКОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ, ОБРУШЕНИЕ ПОРОД КРОВ-ЛИ, МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ.

Введение

Вопрос выявления максимально возможного количества закономерностей формирования напряженного состояния массива горных пород в различных горно-геологических условиях в ходе ведения горных работ является весьма актуальным, поскольку необходимость определения его параметров постоянно присутствует в горнодобывающей практике. Один из вариантов решения этой задачи состоит в конкретизации факторов, зависимостей и необходимых условий, определяющих параметры коэффициентов концентрации и деконцентрации напряжений при проявлении опорного давления в характерных зонах выемочных столбов.

Анализ гипотез напряженного состояния угля и пород в не подверженном техногенному воздействию массиве

В настоящее время при решении задач о распределении напряжений в массиве в ходе ведения горных работ в различных условиях в качестве исходных гипотез напряженного состояния угля и пород в не подверженном техногенному воздействию массиве используются различные версии [1–24]:

1. Горный массив рассматривается как упругая сплошная среда, в которой вертикальные напряжения определяются как

$$\sigma = \gamma \cdot H$$
, (1)

а горизонтальные как

$$\frac{\mu}{1-\mu} \cdot \gamma H, \qquad (2)$$

где µ — коэффициент Пуассона, равный для песчаников 0,2–0,3, для алевролитов и аргиллитов — 0,25–0,4, для утлей — 0,2–0,35.

2. Горный массив рассматривается как пластическая среда, в которой как вертикальные, так и горизонтальные напряжения одинаковы и равны весу толщи пород (*γ*·*H*).

3. Горный массив рассматривается как упруго-пластичная среда, в которой напряжения могут быть определены из выражения

 $\sigma_{\alpha} = K_{\alpha} \gamma H = (\cos^2 \alpha + \eta \cdot \sin^2 \alpha) \gamma H$, (3) где α — угол падения пласта, град.; η — коэффициент бокового распора пород, величина которого зависит от глубины, и для глубин 300–400 м, по данным экспериментальных исследований, составляет для песчаников 0,3– 0,5, для алевролитов — 0,35–0,6, для аргиллитов — 0,4–0,7 [2].

Ряд исследователей [3, 4] указывают, что вид напряженного состояния в нетронутом массиве в первую очередь зависит от глубины. Если на небольших глубинах пластические свойства пород проявляются слабо, и массив можно рассматривать как упругую сплошную среду, то на достаточно больших глубинах пластические деформации могут привести к выравниванию напряжений до величины γН, и тогда массив нужно рассматривать как упруго-пластичную среду с изменяющимся с глубиной коэффициентом бокового распора. На месторождениях с наклонным и крутым падением пластов необходимо учитывать возможность существенного изменения напряженного состояния массива за счет тектонических сил.

Некоторые исследователи [5, 6] считают, что для определения напряженного состоя-

ния массива в различных горно-геологических условиях необходимо проведение специальных шахтных исследований.

В ходе проведения натурных исследований напряженного состояния массива методом разгрузки [7] на месторождениях, опасных по горным ударам, установлено следующее:

1. В связи с продолжающимися тектоническими процессами горизонтальные напряжения превышают в 2–4 раза вертикальные, особенно на небольших глубинах.

2. Выявлена зависимость изменения суммы горизонтальных напряжений с глубиной.

Выполним оценку напряжённого состояния массива для условий исследуемых лав № 1382 и № 1384 по методике [7]:

$$\sigma_x + \sigma_y = 27 + 0.7 \cdot H$$
;
 $\sigma_{z1384} = 27 + 0.7 \cdot 240 = 195$ MIIa;

$$\sigma_{z_{1382}} = 27 + 0.7 \cdot 300 = 237 \,\mathrm{M\Pi a.} \tag{4}$$

Итоговые результаты показывают рост напряжённости в породном массиве, расположенном над лавами № 1382 и № 1384.

Оценим напряжённое состояние массива для условий исследуемых лав № 1382 и № 1384 по методике, изложенной в [1]:

$$\sigma_x = (0,4 \div 0,5)\gamma H,$$

 $\sigma_{x1384} = 0,4 + 2,3 \cdot 240 = 220 \,\mathrm{M\Pi a};$

σ_{z1382} = 27+0,7·300 = 237 МПа. (5) В результате оценки напряжённого состояния массива с использованием различных методик [1, 7] установлен рост напряжений в массиве, расположенном над выемочными столбами № 1382 и № 1384. Это объясняет изменение характеристик динамики процесса обрушения пород кровли (интенсивность и объёмность) в указанных зонах.

Однако следует отметить, что указанные методики дают весьма приблизительные результаты величин параметров напряжённого состояния массива, поскольку основаны на гипотезах безусловно оригинальных, но не охватывающих всё многообразие проявлений горного давления, возникающих в ходе техногенного воздействия на массив. В частности, закономерностей формирования проявлений опорного давления, возникающих при ведении очистных работ.

Есть целый ряд методик расчёта опорного давления, разработанных отечественными и зарубежными учёными [8–24]. Например, при решении этого вопроса рассматривается осесимметричная задача, с учётом раздавливания краевой зоны пласта. В результате предлагается кривая распределения опорного давления впереди длинного очистного забоя, которая состоит из двух ветвей: восходящей, в направлении от забоя к массиву, и нисходящей [10].

Для нисходящей ветви принята формула А.Н. Динника

$$\sigma_z = \gamma H \left(1 - ke^{\frac{-2x}{l}} \right), \tag{6}$$

где *k* — коэффициент концентрации напряжений на кромке пласта.

Для восходящей ветви при неподвижном забое предлагается формула

$$\sigma_{yt} = c \frac{e^{fx}}{h\xi} + \left(\gamma H \left(1 - ke^{-\frac{2x}{l}} - \frac{ce^{fx}}{h\xi}\right)\right) e^{-\frac{t}{T}}, \quad (7)$$

где c — сцепление угля; f — коэффициент трения угля по углю; h — половина мощности пласта угля; ξ — коэффициент бокового давления; t — время; T — реологический коэффициент, характеризующий время релаксации напряжений при разрушении угля.

Формулы (6, 7) непригодны для расчётов в случае режима установившегося движения покрывающей толщи пород [14].

Согласно [14] особенности динамики опорного давления в этот период сводятся к следующему:

1. Опорное давление создается совместным действием веса пород покрывающей толщи до земной поверхности и суммой изгибающих моментов отдельных слоев пород и их пачек, зависающих над забоем, до самой поверхности. Параметры опорного давления нестабильны и по мере подвигания забоя изменяются в весьма широких пределах. Т. е. динамика опорного давления обуславливается динамикой изменений пролетов зависающих пород покрывающей толщи, деформациями и разрушениями краевой зоны очистного забоя и вмещающих пород (кровли и почвы), а также технологическими параметрами: скоростью подвигания очистных работ, шириной захвата, длиной лавы и др.

Зависания пород покрывающей толщи создают суммарный изгибающий момент — $\sum_{i=1}^{n} M_i$ (рис. 1), который в определённые моменты достигает абсолютного максимума.



Рис. 1. Характер распределения опорного давления перед очередной осадкой основной кровли, угол падения пласта α = 0°

Доля влияния $\sum_{i=1}^{n} M_i$ на интенсивность опорного давления и характер его распределения, как правило, является весьма значительной и может в несколько раз превосходить влияние литостатического давления, а пределы изменений максимальной интенсивности опорного давления составляют

$$q_{max} \ge (2 \div 5) \cdot \sigma_z \,. \tag{8}$$

2. В покрывающей толще к моментам, когда зависания пород стремятся к максимумам, происходит расслоение массива (рис. 1), вследствие чего среда теряет сплошность.

 Характер распределения опорного давления в плоскости пласта определяется максимумом влияния опорного давления лавы на околоштрековый целик и массив пласта, расположенный ниже штрека по падению, как правило, не в створе с лавой. Как и в других методиках, формулы для расчета нисходящей и восходящей ветвей, (6, 7), предложенные А.Н. Динником, могут быть использованы для расчетов опорного давления, опять же, в конкретных условиях. И в этом случае основной проблемой здесь является выбор коэффициентов, отвечающих конкретным условиям.

Для выполнения задачи по расчёту параметров опорного давления в лавах № 1382 и № 1384 с использованием методик, указанных в [10, 14], разработаны расчетные схемы (рис. 2, 3, 4).

Зависание пород покрывающей толщи в лаве № 1382 создает суммарный изгибающий момент — $\sum_{i=1}^{n} M_i$, который в определенные периоды достигает абсолютного максимума. Примем допущение равномерного распределения сил давления q (рис. 2, 4).

Геомеханика и геотехнология



Рис. 2. Расчетная схема к определению опорного давления в лаве № 1382

ной силы Q(x), изгибающего момента M(x), иметь вид, представленный на рисунке 3.

Тогда упрощенная схема расчета попереч- согласно теории изгибающих моментов, будет



Рис. 3. Схема поперечных сил, эпюра моментов плиты размером l и равномерного распределения сил давления *q* в очистном забое № 1382

60

Согласно [14] в ориентировочных расчетах
$$q > \gamma_{cp} H$$
, (9)
где γ_{cp} — средний объемный вес покрывающих пород, т/м³, для нашего случая — 2,3 т/м³; H— глубина работ, м (авторами дополняется — в рассматриваемой точке), для нашего случая — 250 м.

$$Q(x) = \frac{1}{2} q l. \tag{10}$$

$$M(x) = \frac{1}{2}ql^2.$$
 (11)

Расчётная схема для лавы № 1384 представлена на рис. 4.



Рис. 4. Расчетная схема к определению опорного давления в лаве № 1384

По аналогии упрощенная схема расчета поперечной силы Q(x), изгибающего момента M(x), согласно теории изгибающих моментов, в лаве № 1384 имеет вид, представленный на рис. 3.

Проверка рассчитанной нагрузки на величину максимальных напряжений на контуре для рассматриваемых жестко защемленных плит при равномерно распределенной нагрузке выполняется по методике, указанной в [14]:

$$\sigma_{max.\kappa} = \frac{1}{4} \beta \left(\frac{a}{b} \right) (1 - \mu^2) q \frac{b^2}{h^2}, \qquad (12)$$

где μ определяется коэффициентом поперечной деформации, но не дается его параметрическая оценка [14], по всей вероятности, под μ надо понимать коэффициент поперечного сжатия, его также называют коэффициентом Пуассона. Коэффициент поперечного сжатия изменяется в небольших пределах:

$$K_{n.cck} = 0, 1 \div 0, 4.$$
 (13).

В [1] µ определяется как коэффициент Пуассона, равный для песчаников 0,2-0,3, для алевролитов и аргиллитов — 0,25-0,4, для углей — 0,2-0,35. В свою очередь, ряд авторов [7] называют v, коэффициентом поперечной деформации, характеризующим расширение в плоскости изотропии при сжатии в той же плоскости; v, — коэффициентом поперечной деформации, характеризующим расширение в направлении оси упругой симметрии z при сжатии в плоскости изотропии. Там же в формуле распространения продольной волны встречается обозначение v — коэффициент Пуассона материала, и приводятся его параметры в пределах 0,09-0,45 [7]. Следовательно, можно принять в формуле (12) коэффициент в пределах $\mu = 0,09-0,45$ на основании консенсуса положений рассматриваемых источников.

Далее определяется *q* — интенсивность нагрузки; *h* — мощность кровли (но в [14] не

определено какой (непосредственной, основной, или их суммы) [14]. Расчётные значения

 $\left(eta \cdot \frac{a}{b}\right)$ приведены в табл. 1.

Таблица 1 Распределение значений функции

$\frac{a}{b}$	1,00	1,25	1,50	1,75	2,20
$\beta \cdot \frac{a}{b}$	1,232	1,595	1,816	1,960	1,989

С учетом того, что *а* и *b* — стороны обнажения кровли, получим следующие значения $\sigma_{max.\kappa}$ — величин максимальных напряжений на контуре жестко защемленных плит в лавах № 1382 и № 1384 при суммарной мощности непосредственной и основной кровель (*h*), в обоих случаях равной 90 м, при максимальном коэффициенте поперечной деформации 0,45:

> $\sigma_{\max,\kappa} N^{0} 1382 = 208,4 M\Pi a;$ $\sigma_{\max,\kappa} N^{0} 1384 = 238,1 M\Pi a.$

Величины максимальных напряжений на контуре жестко защемленных плит в лавах № 1382 и № 1384 при суммарной мощности непосредственной и основной кровель, в обоих случаях равной h = 90 м, при минимальном коэффициенте поперечной деформации 0,09:

$$σ_{max.κ}$$
 № 1382 = 259,6 MΠa;
 $σ_{max.κ}$ № 1384 = 296,6 MΠa.

Анализируя результаты расчётов, можно сделать вывод, что снижение коэффициента поперечной деформации µ резко увеличивает величину максимальных напряжений на контуре жёстко защемлённых плит в очистном забое. Следует учесть, что длины зависающих плит могут меняться в зависимости от конкретных горно-геологических условий, следовательно, будут изменяться и величины максимальных напряжений на контуре защемлённых плит.

Результаты расчётов параметров опорного давления, выполненных по различным методикам, представлены в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Расчётная формула	Лава № 1382	Лава № 1384
1	Формула (4)	Σσ _{z 1382} = 237 ΜΠa	Σσ _{z 1384} = 195 ΜΠa
2	Формула (5)	Σσ _{x 1382} = 276 ΜΠа	Σσ _{x 1384} = 220 ΜΠа
3	Формула (12) при μ=0,45	σ _{<i>max.</i>к 1382} = 208,4 МПа	σ _{<i>max.к</i> 1384} = 238,1 МПа
4	Формула (12) при μ=0,09	σ _{<i>max.к</i> 1382} = 259,6 МПа	σ _{<i>max.</i>к 1384} = 296,6 МПа

Значения расчётных величин напряжений

Заключение

Сравнивая значения величин напряжений, полученных в результате расчётов, выполненных с использованием различных методик, для лав № 1382 и № 1384 (табл. 2), можно сделать следующие выводы:

1. Полученные расчётным путём по различным методикам параметры напряжений находятся в пределах допустимых отклонений:

1.1. Между собой.

1.2. От фактических данных, являющихся результатом исследований, проведённых на шахте им. 7 ноября ОАО «СУЭК-Кузбасс» за период 2010–2014 гг.

2. Анализ существующих гипотез: сплошной среды, пластичной среды, упруго-пластичной среды, наследственной ползучести, плит, балок показывает возможность их практического использования для определения параметров опорного давления в ходе разработки паспортов выемочных участков при следующих условиях: конкретизации границ области применения, уточнения значений вводимых параметров, обязательной проверки результатов расчётов на адекватность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых пластов / К.А. Ардашев, В.Ф. Крылов, Н.И. Куксов, И.Г. Ткачев, А.С. Шалыгин, В.М. Шик. М.: Недра, 1967. 289 с.

2. Матвеев Б.В. Показатель передачи бокового распора вмещающими горными породами Донецкого и Подмосковного бассейнов // Сб.: Механика горных пород и маркшейдерское дело. М.: Углетехиздат, 1961.

3. Авершин Г.С. Сдвижение горных пород при подземных разработках. М.: Углетехиздат, 1947. 245 с.

4. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород. М.: Углетехиздат, 1954. 384 с.

5. Кузнецов Г.Н., Слободов М.А. Определение методом разгрузки напряжений, действующих в междукамерных целиках каменной соли Артемовских рудников // Сб. трудов ВНИМИ. М.: Углетехиздат, 1950. Вып. 22. С. 152–174.

6. Слободов М.А. Руководство по применению метода разгрузки для определения напряженного состояния в глубине горных массивов. Л.: Изд-во ВНИМИ, 1961. 15 с.

7. Геомеханика / П.В. Егоров, Г.Г. Штумпф, А.А. Ренев, Ю.А. Шевелев, И.В. Махраков, В.В. Сидорчук / Кузбасский государственный технический университет. Кемерово, 2002. 339 с.

8. Геологический словарь. М.: Недра, 1978. 486 с.

9. Христианович С.А., Баренблат Г.И. Об обрушении кровли в горных выработках // Изв. АН СССР. ОТН. 1955. № 11. С. 73–86.

10. Гмошинский В.Г. Горное давление на пологий угольный пласт в окрестности выработки // Уголь. 1957. № 6. С. 16–23.

11. Ардашев К.А. Исследование и анализ проявления горного давления при разработке мощных крутых пластов Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса: дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. Л.: ЛГИ, 1968.

12. Протосеня А.Г. О возможности сведения решения двухсвязной задачи взаимного влияния двух горных выработок к односвязной // Записки ЛГИ. Л.: ЛГИ, 1972. Т. 56. С. 76–83.

13. Борисов А.А., Кайдалов Н.Н., Лабазин В.Г. Расчет опорного давления вариационным методом. Физические процессы горного производства: межвузовский сборник. Л.: ЛГИ, 1976. № 3. С. 17–23.

14. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.

15. Горная геомеханика / Б.В. Артемьев, Г.И. Коршунов, А.К. Логинов, В.М. Шик. СПб.: Наука, 2011. 102 с.

16. Резниченко С.С., Ашихмин А.А. Математические методы и моделирование в горной промышленности: учеб. пособие. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. 404 с.

17. Гуменный А.С. Совершенствования методов непрерывного контроля напряженного состояния массива горных пород на основе сплошных фотоупругих датчиков: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Кемерово, 2013. 21 с.

18. Павлов В.А. Обоснование способа оценки компонентов напряженного состояния массива горных пород по деформациям системы «скважина — трещина гидроразрыва»: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Кемерово, 2014. 22 с.

19. Shrivastava K.N., Singh K. The effect of penny — shaped crack on the distribution of in semi — infinite solid // Int. J. of Eng. Sci. 1969. Vol. 7. № 5.

20. Jacobi O., Everling G. Praxis der Gebirgsbeherrschung, 2. Aufl. Essen: Gluckauf, 1981.

21. Junker M. Gebirgsbeherrschung von Flozstrecken. Verlag Gluckauf. Essen. 2006.

22. Bittner M., Weib H-J. Einsatz schwerer Hobelanlagen — von der Innovation zum Standard. RWTH Aachen, 2007.

23. Eikhoff J. Entwicklung eines Produktionssystems im deutschen Steinkohlenbergbau. RWTH Aachen, 2007.

24. Beimdieck J., Stottne M.T. Schnellentwicklung eines Strebes am Beispiel der Bauhohe 6/7 Westen, Floz 65/68. Bergbau, 1/2008.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.35.005

UDC 622.831.1 © V.O. Torro, A.V. Remezov, R.R. Zainulin, 2018

V.O. TORRO

Senior Lecturer T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (branch), Mezhdurechensk e-mail: torrovo@mail.ru

A.V. REMEZOV

Doctor of Engineering Sciences Professor of Department T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo e-mail: lion742@mail.ru

R.R. ZAINULIN

Senior Lecturer T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo e-mail: zrr66@mail.ru

SUPPORT PRESSURE PARAMETERS DETERMINATION AND THE COEFFICIENTS OF STRESS CONCENTRATION AND DECONCENTRATION IN THE CHARACTERISTIC ZONES OF LONGWALL BLOCKS

The actual problem for the mining industry is to identify the maximum possible number of regularities in the rock massif stress state formation in various mining and geological conditions during mining operations. Specifying the factors, correlations and necessary conditions that determine the parameters of concentration and deconcentration pressure coefficients of the support pressure during the specific zones of longwall blocks is one of the possible solutions.

At the present, in order to solve the problems of the rock massif pressure distribution, during mining operations under various conditions, the different versions are used as initial hypotheses for the stressed state of coal and rocks in the strata not affected by the man-made impacts.

The analysis of the existing hypotheses of continuous medium, yielding medium, elasto-plastic medium, hereditary creep, plates, beams and the results of field survey conducted at the mines of OJSC SUEK-Kuzbass during the period of 2010–2014 years displays the possibility of their practical use for determining parameters of the support pressure during the projects of extraction sites design, taking into account both the determined application range and the specified values of the input parameters, including obligatory verification of the calculation results of for adequacy.

Key words: ROCK MASSIF, SUPPORT PRESSURE, CONTINUOUS MEDIUM HYPOTHE-SIS, YIELDING MEDIUM HYPOTHESIS, ELASTO-PLASTIC MEDIUM HYPOTHESIS, HERED-ITARY CREEP HYPOTHESIS, PLATE HYPOTHESIS, BEAM HYPOTHESIS, STRESS STATE OF THE STRATA, CONCENTRATION AND DECONCENTRATION PRESSURE COEFFICIENTS, ROOF COLLAPSE, METHODS OF SUPPORT PRESSURE CALCULATION.

REFERENCES

1. Ardashev K.A., Krylov V.F., Kuksov N.I., Tkachev I.G., Shalygin A.S., Shik V.M. Improving rock pressure control in developing sloping and steep seams. Moscow: Nedra, 1967. 289 p. (In Russ.).

2. Matveev B.V. The transmission rating of horizontal thrust by surrounding rock s of the Donetsk and lignite basin. Mekhanika gornykh porod i marksheyderskoe delo = Rock mechanics and mine survey. M.: Ugletekhizdat, 1961. (In Russ.).

3. Avershin G.S. The movement of rocks in underground mining. Moscow: Ugletekhizdat, 1947. 245p. (In Russ.).

4. Ruppeneit K.V. Some questions of rock mechanics. Moscow: Ugletekhizdat, 1954. 384 p. (In Russ.).

5. Kuznetsov G.N., Slobodov M.A. Determination by the unloading method, stresses acting in the inter-chamber pillars of rock salt of Artyomovsk mines. Collection of works VNIMI. Moscow: Ugletekhizdat, 1950. Vol. 22. pp. 152–174. (In Russ.).

6. Slobodov M.A. Guidance on the application of the unloading method to determine the stress state in the depths of rock massifs. Leningrad: Izd. VNIMI, 1961. 15 p. (In Russ.).

7. Egorov P.V., Stumpf G.G., Renev A.A., Shevelev Yu.A., Makhrakov I.V, Sidorchuk V.V. Geomechanics. Kemerovo: Kuzbass State Technical University, 2002. 339 p. (In Russ.).

8. Geological dictionary. Moscow: Nedra, 1978. 486 p. (In Russ.).

9. Khristianovich S.A., Barenblat G.I. On the roof collapse in the mine workings. AN SSSR. OTN. 1955. № 11. pp. 73–86. (In Russ.).

10. Gmoshinsky V.G. Mining pressure on a flat coal seam in the working area of a mine. Ugol' = Ugol' (Russian coal journal). 1957. № 6. pp. 16–23.

11. Ardashev K.A. Research and analysis of the rock pressure manifestation in the development of powerful steep seams of the Prokopyevsk-Kiselevskoye field in Kuzbass: Thesis Doctor Tech. Science. Leningrad: LGI, 1968. (In Russ.).

12. Protosenya A.G. On the possibility of reducing the solution of a doubly connected problem of the mutual interference of two mine openings to a singly connected. Zapiski LGI. Leningrad: LGI, 1972. Vol. 56. pp. 76–83. (In Russ.).

13. Borisov A.A., Kaydalov N.N., Labazin V.G. Calculation of the SUPPORT pressure by the variational method. Physical processes of mining production: interuniversity collection. Leningrad: LGI, 1976. №. 3. pp. 17–23. (In Russ.).

14. Borisov A.A. Rock and massifs mechanics. Moscow: Nedra, 1980. 360 p. (In Russ.).

15. Artemyev B.V., Korshunov G.I., Loginov A.K., Shik V.M. Mining geomechanics. St. Petersburg: Nauka, 2011. 102 p. (In Russ.).

16. Reznichenko S.S., Ashikhmin A.A. Mathematical methods and modeling in the mining industry: Study guide. Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2001. 404 p. (In Russ.).

17. Gumenny A.S. The improvement of the methods of continuous control of the rock massif pressure state on the grounds of solid photoelastic sensor: Thesis... Doctor of Engineering Sciences. Kemerovo, 2013. 21 p. (In Russ.).

18. Pavlov V.A. The reasoning of the assessment method of the rock massif pressure state through the deformation of the system «borehole — hydraulic fracturing crack»: Thesis... Doctor of Engineering Sciences. Kemerovo, 2014. 22 p. (In Russ.).

19. Shrivastava K.N., Singh K. The effect of penny — shaped crack on the distribution of in semi — infinite solid. Int. J. of Eng. Sci. 1969. Vol. 7. № 5.

20. Jacobi O., Everling G. Praxis der Gebirgsbeherrschung, 2. Aufl. Essen: Gluckauf, 1981.

21. Junker M. Gebirgsbeherrschung von Flozstrecken. Verlag Gluckauf. Essen. 2006.

22. Bittner M., Weib H-J. Einsatz schwerer Hobelanlagen — von der Innovation zum Standard. RWTH Aachen, 2007.

23. Eikhoff J. Entwicklung eines Produktionssystems im deutschen Steinkohlenbergbau. RWTH Aachen, 2007.

24. Beimdieck J., Stottne M.T. Schnellentwicklung eines Strebes am Beispiel der Bauhohe 6/7 Westen, Floz 65/68. Bergbau, 1/2008.