

УДК: 620.1:622.02

**ОЦЕНКА УДАРООПАСНОСТИ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОМОЩИ
ОТНОСИТЕЛЬНОГО МНОГОМЕРНОГО КРИТЕРИЯ СРАВНЕНИЯ ЯХЕЕВА**

**ESTIMATION OF ROCKBURST HAZARD OF ROCKS WITH RELATIVE
MULTIDIMENSIONAL CRITERION OF COMPARISON OF YAKHEEV**

Канд. техн. наук В.В. Яхеев

PhD V.V. Yakheev

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

В работе предлагается использование относительного критерия сравнения Яхеева для оценки удароопасности закладочного массива в сопоставлении с массивом горных пород и руды. В результате расчетов этого критерия с использованием физико-механических свойств установлено, что удароопасность горной породы составляет 14,91, а руды 13,05 относительных единиц по сравнению с 1-й относительной единицей у закладочного массива. Из этого был сделан вывод, что закладочный массив не является удароопасным, что было подтверждено статистикой горных ударов по руднику «Октябрьский». На основании статьи сделаны следующие выводы: для прогноза удароопасности можно рекомендовать относительный многомерный критерий сравнения Яхеева, и в качестве борьбы с горными ударами можно размещать выработки в закладочном массиве.

Ключевые слова: подземная добыча, рудник, горный удар, удароопасность, рудная подготовка, горная выработка, относительный многомерный критерий сравнения Яхеева.

The paper proposes the use of the Yakheev relative comparison criterion to assess the impact hazard of the stowage massif in comparison with the rock and ore massif. In the results of calculations of this criterion using physical and mechanical properties, it is established that the impact hazard of the rock is 14,91, and the ore is 13,05 relative units compared to the 1st relative unit of the stowing array. From this, it was concluded that the stowing array is not a shock hazard, which was confirmed by the statistics of mining bumps at the Oktyabrsky mine. Based on the article, the following conclusions are made: for predicting the impact hazard, we can recommend the relative multidimensional of comparison criterion of Yakheev, and as a way to combat mountain impacts, we can place workings in the stowing array.

Keywords: underground mining, mine, mining strike, rockburst hazard, ore preparation, excavation, relative multidimensional of comparison criterion of Yakheev.

Горный удар — внезапное быстропротекающее разрушение предельно напряжённой части массива полезных ископаемых (породы), прилегающей к подземной горной выработке [1–3]. Горный удар сопровождается выбросом полезных ископаемых (пород) в горную выработку,

сильным звуковым эффектом, возникновением мощной воздушной волны. Горные удары обычно происходят при глубинах разработки свыше 200 м. На многих месторождениях, особенно рудных, возникновение горного удара вызывается наличием в массиве горных пород текто-

нических напряжений, превышающих по своей величине гравитационные, иногда, в несколько раз. В горном ударе участвуют потенциальная энергия упругого сжатия пласта полезных ископаемых (пород) в очаге разрушения и энергия упругих деформаций окружающих пород. Динамический характер потери устойчивости при горном ударе вызывается превышением притока энергии над её поглощением при разрушении. По силе проявления выделяют: стреляния, толчки, микроудары и собственно горные удары; последние проявляются в краевых частях подготовительных и очистных выработок, в целиках [1].

Борьба с горными ударами ведётся: путём снижения горного давления на рудное тело посредством специальной раскройке месторождения на шахтные поля и порядка их отработки, исключая образование участков с большой концентрацией напряжений; опережающей отработкой неопасных, т.н. защитных, соседних пластов, слоев, залежей; бесцеликовой технологией отработки, сокращением количества горных выработок впереди фронта очистных работ; уменьшением способности пласта полезных ископаемых (породы) к накоплению упругой энергии (рыхлением камуфлетными взрывами, нагнетанием воды в пласт, разгрузочными скважинами и щелями) и др. [1–6].

Автором в работах [7, 8] разработан способ рудной подготовки маломощных месторождений, где для борьбы с горными ударами, предложено размещать горные подготовительные выработки в закладочном массиве из твердеющей закладки, которая заполняет выработанное пространство руды. Твердеющая закладка представляет собой бетонную смесь с пониженным содержанием цемента (тощий бетон), что достаточно для её прочности при работе в условиях объемного сжатия под землей. Оценка данного предложения с точки зрения удароопасности ранее не проводилась.

Целью данной статьи является оценка удароопасности массивов горных пород при помощи относительного многомерного критерия сравнения Яхеева.

Если окажется, что удароопасность закладочного массива будет ниже чем удароопасность руды и породы, то возможен новый способ борьбы с горными ударами — это размещение горных выработок в закладке.

Вторым следствием применения этого критерия, будет возможность оценки устойчивости любых материалов при динамическом характере разрушения (то есть при взрыве и метательном оружии), когда наблюдается превышение притока энергии над её поглощением в материале.

Оценка удароопасности горных массивов (месторождений) является сложной и многомерной задачей, так как требует учета многих параметров (свойств), число которых может достигать нескольких десятков. Одновременный учет многих свойств в каком-то обобщающем показателе удароопасности до сих пор не предложен. Для оценки удароопасности предлагается использовать относительный многомерный критерий сравнения Яхеева, ранее разработанный автором для оценки выбросоопасности двух геологических зон месторождений полезных ископаемых [9], и далее усовершенствованный в работе [10] для сопоставительного сравнения различных объектов и технологий. В статистике и других науках, в соответствии с устоявшейся традицией, все критерии и индексы носят названия фамилий и псевдонимов создателей. Поэтому автор не стал нарушать традиции и назвал разработанный критерий своим именем [10]. С момента создания в 1986 г., относительный многомерный критерий сравнения из чисто математической формы превратился в логико-математическую форму:

$$Ya' = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \frac{x_i^1}{x_i^0}}{n} = \begin{cases} > 1 \\ = 1 \\ < 1 \end{cases}$$

При условии:

$$\exists x_i \in \uparrow, \Rightarrow \frac{x_i^1}{x_i^0}; \exists x_i \in \downarrow, \Rightarrow \frac{x_i^0}{x_i^1},$$

где удароопасность сравниваемого горного массива (месторождения) составляет при $Ya' > 1$ — больше; $= 1$ — одинакова; < 1 — меньше, по сравнению с базовым горным массивом (месторождением);

x_i^0 — параметры базового горного массива, относительно которого происходит сравнение, в нашем случае — это закладочный массив;

x_i^1 — то же самое, соответственно и для рассматриваемых горных массивов (месторожде-

ний), в нашем случае — это горный массив из породы и руды;

p_i — весовой коэффициент, выражающий вес каждого параметра с учетом его значимости, может определяться экспертным или расчетным методом. Так как мы не проводим исследований по этому вопросу, то принимаем вес каждого параметра равным единице, то есть $p_i = 1$;

n — нижний индекс показывает число элементов, влияющих на удароопасность горного массива, должно быть одинаковым для сравниваемых горных массивов месторождений;

↑ — прямо пропорциональная величина. В случае удароопасности — это те величины, увеличение значения которых прямо пропорционально удароопасности, то есть увеличивает удароопасность. В нашем случае, прямо пропорциональными величинами являются: плотность, предел прочности на сжатие и модуль Юнга, тогда берется отношение физико-механических свойств $\frac{x_i^1}{x_i^0}$. То есть параметр сравниваемого массива (рудный и породный массив) сопоставляется с параметр базового закладочного массива;

↓ — обратно пропорциональная величина. В случае удароопасности — это те величины, увеличение значения которых обратно пропорционально удароопасности, то есть снижают удароопасность. В нашем примере, такой параметр — это модуль Пуассона, тогда берется обратное отношение физико-механического свойства $\frac{x_i^1}{x_i^0}$. То есть параметр базового закладочного массива сопоставляется с параметром сравниваемого массива (рудный и породный массив) $\frac{x_i^1}{x_i^0}$;

⇒ — логическое следование (импликация).

Оценку и сопоставление удароопасности закладочного массива, по сравнению с рудным и породными массивами, произведем по их физико-механическим свойствам: плотности, пределам прочности на сжатие, а также модулям Юнга и Пуассона, которые в основном определяют прочностные и упругие свойства горного массива, то есть его склонность к удароопасности. Относительный многомерный критерий сравнения удароопасности Яхеева основывается на следующем физическом смысле — чем прочнее и более упруга порода слагающая массив, то тем более он удароопасен. Здесь наблю-

дается прямо пропорциональная зависимость, то есть увеличение значений прочностных и упругих физико-механических свойств увеличивает удароопасность. И наоборот, то физико-механическое свойство, которое уменьшает способность пласта полезных ископаемых (породы) к накоплению упругой энергии, уменьшает удароопасность. Таким свойством является модуль Пуассона, он приводит к деформации массива при нагрузке и рассеиванию упругой энергии, что не создает условия для проявления горного удара.

Так как мы сравниваем удароопасность закладочного массива, по сравнению с породным и рудным массивом, то закладочный массив берем за базовый массив, относительно которого происходит сравнение. Физико-механические свойства закладки берем за исходные, относительно которых происходит сравнение. Закладка дает относительную единицу удароопасности, так как свойства закладки делим сами на себя.

Таким образом, получаем относительные оценки удароопасности рудного и породного массива по сравнению с закладочным массивом.

Эта оценка удароопасности с использованием относительного многомерного критерия сравнения удароопасности Яхеева приведена в табл. 1.

Данные табл. 1 подтверждают, что удароопасность массивов из горных вмещающих пород и руды больше удароопасности закладочного массива. Причем удароопасность горной породы которая равна 1 в 14,91 раз больше, а руды в 13,05 раз больше, чем у закладочного массива которая равна 1, в соответствии с этим критерием. Из такой большой относительной разности можно предположить, что закладочный массив неудароопасен. Это подтверждают данные натурных наблюдений Лаборатории автоматизированного слежения за количеством горных ударов по руднику «Октябрьский» за 2006–2010 гг, приведенные в табл. 2.

Таким образом, достоверность прогноза удароопасности по относительному многомерному критерию сравнения Яхеева подтверждается данными натурных наблюдений за количеством горных ударов по руднику «Октябрьский» за 2006–2010 гг, что делает его возможным рекомендовать к применению.

На основании данных представленных в статье можно сделать следующие выводы.

Таблица 1

Прогнозирование и сопоставление удароопасности массивов руды и породы к закладке по их физико-механическим свойствам при помощи относительного многомерного критерия сравнения удароопасности Яхеева

Наименование массива	Физико-механические свойства / Ya'_i (Значение относительного многомерного критерия сравнения удароопасности Яхеева по свойству), ед.				Ya' (Значение относительного многомерного критерия сравнения удароопасности Яхеева), ед.
	плотность	прочность	упругие свойства		
	плотность, т/м ³	предел прочности на сжатие, МПа	модуль Юнга, МПа	модуль Пуассона*, МПа	
Вмещающие породы	2,6/1,24	130/21,63	70000/35,64	0,26/1,12	14,91
Сульфидная (богатая) руда	4,1/1,95	80/13,31	70500/35,90	0,28/1,04	13,05
Закладочный массив	2,1/1	6,0/1	1964/1	0,29/1	1

Примечание: * — берется обратное отношение

Таблица 2

Распределение горных ударов по руде, породе и закладке по шахтному полю рудника «Октябрьский» за период с 2006 по 2010 гг

Год	Количество произошедших горных ударов			
	порода	руда	закладка	итого:
2006	56	78	0	134
2007	106	66	0	172
2008	14	26	0	40
2009	15	24	0	39
2010	17	0	0	17
Итого:	208	194	0	402

1. Достоверность прогноза удароопасности по относительному многомерному критерию сравнения Яхеева подтверждается данными натурных наблюдений за количеством горных ударов по руднику «Октябрьский» за 2006–2010 гг, что делает его возможным рекомендовать к применению.

2. Закладочный массив является не удароопасным массивом, и в нем необходимо размещать горные выработки, что будет, помимо традиционных мер, являться новым способом предотвращения горных ударов.

3. Относительный многомерный критерия сравнения Яхеева можно также рекомендовать для комплексной физико-механической оценки устойчивости любых материалов при динамическом характере разрушения, где необходимо использовать совместный, одновременный учет многих физико-механических свойств материалов.

Литература

1. <http://www.mining-enc.ru/g/gornyj-udar>
2. Петухов И.М. Механика горных ударов и выбросов / И.М. Петухов, А.М. Линьков. — М.: Недра. 1983. 279 с.
3. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления / А.Н. Зорин. — М.: Недра. 1978. 175 с.
4. Подземная разработка месторождений руд цветных металлов на больших глубинах за рубежом. — М.: ЦНИИцветмет экономики и информатики. 1983. 50 с.
5. Бронников Д.М. Разработка руд на больших глубинах / Д.М. Бронников, Н.Ф. Замесов, Г.И. Богданов. — М.: Недра. 1982. 292 с.
6. Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных по горным

ударам. — Норильск–Санкт-Петербург. 2007. 99 с.

7. Скворцов В.В., Яхеев В.В. Рудная подготовка месторождений и геоэкология Норильского промышленного района. — СПб: Издательство ГПА. 2012. 402 с.

8. Патент на изобретение № 2456452 (Российская Федерация). Способ разработки маломощного пологого рудного тела. Яхеев В.В., Мишанов В.А. // Бюллетень изобретений. 2012. № 20.

9. Яхеев В.В. Многомерный критерий сравнения выбросоопасности двух геологических зон месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. Известия вузов. 1987. № 3. С. 73–76.

10. Яхеев В.В. Разработка многомерного критерия сравнения (критерия Яхеева) для выбора инновационной технологии. // Актуальные проблемы экономики современной России: Сборник научных трудов (под ред. А.А. Оводенко). — СПб: ГУАП. 2010. С. 173–176.

References

1. <http://www.mining-enc.ru/g/gornyj-udar>
2. Petukhov I.M. Mechanics of mountain impacts and emissions / I.M. Petukhov, A.M. Linkov. — M.: Nedra. 1983. 279 p.
3. Zorin A.N. Management of dynamic manifestations of mountain pressure / A.N. Zorin. — M.: Nedra. 1978. 175 p.

4. Underground development of non-ferrous metal ore deposits at great depths abroad. — Moscow: Tsniitsvetmet ekonomiki i inforamatsii. 1983. 50 p.

5. Bronnikov D.M. Development of ores at great depths / D.M. Bronnikov, N.F. Zamesov, G.I. Bogdanov. — M.: Nedra. 1982. 292 p.

6. Instructions for the safe conduct of mining operations in the Talnakh and Oktyabrsky fields, prone and dangerous to mountain impacts. — Norilsk–Saint Petersburg. 2007. 99 p.

7. Skvortsov V.V., Yakheev V.V. Ore preparation of deposits and geoecology of the Norilsk industrial district. — St. Petersburg: GPA Publishing House. 2012. 402 p.

8. The patent for the invention № 2456452 (Russian Federation). A method for developing a low-power flat ore body. Yakheev V.V., Mishanov V.A. // Bulletin of Inventions. 2012. № 20.

9. Yakheev V.V. Multidimensional criterion for comparing the emission hazard of two geological zones of mineral deposits // Mountain magazine. Izvestiya vuzov. 1987. № 3. P. 73–76.

10. Yakheev V.V. Development of a multidimensional comparison criterion (Yakheev criterion) for the choice of innovative technology // Actual problems of the economy of modern Russia: Collection of scientific works (edited by A.A. Ovodenko). — SPb: GUAP. 2010. P. 173–176.