

УДК 622.25.228.83.28

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ПЕРЕДОВЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ВЪЕЗДЕ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ В ДЕМОНТАЖНЫЕ КАМЕРЫ**

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMS OF CALCULATION OF PARAMETERS OF THE REFERENCE PRESSURE AT THE INTERSECTION OF ADVANCED MINING AND THE ENTRANCE STOPE IN DISMANTLING CAMERA**

**Харитонов Игорь Леонидович<sup>1</sup>**,  
заместитель технического директора ОАО СУЭК-Кузбасс  
**Haritonov Igor L.<sup>1</sup>**,  
Deputy technical Director  
**Ремезов Анатолий Владимирович<sup>2</sup>** Ю  
доктор техн. наук, профессор, e-mail: lion742@mail.ru  
**Remezov Anatoly V.<sup>2</sup>**,  
Dr. Sc.in Engineering, Professor

<sup>1</sup>ОАО "СУЭК-Кузбасс", Кемеровская область, Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, д. 1

<sup>1</sup>OAO "SUEK-Kuzbass", Kemerovo Region, Leninsk-Kuznetsky, st. Vasilyeva, d. 1

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, ул. Весенняя, 28

<sup>2</sup>Kuzbass state technical University named after T. F. Gorbachev, 650000, Russia, St. Vesennyaya, 28

**Аннотация:** Авторы данной статьи кратко характеризуют методику расчета опорного забоя в массиве горных пород в зоне взаимовлияния очистного забоя, опережающих горных выработок, при въезде в монтажные камеры. Освещают процесс разработки практических рекомендаций по управлению опорным давлением. Описана проверка адекватности методики расчета опорного горного давления. Излагают обобщенные выводы по формированию алгоритма расчета суммарного опорного давления в зоне взаимовлияния опорного давления формируемого очистным забоем и опорного давления опережающих выработок, в том числе при въезде очистного забоя в монтажные камеры.

**Abstract:** the Authors of this article summarize the method of calculating the reference face in the rock mass in the zone of interaction of stope, Opera-d mines at the entrance in dismantling camera. Illuminate the process of developing practical guidelines for managing reference pressure. Describes the adequacy of the method of calculation of the supporting rock pressure. Give the generalised findings on the formation of the algorithm of calculation of the total pressure support in the zone of interaction of a support pressure generated coalface and a reference pressure of leading developments, including at the entrance stope in the demon platemaking camera.

**Ключевые слова:** очистной забой, опорное горное давление, передовые выработки, монтажные камеры.

**Keywords:** the coalface, supporting rock pressure, advanced expression processing, dismantling camera.

**1. Разработка методики расчета параметров опорного давления**

Наибольший интерес для практики подземной угольной добычи в аспекте изучения проявлений опорного давления представляет проблема формирования при продвижении забоев на ранее пройденные выработки (группы выработок) находящиеся в условиях взаимовлияния. На основании экспериментальных исследований, проведенных на шахте "Имени 7 Ноября" ОАО "СУЭК-Кузбасс", доказано, что в данном случае формируется дополнительный эффект пригрузки, вызванный синергетикой от динамики волн опорного давления впереди очистного забоя и взаимовлияния ранее пройденных выработок, который проявляется в повыше-

нии напряжений в кровле выработок до 2-3 раз.

Основываясь на классических теориях проявлений опорного давления и методических предположениях, разработана методика расчета параметров опорного давления в массиве горных пород лавы в зоне взаимовлияния очистного забоя, конвейерного и путевого уклонов. Рассмотрим данную методику на примере лавы № 1382 по пласту Байкаимский шахты "Имени 7 Ноября" ОАО "СУЭК-Кузбасс", реализующую учет волнообразного проявления опорного давления впереди очистного забоя и взаимовлияния конвейерного и путевого уклонов № 31 расположенных друг от друга на расстоянии 22 м (рис. 1).

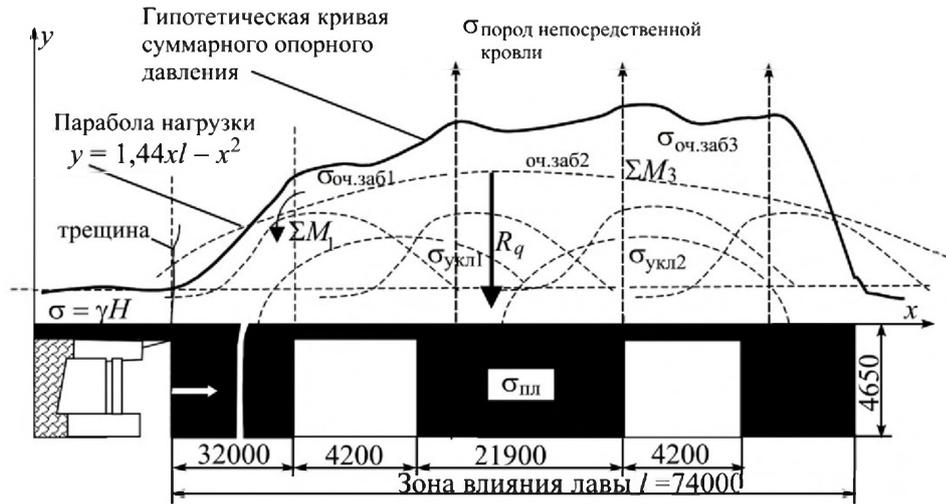


Рис. 1. Схема к расчету параметров опорного давления в массиве горных пород лавы № 1382 по пласту Байкаимский в зоне взаимовлияния очистного забоя и конвейерного и путевого уклонов № 31

Fig. 1. Scheme to the calculation of baseline pressure in the rocks of lava No. 1382 baikainsky by reservoir in the zone of interaction of slope and conveyor inclines and track No. 31

Предположим, что при подвигании очистного забоя № 1382 по пласту Байкаимский, над уклонами уже образовались зоны опорного давления –  $\sigma_{укл1}$  и  $\sigma_{укл2}$ , а от подвигания очистного забоя распространялись волны опорного давления в положении 1, 2, 3 соответственно на схеме –  $\sigma_{оч.заб1}$ ,  $\sigma_{оч.заб2}$ ,  $\sigma_{оч.заб3}$ . Длина (ширина) зон опорного давления  $l_{оп.д} = 74$  м определена в соответствии с номограммой для определения ширины зоны опор-

ного давления от глубины разработки  $H$  и мощности пласта  $m$  [4]. Учтем также неравномерность распределения нагрузки на крепь, создающей суммарный изгибающий момент от консолей слоев пород кровли (плиты), у которых мощность слоев активной основной кровли составляет 3,3-4 м, что в результате увеличивает амплитуду кривой суммарного опорного давления [5]. Алгоритм расчета представлен на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм расчета суммарного опорного давления в зоне взаимовлияния очистного забоя и уклонов демонтажных камер:  $l_y$  – ширина уклона;  $l$  – ширина зоны опорного давления

Fig. 2. The algorithm of calculation of the total pressure support in the zone of interaction of slope and slope of dismantling cameras:  $l_y$  – the width of the slope;  $l$  is the width of the zone reference pressure at the office

Таблица 1. Вертикальные напряжения в породах кровли № 1382  
Table 1. Vertical stresses in the rocks of the roof No. 1382

Подвигание очистного забоя, м	Подвигание очистного забоя в сутки, м	Эксплуатационная зольность, %	Средневзвешенная величина выволов непосредственной кровли в очистном забое, м	Объемная масса пород, т/м <sup>3</sup>	Шаг диапазона	Шаговая константа изменения глубины залегания пласта, м	Динамика изменения глубины залегания пласта, м	Глубина залегания в конкретном шаге, м	Величина вертикальных напряжений ( $\sigma_z$ ), МПа
0,5	0,5	20,8	0,48	2,3	0	0,139	0	290	66,7
0,7	0,2	20,7	0,47	2,3	1	0,139	0,139	289,861	66,66803
1,4	0,7	20,8	0,48	2,3	2	0,139	0,278	289,722	66,63606
2,6	1,2	21	0,5	2,3	3	0,139	0,417	289,583	66,60409
2,6	0	19	0,3	2,3	4	0,139	0,556	289,444	66,57212
8,6	2,8	16,1	0,01	2,3	8	0,139	1,112	288,888	66,44424
48,9	4,9	18,6	0,26	2,3	18	0,139	2,502	287,498	66,12454
101,5	5	17,6	0,16	2,3	29	0,139	4,031	285,969	65,77287
199,5	3,5	23,9	0,79	2,3	68	0,139	9,452	280,548	64,52604
302,2	5,2	27,4	1,14	2,3	91	0,139	12,649	277,351	63,79073
502,8	5	30,8	1,48	2,3	138	0,139	19,182	270,818	62,28814
1001,6	4,8	24,8	0,88	2,3	281	0,139	39,059	250,941	57,71643
1300,4	4,3	23,2	0,72	2,3	376	0,139	52,264	237,736	54,67928
1500,2	4	32,5	1,65	2,3	431	0,139	59,909	230,091	52,92093
1681,3	2,1	40,5	2,45	2,3	505	0,139	70,195	219,805	50,55515

Рассмотрим реализацию разработанной методики на примере лавы № 1382 (см. рис. 1).

Исходные данные:  $\gamma = 23 \text{ кН/м}^3$ ;  $H = 240 \text{ м}$ ;  $\sigma_p = 40 \text{ МПа}$ ;  $l_y = 4,2 \text{ м}$ ;  $l = 74 \text{ м}$ . Давление пород покрывающей толщи в зоне уклонов  $\sigma_z = \gamma H = 55,2 \text{ МПа}$ .

В табл. 1 приведены результаты экспериментально-аналитической оценки величины  $\sigma_z$ , из которых следует, что диапазон изменения составляет  $\sigma_z = 50,6 - 66,7 \text{ МПа}$ .

Давление пород свода уклонов определяют из выражения (1), где величина  $\sigma_{пч.р}$  зависит от структурно-текстурных особенностей пород кровли  $\sigma_{пч.р} = \sigma_p$ : при породах с микротрещинами  $K = 0,05 - 0,2$ ; при породах с макротрещинами  $K = 0,01 - 0,1$ ; при однородных породах с массивной текстурой  $K = 8 - 12$ .

На основании исследований, приведенных по пласту Байкаимский в кровле распространены макротрещины  $K = 0,01 - 0,1$ .

Суммарное давление в рассматриваемой зоне с определенной погрешностью будет равно сумме давления пород покрывающей толщи  $\sigma_z = \gamma H$ , дав-

ления свода над крепью уклонов

$$\sigma_y = \frac{l_y}{48K\sigma_{пч.р}} \left( l_{\delta}^2 \gamma^2 - 48K\sigma_{пч.р}^2 \right) \quad (1)$$

и опорного давления впереди очистного забоя, создаваемого суммой изгибающих моментов  $\sigma_k$  отдельных слоев пород, зависящих над рассматриваемой зоной.

Давления пород покрывающей толщи в зоне уклонов, будет равно  $\sigma_z = \gamma H = 55,2 \text{ МПа}$ . Давление свода над крепью уклонов № 31, с учетом того, что при микротрещиноватости  $\sigma_{пч.р} = (0,05 - 0,2)R_p$ ,  $R_p$  – предел прочности при одноосном растяжении, при макротрещинах  $\sigma_{пч.р} = (0,01 - 0,1)R_p$ .

Для оценки давления зависящих слоев пород непосредственной кровли в лаве № 1382, считаем, что неравномерно распределенная нагрузка пропорциональна грузовой площади, лежащей по одну сторону от сечения, на расстоянии от центра тяжести до рассматриваемого сечения (рис. 3).

На основании экспериментальных исследований, уравнение границы грузовой площадки может быть аппроксимировано параболической зависимостью (рис. 3)

$$y(x) = -\frac{a}{b^2}(x-b)^2 + cx + d, \quad (3)$$

где  $a, b, c, d$  – постоянные, определяемые по данным инструментальных наблюдений.

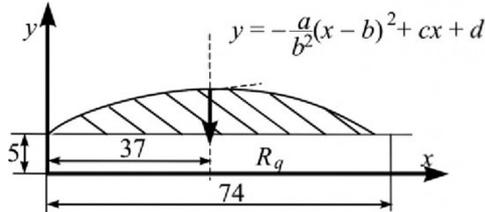


Рис. 3. Кривая грузовой площадки в зоне влияния очистного забоя № 1382

Fig. 3. Curve cargo space in the zone of influence of stope No. 1382

Максимальное дополнительное давление на краевую часть пласта, создаваемое зависающей консолью пород кровли, пропорционально соответствующему изгибающему моменту

$$\sigma_{\varepsilon} = \lambda_{1/2} S \frac{l}{2}, \quad (4)$$

где  $S = \int_0^{l/2} y(x) dx$  – грузовая площадь. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Полученная расчетная величина  $\sigma$  достаточно близко подходит к диапазону расчетных значений, полученных по оценкам [1, 2, 3], приведенным в табл. 3:

$$\sigma = 195-220 \text{ МПа.}$$

Следует отметить, что значительное влияние при расчете параметров опорного давления могут оказать форма огибающей кривой грузовой нагрузки и длина плеча равнодействующей (в нашем случае принята половина длины зоны влияния очистного забоя).

Второй пример реализации разработанной методики при обработке пологих пластов относится к въезду очистного забоя в ранее пройденную демонтажную камеру № 1384. Сложность геомеханической обстановки заключалась в том, что демонтажная камера состояла из двух взаимовлияющих выработок, разделенных целиком угля, который вырезался очистным комбайном в ходе формирования демонтажной камеры. Схема к расчету параметров опорного давления в массиве горных пород лавы № 1384 по пласту Байкаимский в зоне взаимовлияния очистного забоя и демонтажной камеры (общая ширина демонтажной камеры  $L_{\text{дк}} = 11$  м представлена на рис. 4.

Схема учитывает волнообразное проявление опорного давления впереди очистного забоя и взаимовлияния двух параллельных выработок, формирующих демонтажную камеру и разделенных друг от друга угольным целиком шириной 3 м.

Из схемы на рис. 4 следует, что в районе двух взаимовлияющих сбоек разделенных целиком уг-

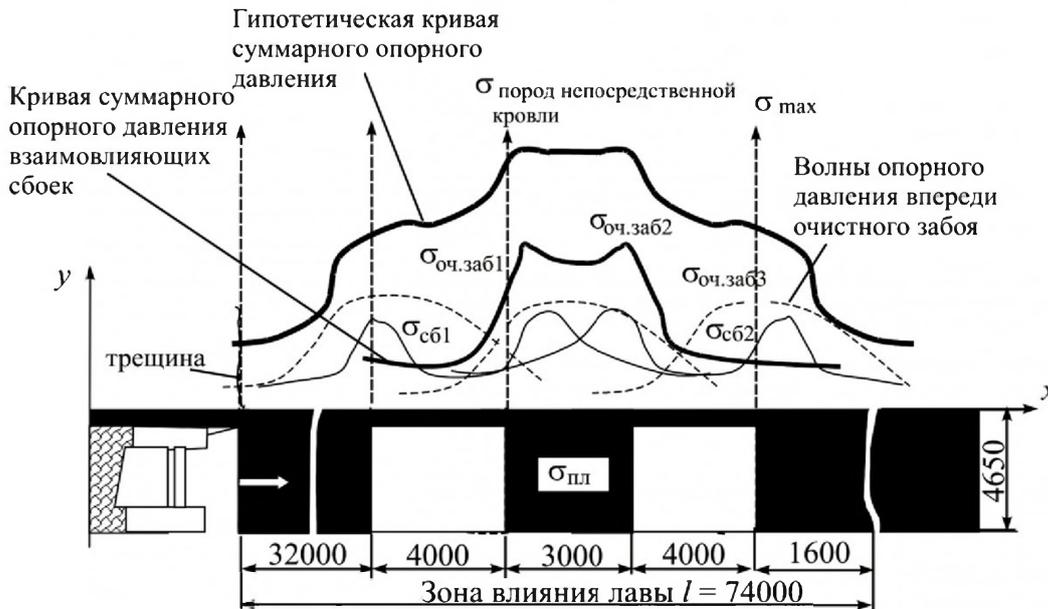


Рис. 4. Схема к расчету параметров опорного давления в массиве горных пород лавы № 1384 по пласту Байкаимский в зоне взаимовлияния очистного забоя и демонтажной камеры

Fig. 4. Scheme to the calculation of baseline pressure in the rock mass of lava № 1384 baikaimsky by reservoir in the zone of interaction of stope and dismantling Kamary

ля уже образовывались своды напряжений  $\sigma_{сб.1}$  и  $\sigma_{сб.2}$ , а от подвигания очистного забоя распространялись волны опорного давления в положениях 1, 2, 3 соответственно на схеме –  $\sigma_{оч.заб1}$ ,  $\sigma_{оч.заб2}$ ,  $\sigma_{оч.заб3}$ , что создает кривую суммарного опорного давления, где предполагается неравномерное распределение нагрузки на крепь от консолей слоев пород кровли (плиты), создающей суммарный изгибающий момент.

Расчетная кривая грузовой площади представлена на рис. 5.

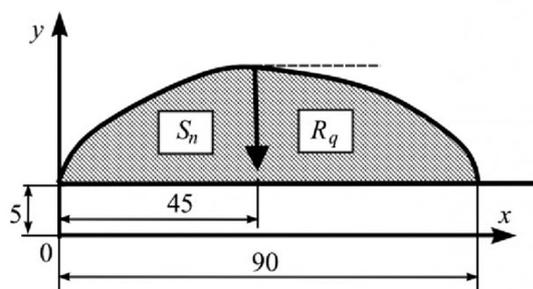


Рис. 5. Кривая грузовой площади в зоне влияния очистного забоя № 1384

Fig. 5. Curve cargo space in the zone of influence of slope No. 1384

Расчет вертикальных напряжений по данным экспериментальных наблюдений приведен в табл. 4. Результаты расчетов суммарной величины  $\sigma$  представлены в табл. 5.

Полученная расчетная величина  $\sigma$  практически соответствует диапазону расчетных значений, полученных по оценкам [1-3], приведенным в табл. 3:  $\sigma = 237\text{--}276$  МПа.

Следует отметить, что величина  $\sigma_k$ , соответствующая максимальному изгибающему моменту в точке, отстоящей на величину  $l = 90$  м, составила значительную величину  $\sigma_k = 161,5$  МПа.

Для сравнения, на рубеже 90-х прошлого века, в среднем удельное сопротивление крепи КМЗ при мощности пласта 4,5 м (сравнимо с пластом

Байкаимский

$m = 4,65\text{--}4,7$  м) составляло:  $q = 0,71$  МН/м<sup>2</sup> или 2,84 МН/м. В настоящее это величина примерно в два раза выше и составляет в среднем от  $q = 1000\text{--}1500$  кН/м<sup>2</sup>.

## 2. Проверка адекватности методики расчета опорного давления и разработка практических рекомендаций

Адекватность методики расчета (расчетной модели) можно оценивать двумя количественными показателями: точностью и воспроизводимостью.

Точность геомеханических расчетов оценивается степенью совпадения предсказанных в процессе вычислительного эксперимента значений выходных параметров с истинными их значениями. Погрешность модели  $\varepsilon$  по всей совокупности  $m$  учитываемых выходных параметров оценивается одной из норм вектора:

$$\bar{\varepsilon}_j = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m);$$

$$\varepsilon = \|\bar{\varepsilon}_j\| = \max|\varepsilon_j|, \quad j \in [1 : m]; \quad (5)$$

$$\varepsilon = \|\bar{\varepsilon}_j\| = \sqrt{\sum \varepsilon_j^2}, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_j$  – относительная погрешность модели по  $j$ -му выходному параметру:  $\varepsilon_j = (\tilde{y}_j - y_j) / y_j$ ;  $\tilde{y}$  – значение  $j$ -го выходного параметра, полученное в результате вычислительного эксперимента на принятой для исследователя модели;  $y_j$  – значение того же параметра, полученное при испытаниях геотехнологического объекта в контролируемых условиях или в вычислительном эксперименте на более сложной математической модели, точность которой проверена и отвечает норме.

Проанализируем, результаты, полученные по авторской модели проявления опорного давления по характерным зонам очистных забоев № 1382 и № 1384, (сравниваются соответственно макси-

Таблица 2. Результаты расчета суммарного опорного давления в лаве № 1382  
Table 2. The results of the calculation of the total support pressure in the lava No. 1382

$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$H$ , м	$\sigma_z$ , МПа	$K$	$l_y$ , м	$\sigma_{пч.р}$ , МПа	$\sigma_y$ , МПа	$l$ , м	$a$	$B$	$d$	$d$	$S$ , м <sup>2</sup>	$\sigma_k$ , МПа	$\sigma$ , МПа
23	240	55,2	0,01	4,2	0,4	18,0	74,5	5	37	0	10	100,4	87,9	161,1

Таблица 3. Оценка уровня горизонтальных напряжений  
Table 3. Assessment of the level of horizontal stress

Расчетные зависимости	Лавы № 1384		Лавы № 1382	
	принято	результат	принято	результат
$\sigma_x + \sigma_y = 27 + 0,7H$ [1]	$H = 300$ м	237 МПа	$H = 240$ м	135 МПа
$\sigma_x = (0,4 - 0,5)\gamma H$ [6]	$\gamma = 23$ кН/м <sup>3</sup>	276 МПа	$\gamma = 23$ кН/м <sup>3</sup>	220 МПа

Таблица 4. Вертикальные напряжения в породах кровли лавы № 1384  
Table 4. Vertical stresses in the rocks of the roof of lava № 1384

Подвигание очистного забоя	Эксплуатационная зольность, %	Средневзвешенная величина выволов непосредственной кровли в очистном забое, м	Объемная масса пород, т/м <sup>3</sup>	Шаг диапазона	Шаговая константа изменения глубины залегания пласта, м	Динамика изменения глубины залегания пласта, м	Глубина залегания в конкретном шаге, м	Величина вертикальных напряжений ( $\sigma_z$ ), МПа
3	17,7	0,17	2,3	0	0,277	0	300	69
4	17	0,1	2,3	1	0,277	0,277	299,723	68,93629
5	17,1	0,11	2,3	4	0,277	1,108	298,892	68,74516
50	17,8	0,18	2,3	18	0,277	4,986	295,014	67,85322
102	19,9	0,39	2,3	27	0,277	7,479	292,521	67,27983
255	25,8	0,98	2,3	52	0,277	14,404	285,596	65,68708
794	30,6	1,46	2,3	187	0,277	51,799	248,201	57,08623
1141	28,3	1,23	2,3	266	0,277	73,682	226,318	52,05314
1243	21,6	0,56	2,3	324	0,277	89,748	210,252	48,35796

Таблица 5. Результаты расчета суммарного опорного давления в лаве № 1384  
Table 5. The results of the calculation of the total support pressure in the lava No. 1384

$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	H, м	$\sigma_z$ , МПа	K	$l_y$ , м	$\sigma_{пч.р.}$ , МПа	$\sigma_y$ , МПа	l, м	a	b	c	d	S, м <sup>2</sup>	$\sigma_k$ , МПа	$\sigma$ , МПа
23	300	69,0	0,01	4,0	0,4	16,0	91	5	45,5	10,1	10	78	161,5	246,5

мальные с максимальными пределами, минимальные с минимальными) с основными классическими теориями, приведенные в табл. 6.

Анализируя табл. 6, можно сделать вывод, что максимальные параметры опорного давления в сложных местах массива горных пород лавы № 1384 по пласту Байкаимский, по сравнению с лавой № 1382 в зоне взаимовлияния очистного забоя и ранее пройденных выработок, намного выше, ввиду того, что в данном случае и длина зоны опорного давления имеет большую протяженность. Соотношение длин этих зон составило  $90/37 = 2,43$ . Отношение максимальных значений опорного давления соответствует линейной закономерности, т. е. отношение  $E_{пчх1384} / E_{пчх1382} = 232,8 \text{ МПа} : 161,8 \text{ МПа} = 1,44$ , что говорит о сложном характере опорного давления.

Расхождения в параметрах опорного давления по сложным зонам, очистных забоев № 1382 и № 1384 подтверждают положения как приверженцев классической теории опорного давления (А. А. Борисова, И. Л. Черняка, И. М. Петухова, П. В. Егорова и др.), так и автора более радикального мнения о проявлении опорного давления (О. Яко-

би), который допускает его увеличение до 20 раз, что объяснимо при изменении параметров входящих в модели.

Из данных табл. 6 следует, что характер проявления опорного давления в массиве горных пород лавы № 1382 в зоне взаимовлияния очистного забоя и демонтажной камеры, показал, что угольный целик в предварительно подготовленной демонтажной камере принял значительную часть нагрузки (деформировался) и в значительной мере снял напряжения в кровле над демонтажной камерой, т. е. величина напряжений в зонах «сложной геометрии» взаимовлияния выработок отличается в 4,05 раза.

С другой стороны в подтверждение адекватности моделей проявления опорного давления в характерных зонах по очистным забоям № 1382 и 1384 говорит тот факт, что параметры зольности и куполообразования, напрямую коррелируют с параметрами опорного давления, если не в абсолютных значениях, то конфигурацией роста и спада в характерных зонах.

Следовательно, подготовка демонтажной камеры лавы № 1384 по пласту Байкаимский в зоне взаимовлияния очистного забоя и демонтажной камеры № 1384, формируемой с вырезанием

Таблица 6. Анализ параметров математических моделей опорного давления по сложным зонам очистных забоев № 1382 и № 1384

Table 6. Analysis of parameters of mathematical models of bearing pressure on complex areas of working faces No. 1382 and # 1384

Уравнение модели	Характеристика и параметры опорного давления напряжения в сложных зонах			
	Лава № 1384, зона взаимовлияния очистного забоя и уклонов, МПа	Лава № 1382, зона взаимовлияния очистного забоя и демонтажной камеры, МПа	Пределы опорного давления*	Пределы параметров опорного давления**
Расчетная величина вертикальных напряжений ( $\sigma_z = \gamma H$ ), МПа	50–66	48–69	$\frac{250-345}{500}$ %	$\frac{1000-1380}{2000-2083}$ %
$\sigma_x + \sigma_y = 27 + 0,7H$ [1]	$\sigma_{z1384} = 195$	$\sigma_{z1382} = 237$	$\frac{13}{14-31,32}$ %	$\frac{763-1155}{512-582}$ %
$\sigma_x = (0,4 \div 0,5)\gamma H$ [6]	$\sigma_{x1384} = 220$	$\sigma_{x1382} = 276$	$\frac{30-69}{12-145}$ %	$\frac{780-1104}{454-511}$ %
$\sigma_{\max k} = \frac{1}{4}\beta\left(\frac{a}{b}\right)(1-\mu^2)q\frac{b^2}{h^2}$ [7]	$\sigma_{\max k1384} = 296,6$	$\sigma_{\max k1382} = 259,6$	$\frac{41,6-48,4}{17-116}$ %	$\frac{791,6-1083,4}{479-465}$ %
	$\sigma_{\min k1384} = 238,1$	$\sigma_{\min k1382} = 208,4$	$\frac{12-85,4}{9,5-133}$ %	$\frac{740,4-1142}{420-533}$ %
Авторский вариант $P_{\max} = \gamma H + \frac{l_y}{48\sigma_{\text{пч.р}}}(l_y^2 \gamma^2 - 48\sigma_{\text{пч.р}}^2)$	$P_{\max1384} = 232,8$	$P_{\max1382} = 161,08$	$\frac{81,41-102,97}{-155 \div 1488}$ %	$\frac{852,97-1116,1}{-680,1 \div (-491,2)}$ %

\* по классической теории (А. А. Борисов, И. Л. Черняк, И. М. Петухов, П. В. Егоров и др.)  $q_{\max} \geq (2 \div 5)\sigma_z$ , величина/относ. оценка, %

\*\* по О. Якоби  $\sigma_{\max} \gg 2 \div 20\sigma_z$ , величина/относ. оценка, %

угольного целика, с позиций управления горным давлением, произведена рационально и заслуживает дальнейшего применения в практике. Результаты оценки погрешности расчетной методики  $\epsilon$  приведены в табл. 6.

Оценка воспроизводимости проведена путем расчетов при знакопеременном пошаговом изменении глубины залегания на величину 0,1 м при постоянном угле падения пласта около 1°, изменения предела прочности на разрыв (шаг изменения  $\sigma_{\text{пч.р}}$  принят 0,001), и плеча равнодействующей нагрузки, изгибающих моментов зависящих плит – (уменьшение / увеличение при шаге 10 м), и сравнения соответственно с параметрами, полученными при контурных исследованиях и их математическими ожиданиями (средними значениями) в столбе лавы № 1384.

Анализируя расчеты табл. 7 видно, что допустимая погрешность результатов  $\epsilon$ , полученных по модели суммарного давления и результатов, полученных фактическими инструментальными замерами напряжений при исследовании опорного давления в столбе лавы № 1384, составляет, 0,38 МПа или 0,13 % от максимального значения

опорного давления 296,6 МПа полученного расчетным путем. В абсолютных величинах диапазон погрешности расчета составил  $\Delta\sigma = 64,05-37,08$  МПа.

Практическое использование разработанной методики расчета опорного давления и определения его параметров в сложных зонах, позволяет решать следующие задачи подземной геотехнологии:

- определение запаса прочностных параметров очистного комплекса;
- определение запаса прочностных параметров крепления выработок в сложных зонах;
- определение технологических и организационных параметров ведения очистных работ.

По результатам проведенных экспериментальных и теоретических исследований при подготовке демонтажных камер (ДК) № 1362, 1390, 1325, 1324, рекомендуется при составлении паспортов выемочных участков по управлению горным давлением в сложных местах учитывать следующее.

1. При заблаговременной подготовке ДК в кровле пласта заранее пройденной выработки

Таблица 7. Оценка адекватности модели опорного давления в лаве № 1384 по ее погрешности  $\varepsilon$   
 Table 7. Assessment of the adequacy of the model the reference pressure in the lava No. 1384 by its error  $\varepsilon$

Номер расчета по модели и замера при исследованиях (в сложной зоне)	Результат по модели* , (МПа)	Результат параметра при замерах**, МПа	$(\tilde{y}_j - y_j)$	$\varepsilon_j = \frac{(\tilde{y}_j - y_j)}{y_j}$	$\varepsilon_j^2 (\tilde{y}_j - y_j)$	$\varepsilon = \sqrt{\sum_{j=1}^m \varepsilon_j^2}$
1	232,08	195	37,08	0,190154	0,036158	0,37994
2	232,31	220	12,31	0,055955	0,003131	
3	232,54	238,1	-5,56	-0,02335	0,000545	
4	232,55	296,6	-64,05	-0,21595	0,046633	
5	231,78	237,4	-5,62	-0,02367	0,00056	
6	214,71	237,4	-22,69	-0,09558	0,009135	
7	246,11	237,4	8,71	0,036689	0,001346	
8	232,77	237,4	-4,63	-0,0195	0,00038	
9	196,8	237,4	-40,6	-0,17102	0,029248	
10	268,55	237,4	31,15	0,131213	0,017217	
					$\sum_{j=1}^m \varepsilon_j^2 =$ $= 0,144354$	

$$* P_{\max} = \gamma H + \frac{l_y}{48\sigma_{\text{пч.р}}} \left( l_y^2 \gamma^2 - 48\sigma_{\text{пч.р}}^2 \right) + \sum_1^n M_i (\tilde{y}_1)$$

\*\* с учетом интенсивности проявления опорного давления по А. А. Борисову  $q_{\max} > (2 \div 5) y_j$ ,

происходит расслоение пород непосредственной и основной кровли с образованием значительного горного давления. Этот процесс зависит от времени проведения ДК.

2. Отсутствуют необходимые измерения величины максимального опорного давления впереди очистного забоя и шага обрушения основной кровли. Существующие методики расчета шага обрушения основной кровли не дают точного ответа в связи с постоянным изменением горно-геологических условий.

3. Формирование ДК в результате доработки очистного забоя является наиболее благоприятным вариантом подготовки ДК.

4. Технология подготовки ДК при доработке запасов в выемочном столбе достаточно апробирована, при этом рекомендуется применение анкерного крепления ДК.

5. Для более точного определения шага обрушения кровли и нагрузки на перекрытие секций механизированной крепи необходимо оснащать все приобретаемые мехкомплексы автоматизированной системой контроля воздействия горного давления на перекрытия секций крепи.

## ВЫВОДЫ

1. Алгоритм расчета суммарного опорного давления в зоне взаимного геомеханического влияния очистного забоя и уклонов (демонтажных камер) включает суммирование давлений пород покрывающей толщи, свода над крепью уклона (камеры) и зависящей консоли пород кровли.

Давление зависящей консоли оценивают по моменту равнодействующей сил тяжести пород кровли в пределах границы грузовой площадки, описываемой параболической зависимостью.

2. Адекватность разработанных алгоритма и методики расчета суммарного опорного давления оценена экспериментально при подходе лавы № 1382 к конвейерному и путевому уклону, а также лавы № 1384 к демонтажной камере по пласту Байкаимский на шахте «Имени 7 Ноября». Оценка проведена по факторам точности и воспроизводимости прогноза. Точность прогноза максимальных напряжений сопоставима с точностью прогноза, основанного на классических теориях (А. А. Борисов и др., О. Якоби). Прогнозные оценки могут отличаться в 2–20 раз. При этом доля дополнительных напряжений от изгиба нависающих пород кровли составила от 54,5 до 65,5 % от суммарных, что подтверждает необходимость учета этой нагрузки.

При пошаговом изменении основных исходных параметров (глубины залегания, прочности пород, плеча нагрузки) абсолютная погрешность расчета для условий лавы № 1384 не превысила 64 МПа, а относительная – 0,13 %.

3. При составлении паспортов выемочных участков в зонах геомеханического влияния очистного забоя целесообразно формирование демонтажной камеры путем доработки запасов в выемочном столбе с вырезанием угольного целика и анкерным креплением передовых выработок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, А. А. Механика горных пород и массивов. – Москва : Недра, 1980. – 360 с.
2. Петухов, И. М. Теория защитных пластов / И. М. Петухов, А. М. Линьков, В. С. Сидоров [и др.]. – Москва : Недра, 1976. – 224 с.
3. Фисенко, Г. Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – Москва: Недра, 1976. – 272 с.
4. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сборник документов) / Колл. авт. – Москва : ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 320 с.
5. Коровкин, Ю. А. Механизированные крепи очистных забоев. – Москва, 1990. – 412 с.
6. Ардашев, К. А. Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых пластов / К. А. Ардашев, В. Ф. Крылов, [и др.]. – Москва : Недра, 1967. – 289 с.
7. Егоров, П.В. Геомеханика / П. В. Егоров, Г. Г. Штумпф. – Кемерово, 2002. – 339 с.

## REFERENCES

1. Borisov, A. A. Mehanika gornyh porod i massivov. – Moskva : Nedra, 1980. – 360 p. (rus)
2. Petuhov, I. M. Teorija zashhitnyh plastov / I. M. Petuhov, A. M. Lin'kov, V. S. Sidorov [i dr.]. – Moskva : Nedra, 1976. – 224 p. (rus)
3. Fisenko, G. L. Predel'nye sostojanija gornyh porod vokrug vyrabotok. – Mo-skva: Nedra, 1976. – 272 p. (rus)
4. Preduprezhdenie gazodinamicheskikh javlenij v ugo'lnyh shahtah (Sbornik do-kumentov) / Koll. avt. – Moskva : GP NTC po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgor-tehnadzora Rossii, 2000. – 320 p. (rus)
5. Korovkin, Ju. A. Mehanizirovannye крепи ochistnyh zaboev. – Moskva, 1990. – 412 p. (rus)
6. Ardashev, K. A. Sovershenstvovanie upravlenija gornym davleniem pri razra-botke naklonnyh i krutyh plastov / K. A. Ardashev, V. F. Krylov, [i dr.]. – Moskva : Nedra, 1967. – 289 p. (rus)
7. Egorov, P.V. Geomehanika / P. V. Egorov, G. G. Shtumpf. – Kemerovo, 2002. – 339 p. (rus)

Поступило в редакцию 20.04.2016

Received 20 April 2016

ISSN 1999-4125

# ВЕСТНИК

КУЗБАССКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



---

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2-‘16



Редакционная коллегия:

Ковалев В. А., гл. редактор, д.т.н. (РФ)  
Тайлаков О. В., зам. гл. ред., д.т.н. (РФ)  
Блюменштейн В. Ю., д.т.н. (РФ)  
Голофастова Н. Н., к.э.н. (РФ)  
Зникина Л. С., д.п.н. (РФ)  
Исмагилов З. Р., член-корреспондент  
РАН, д.т.н. (РФ)  
Каширских В. Г., д.т.н. (РФ)  
Клиппин В. И., член-корреспондент  
РАН, д.т.н. (РФ)  
Клубович В. В., академик НАН Белару-  
си, д.т.н. (Беларусь)  
Колесников В. Ф., д.т.н. (РФ)  
Конторович А. Э., академик РАН, д.т.н.  
(РФ)  
Коротков А. Н., д.т.н. (РФ)  
Мазикин В. П., д.т.н. (РФ)  
Мальшев Ю. Н., академик РАН, д.т.н.  
(РФ)  
Маметьев Л. Е., д.т.н. (РФ)  
Першин В. В., д.т.н. (РФ)  
Петрик П. Т., д.т.н. (РФ)  
Ренев А. А., д.т.н. (РФ)  
Смирнов А. Н., д.т.н. (РФ)  
Трубчанинов А. Д., к.т.н. (РФ)  
Угляница А. В., д.т.н. (РФ)  
Хямялайнен В. А., д.т.н. (РФ)  
Цзяо Ви-го, д.т.н. (Китай)  
Черкасова Т. Г., д.т.н. (РФ)  
Шевченко Л. А., д.т.н. (РФ)  
Юй Шен-вэнь, д.т.н. (Китай)

Кемерово

© Кузбасский государственный  
технический университет имени  
Т.Ф. Горбачева, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Т. Л. Ким, В. В. Дырдин.* Зависимость вида газодинамического явления от проницаемости массива с учетом газогидратов ..... 3
- А.В. Селюков.* Контурное развитие карьерного поля и внешнего отвала в задачах сокращения избыточного выработанного пространства разрезом с автотранспортной технологией ..... 7
- А.В. Бирюков, Т.С. Жирнова.* Случайные разбиения, энтропия случайной структуры породного массива и плотность случайных укладок ..... 14
- А.И.Копытов, В.И.Башков.* Разубоживание руды при внедрении системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском и доставкой самоходным оборудованием на участке «Подрусловый» Шерегешского месторождения ..... 17
- А.И. Копытов, В. В. Першин, М. Д. Войтов, А. А. Вети.* Совершенствование конструкции расстрелов армировки шахтных стволов ..... 21
- С.Г. Костюк.* Обоснование технологии и механизации горных работ учетом исследований напряженного состояния массива ..... 25
- С.Г. Костюк, Н. Т. Бедарев, О. В. Любимов, В. Г. Астафьева.* Этапы создания устройства для проведения воздушно-депресссионной съемки в Прокопьевском филиале КУЗГТУ ..... 30
- А.И. Копытов, М.Д. Войтов, С.М. Тагиев.* Современные методы добычи метана из угольных пластов ..... 35
- М.А. Бяков, А.В. Ремезов.* Анализ исследования фильтрационных и коллекторских свойств угольных пластов ..... 41
- И.Л. Харитонов, А.В.Ремезов.* Разработка алгоритмов расчета параметров опорного давления при пересечении передовых горных выработок и въезде очистного забоя в демонтажные камеры ..... 47

### ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

- П.Б. Герике.* Преобразовательный агрегат экскаваторов типа ЭКГ как источник повышенного уровня механических колебаний ..... 56
- Н.В. Савенков.* Метод выбора передаточных чисел трансмиссии автомобиля категории  $N_1$  на основе ездового цикла ..... 64

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- И.А.Соколов.* Управление динамическим состоянием электромеханических систем при включении их в работу ..... 71
- В.Ю. Островляничик, И.Ю. Поползин.* Исследование магнитной системы асинхронного двигателя при частотном управлении ..... 75
- Е.В. Пугачёв, М.В. Кипервассер, А.В. Герасимук.* Исследование воздействия помпажа турбокомпрессора на энергетические характеристики приводного двигателя ..... 84

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- В.В. Васильев, П.М. Кондрашов, И.В. Зеньков.* Обеспечение надежности конструкции колтюбинговых установок в условиях Крайнего Севера ..... 91
- А.Ю. Стовманенко, А.Н.Анушенков.* Трубопроводный транспорт литых твердеющих закладочных смесей с пониженным водосодержанием ..... 99
- П.Л. Павлова, П. М. Кондрашов, И. В. Зеньков.* Математическая модель работы скважинного термоэлектрического устройства для условий вечной мерзлоты при разработке нефтегазовых месторождений ..... 105

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Н. И. Федорова, Е. С. Михайлова, В.Ю. Малышева, З. Р. Исмагилов.* Влияние зольности каменных углей на качественные характеристики их ИК-спектров ..... 111
- Н.И. Федорова, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов.* Связь теплоты сгорания углей со стадией их метаморфизма ..... 117
- А.А. Сикачина.* Коэффициенты корреляции по Пирсону как характеристика ингибиторной активности производных орто-алкенил-фенолов в водно-солевой среде с развивающимися десульфатирующими бактериями ..... 121
- Я.Н.Горбань, Т.Г.Черкасова, А.В.Неведров.* Методы удаления из воды солей кальция и магния ..... 126

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Ю.А. Фридман, Е.Ю. Логинова, Г.Н. Речко. Кузбасс в поисках новой парадигмы развития: промышленные кластеры ..... 135
- Г.Н. Речко, Н.А. Оськина, Е.Ю. Логинова. Предпринимательство в региональной модели экономики: инфраструктура развития ..... 146

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Е.Л. Счастливцев, Н.И.Юкина, И.Е.Харлапенков. Информационно-аналитическая система геоэкологического мониторинга водных ресурсов угледобывающего региона..... 157

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

- М.И. Баумгартэн, Т.В. Галанина. Анализ проблематики экологических конференций ..... 165
- В. А. Воронин, Т.Л. Долгопол. Качество освещения и охрана труда.. 171
- В. И.Козлов. Методические и методологические подходы к разработке и структурированию показателей эффективности охраны труда на основе анализа несчастных случаев в Кузбассе..... 175

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – Свидетельство ПИ №77 -060779 от 11 февраля 2015г.

13 ноября 2015 года на заседании президиума ВАК журнал включен в новый перечень рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям 05.02.00 Машиностроение и машиноведение, 05.05.00 Транспортное, горное и строительное машиностроение, 05.09.00 Электротехника, 05.17.00 Химическая технология, 25.00.00 Науки о Земле

Полнотекстовой доступ  
к электронной версии журнала  
на сайте [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Подписной индекс 14299 по каталогу  
русской прессы «Почта России»

Ответственный редактор -  
к.ф.-м.н., профессор кафедры прикладных информационных технологий КузГТУ  
- М.А.Тынкевич  
Email: [tma\\_vt@rambler.ru](mailto:tma_vt@rambler.ru)

Технический редактор  
О.А.Останин.

Дизайн обложки  
ЮЕ.Волчков, Д.А.Бородин

Адрес редакции: 650099,  
Кемерово, ул. Весенняя 38,  
тел.39-69-38  
<http://vestnik.kuzstu.ru>

Подписано к печати 29.04.2016  
Формат 60x84/8.  
Бумага офсетная.  
Отпечатано в ООО «Типография»  
Уч.-изд. л. 22.75.  
Заказ 624. тираж 100 экз.

## ERRATA

В № 1/2016 Вестника КузГТУ (в оглавлении и колонтитулах на стр. 198-292) неверно указаны инициалы одного из авторов. Следует читать: И.А.Заостровская, Н.А.Заостровская.