

Проверка адекватности математической модели проявления опорного давления в очистных забоях №1382 и №1384, ее характеристика и рекомендации к практическому применению для пласта «Байкаимский» шахты им. 7 Ноября ОАО «СУЭК-Кузбасс» в сложных зонах



ХАРИТОНОВ Игорь Леонидович

Главный инженер шахты
«Полысаевская» ОАО «СУЭК-Кузбасс»,
соискатель кафедры РМПИ ПС
КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева
г. Ленинск-Кузнецкий, Россия,
e-mail: kharitonovil@suek.ru



РЕМЕЗОВ

Анатолий Владимирович

Доктор техн. наук,
профессор кафедры РМПИ ПС
КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово, Россия,
e-mail: slv5656@mail.ru



НОВОСЕЛОВ

Сергей Вениаминович

Канд. экон. наук, академик МАНЭБ
г. Кемерово, Россия



КОЧКИН Роман Олегович

Студент КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово, Россия

Приведена проверка адекватности математической модели проявления опорного давления на примере очистных забоев №1382, №1384 по пласту «Байкаимский» шахты им. 7 Ноября ОАО «СУЭК-Кузбасс» на основе метода среднеквадратических отклонений при сравнении результатов по модели и фактических замеров по геологическим заключениям. Дана характеристика элементов модели и ее рекомендация к практическому применению для расчетов максимумов опорного давления в сложных зонах.

Ключевые слова: адекватность математической модели, геомеханическая модель, суммарный изгибающий момент, относительная погрешность модели, максимум опорного давления.

К математическим моделям предъявляются требования адекватности. Модель считается адекватной, если отражает исследуемые свойства с приемлемой точностью. Точность оценивается степенью совпадения предсказанных в процессе вычислительного эксперимента на модели значений выходных параметров с истинными их значениями.

Проанализируем результаты, полученные по авторской модели (1):

$$P_{\max} = \gamma H + \frac{l}{48\sigma_{ncp}} (l^2 \gamma^2 - 48\sigma_{ncp}) + \sum_1^n M_i. \quad (1)$$

Проявления опорного давления по характерным зонам очистных забоев № 1382 и № 1384, (сравниваются соответственно максимальные с максимальными пределами, минимальные с минимальными) с основными классическими теориями, приведенные в табл. 1, 2.

Анализируя табл. 1, 2, 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 больше ввиду того, что в ней имеет большую протяженность и длина зоны влияния опорного давления. Соответственно, при расчетах принимались в первом случае $S = 37$ м, а во втором $l = 90$ м, то есть соотношении 90 м: 37 м = 2,43 = $\sqrt{6}$. Однако отношение максимумов опорного давления не проявляют линейной закономерности, так как отношение $P_{\max \text{ №1384}} : P_{\max \text{ №1382}} = 232,8 \text{ МПа} : 161,8 \text{ МПа} = 1,44$ или как максимум $\sqrt{2}$, что говорит о неоднозначности проявления опорного давления.

Расхождения в параметрах опорного давления по сложным зонам очистных забоев №1382 и №1384 подтверждают

**Анализ параметров математических моделей опорного давления
по сложным зонам очистных забоев №1382 и №1384 (абсолютное сравнение)**

Уравнение модели	Характеристика и параметры опорного давления напряжения в сложных зонах			
	Лава №1382, зона взаимовлияния очистного забоя и уклонов (абсолютные значения), МПа	Лава №1384, зона взаимовлияния очистного забоя и демонтажной камеры (абсолютные значения), МПа	Пределы опорного давления по классической теории (А. А. Борисов и др.) $q_{\max} \geq (2-5) \sigma_z$ (абсолютное сравнение)	Пределы параметров опорного давления по О. Якоби $\sigma_z \gg 2-20 \sigma_z$ (абсолютное сравнение)
Расчетная величина вертикальных напряжений ($\sigma_z = \gamma H$), МПа	50-66	48-69	250-345	1000-1380
$\sigma_x + \sigma_y = 27 + 0,7H$ (по П. В. Егорову)	σ_z № 1382 = 237	σ_z № 1384 = 195	13	763-1155
$\sigma_x = (0,4 - 0,5) \gamma H$ (по К. А. Ардашеву)	σ_x № 1382 = 276	σ_z № 1384 = 220	30-69	780-1104
$\sigma_{\max \kappa} = \frac{1}{4} \beta \frac{a}{b} (1 - \mu^2) q \frac{b^2}{h^2}$ (по А. А. Борисову)	$\sigma_{\max \kappa}$ № 1382 = 208,4	$\sigma_{\max \kappa}$ № 1384 = 296,6	41,6-48,4	791,6-1083,4
	$\sigma_{\min \kappa}$ № 1382 = 259,6	$\sigma_{\min \kappa}$ № 1384 = 238,1	12-85,4	740,4-1142
$P_{\max} = \gamma H + \frac{l}{48\sigma_{\text{нч.р}}} (l^2 \gamma^2 - 48\sigma_{\text{нч.р}}) + \sum_1^n M_i$ (по И. Л. Харитонову)	P_{\max} № 1382 = 161,08	P_{\max} № 1384 = 232,8	81,41-102,97	1000-1380 852,97-1116,1

Таблица 2

**Анализ параметров математических моделей опорного давления по сложным зонам
очистных забоев №1382 и №1384 (относительное сравнение)**

Уравнение модели	Характеристика и параметры опорного давления напряжения в сложных зонах			
	Лава №1382, зона взаимовлияния очистного забоя и уклонов (абсолютные значения)	Лава №1384, зона взаимовлияния очистного забоя и демонтажной камеры (абсолютные значения)	Пределы опорного давления по классической теории (А. А. Борисов, и др.) $q_{\max} \geq (2-5) \sigma_z$ (абсолютное сравнение)	Пределы параметров опорного давления по О. Якоби $\sigma_z \gg 2-20 \sigma_z$ (абсолютное сравнение)
Расчетная величина вертикальных напряжений ($\sigma_z = \gamma H$), МПа	50-66	48-69	500 %*	2000-2083 %
$\sigma_x + \sigma_y = 27 + 0,7H$ (по П. В. Егорову)	σ_z №1382 = 237 МПа	σ_z №1384 = 195 МПа	14-31,32 %	512-582 %
$\sigma_x = (0,4 - 0,5) \gamma H$ (по К. А. Ардашеву)	σ_x № 1382 = 276 МПа	σ_z №1384 = 220 МПа	12-145 %	454-511 %
$\sigma_{\max \kappa} = \frac{1}{4} \beta \frac{a}{b} (1 - \mu^2) q \frac{b^2}{h^2}$ (по А. А. Борисову)	$\sigma_{\max \kappa}$ №1382 = 208,4 МПа	$\sigma_{\max \kappa}$ №1384 = 296,6 МПа	17-116 %	479-465 %
	$\sigma_{\min \kappa}$ №1382 = 259,6 МПа	$\sigma_{\min \kappa}$ №1384 = 238,1 МПа	9,5-133 %	420-533 %
$P_{\max} = \gamma H + \frac{l}{48\sigma_{\text{нч.р}}} (l^2 \gamma^2 - 48\sigma_{\text{нч.р}}) + \sum_1^n M_i$ (по И. Л. Харитонову)	P_{\max} №1382 = 161,08 МПа	P_{\max} №1384 = 232,8 МПа	250-345 — 155 — 1488 %	1000-1380 — 680,1 — (- 491,2) %

* Считать 100 % = 1 раз, 500 % = 5 раз и т. п.

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 отношения к проявлению опорного давления — О. Якоби, который, допускает его увеличение до 20 раз, что объяснимо при изменении параметров показателей, входящих в модели.

Характер проявления максимальных параметров опорного давления в массиве горных пород лавы №1384 по пласту

«Байкаимский» показал, что угольный целик, формируемый в предварительно подготовленной демонтажной камере, принял значительную часть нагрузки (деформировался) и снял значительное напряженное состояние в кровле над демонтажной камерой №1384. Как видно из табл. 1, 2, величина напряжений в сложных зонах взаимовлияния выработок разнится почти в четыре раза (4,05 раза).

Следовательно, подготовка демонтажной камеры лавы № 1384 по пласту «Байкаимский» в зоне взаимовлияния

Оценка адекватности модели опорного давления в лаве №1384 по ее погрешности ε

Номер расчета по модели и замера при исследованиях (в сложной зоне)	Результат по модели $P_{\max} = \gamma H + \frac{l}{48\sigma_{\text{нч.р}}} \times (l^2\gamma^2 - 48\sigma_{\text{нч.р}}) + \sum_1^n M_i + \tilde{y}_1$ МПа	Результат параметра при замерах, с учетом интенсивности проявления опорного давления по А. А. Борисову $q_{\max} > (2 - 5) \sigma_z y_1$, МПа	$\tilde{y}_j - y_j$	$\varepsilon_j = \frac{\tilde{y}_j - y_j}{y_j}$	ε_j^2	$\varepsilon = \sqrt{\sum_{j=1}^m \varepsilon_j^2}$
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	
					$\sum_{j=1}^m \varepsilon_j^2 = 0,144354$	

очистного забоя и демонтажной камеры № 1384, формируемой с вырезанием угольного целика, с позиций аспекта управления горным давлением, произведена рационально, и заслуживает дальнейшего применения на практике.

На основе итеративных расчетов по математической модели (при знакопеременном незначительном пошаговом изменении глубины залегания — 0,1 м, так как угол залегания пласта около 1°), изменения предела прочности на разрыв (шаг изменения $\sigma_{\text{нч.р}}$ принят 0,001), плеча равнодействующей нагрузки, изгибающих моментов зависающих 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, получена погрешность модели ε , представленная в табл. 3.

Анализируя расчеты табл. 3, видно, что допустимая погрешность ε результатов, полученных по модели суммарного давления (1), и результатов, полученных при фактических инструментальных замерах 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 эмпирическим путем. При данной серии расчетов адекватность модели достаточно высокая. Хотя, как и все геомеханические модели, модель (1) упрощена.

Резюмируя, можно выдвинуть положение, что максимум опорного давления в сложной зоне при подвигании очистного забоя согласно математической модели (1) в большей степени определяется изгибающим моментом зависших консолей и составляет 50 % и более от суммарного давления, что выражается формулой (2):

$$\sum_1^n M_i \geq 0,5 P_{\max} \quad (2)$$

Характеристика математической модели суммарного опорного давления в массиве вмещающих горных пород пласта «Байкаимский» шахты им. 7 Ноября ОАО СУЭК-Куз-

басс» в сложных зонах и рекомендации к практическому применению определены следующим:

— первая часть модели $[\gamma H]$ учитывает давление веса пород покрывающей толщи, косвенно — угол и глубину залегания пласта (перепад глубины на определенной протяженности характеризует угол наклона выработки), геологическую структуру пласта и, как результат, величину вертикальных напряжений, и еще ряд геологических характеристик, связанных с γH , таких как коэффициенты концентрации и деконцентрации напряжений, что связано с пределами прочности, текучести и др. Данная часть модели позволяет проводить широкий диапазон исследований по вертикальным напряжениям массива горных пород;

— вторая часть модели $\left[\frac{l}{48\sigma_{\text{нч.р}}} (l^2\gamma^2 - 48\sigma_{\text{нч.р}}) \right]$ учитывает давление на крепь ранее пройденной выработки, на основе предела прочности породы на разрыв, а также пролет выработки, соответствующий моменту предстоящего отрыва свода, и позволяет установить наиболее опасные напряженные зоны опорного давления;

— третья часть модели $\left[\sum_1^n M_i \right]$ учитывает интенсивность воздействия опорного давления покрывающей толщи пород при образовании консольных плит в «сложной зоне», за счет суммарных изгибающих моментов зависающих слоев пород непосредственной кровли. Изгибающий момент $M(x_i)$ рассчитывается от неравномерно распределенной нагрузки грузовой площади заключенной эмпирической кривой (в нашем случае: $y = -\frac{1}{3}x^2 + 10,1x$, и ограничивающийся снизу прямой $y = 5$ (взята мощность пласта, равного примерно 5 м).

В принципе расчет суммарных изгибающих моментов зависающих слоев пород непосредственной кровли — это прогноз максимумов опорного давления в «сложных

зонах» при подвигании очистного забоя. От характера образования консолей, их длины и толщи, описываемых грузовой площадью заключенной эмпирической кривой, зависит большая часть опорного давления.

Представленная модель формирования опорного давления и определения его параметров в сложных зонах позволяет определять:

- запасы прочностных параметров очистного комплекса;
- запасы прочностных параметров крепления выработок в сложных зонах;

— технологические и организационные параметры ведения очистных работ.

В заключение можно утверждать, что допустимая погрешность ϵ результатов, полученных по модели суммарного давления (1), и результатов, полученных при фактических инструментальных замерах напряжений, при исследовании опорного давления в столбе лавы №1384 определили высокую сходимость результатов и адекватность модели, а, следовательно, данную геомеханическую модель можно рекомендовать к применению в практических расчетах.