

УДК 622.271.33

ОЦЕНКА ВАРИАЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

РОМАНЕНКО А. А.^{1*}, *маркшейдер карьера*

^{1*} Маркшейдер карьера по наблюдению за сдвижением горных пород, ПАО «ЦГОК», Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина, тел. +38 (0564) 409-63-43, e-mail: alexrom14@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8381-8873.

Аннотация. Цель. Оценка вариации значений интегрального показателя (ИП), полученных с помощью методики оценки устойчивости, оценка значений коэффициента запаса устойчивости, для условий Ингулецкого карьера. На данный момент существует разные подходы к оценке устойчивости бортов карьеров, но наиболее распространен метод с помощью коэффициента запаса устойчивости. Который служит основой, для вычисления интегрального показателя и включает в себя более расширенную оценку устойчивости бортов карьера. **Целью** данной статьи является оценка вариации значений интегрального показателя (ИП), полученных с помощью методики оценки устойчивости и параллельная оценка значений коэффициента запаса устойчивости, для условий Ингулецкого карьера. **Результаты.** По результатам проведения оценки вариативности было установлено, что применение методики сведения безразмерных величин возможно использовать для выполнения сведения факторов, имеющих различную природу и оказывающих влияние на состояние устойчивости горного массива, а также с по результатам использования данного метода получать интегральный показатель, который обеспечит максимально точную оценку состояния массива как на текущий момент, так и на перспективу. Методику сведения безразмерных величин возможно использовать для выполнения сведения факторов, имеющих различную природу и оказывающих влияние на состояние устойчивости горного массива. Выполнена сводная оценка вариации интегрального показателя и коэффициента запаса устойчивости. По результатам оценки, исходя из того, что совокупность признаков считается однородной при значениях коэффициента вариации меньше 40% можно сказать, что данное месторождение имеет относительно однородную структуру и может восприниматься как цельный объект, разбитый на комплекс взаимовлияющих зон. **Научная новизна.** Впервые предложен интегральный показатель, позволяющий районировать борта железорудных карьеров по комплексу факторов, которые определяют состояние горного массива. **Практическая значимость.** Проведена оценка вариации интегрального показателя и коэффициента запаса устойчивости для условий Ингулецкого карьера.

Ключевые слова: районирование, интегральный показатель, карьер, фактор, коэффициент запаса устойчивости.

ОЦІНКА ВАРІАЦІЇ ЗНАЧЕНЬ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА І КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ БОРТІВ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

РОМАНЕНКО А. О.^{1*}, *маркшейдер карьера*

^{1*} Маркшейдер кар'єра по нагляду за здвигом гірських порід, ПАТ «ЦГОК», Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна, тел. +38 (0564) 409-63-43, e-mail: alexrom14@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8381-8873.

Анотація. Мета. Оцінка варіації значень інтегрального показника (ІП), отриманих за допомогою методики оцінки стійкості, оцінка варіації значень коефіцієнта запаса стійкості, для умов Інгулецького кар'єра. На даний момент існують різні підходи до оцінки стійкості бортів кар'єрів, але найбільш поширений, це розрахунок стійкості за допомогою коефіцієнта запаса стійкості. Який служить основою, для обчислення інтегрального показника і включає в себе більш розширену оцінку стійкості бортів кар'єру. **Метою** даної статті є оцінка варіації значень інтегрального показника (ІП), отриманих за допомогою методики оцінки стійкості і паралельна оцінка значень коефіцієнта запаса стійкості, для умов Інгулецького кар'єра. **Результати.** За результатами проведення оцінки варіативності було встановлено, що застосування методики визначення безрозмірних величин можливо використовувати для виконання оцінки факторів, що мають різну природу і які впливають на стан стійкості гірського масиву. Також використання даного методу допомогло розробити методику розрахунку інтегрального показника, який забезпечить максимально точну оцінку стану масиву як на поточний момент, так і на перспективу. Методику відомості безрозмірних величин можливо використовувати для виконання відомості факторів, що мають різну природу і що впливають на стан стійкості гірського масиву. Виконана зведена оцінка варіації інтегрального показника і коефіцієнта запаса стійкості. За результатами оцінки, виходячи з того, що сукупність ознак вважається однорідною при значеннях коефіцієнта варіації менше 40% можна сказати, що дане родовище має відносно однорідну структуру і може сприйматися як цілісний об'єкт, розбитий на комплекс взаємодіючих зон. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано інтегральний показник, що дозволяє районувати борту залізорудних кар'єрів по комплексу факторів, які визначають стан гірського масиву. **Практична значимість.** Проведено оцінку варіації інтегрального показника і коефіцієнта запаса стійкості для умов Інгулецького кар'єра.

Ключові слова: стійкість, районування, інтегральний показник, кар'єр, фактори.

ASSESSMENT OF VARIATIONS VALUE OF THE INTEGRAL INDICATORS AND THE SAFETY FACTOR BOARD DEEP PIT

ROMANENKO A.A.¹ *, Mine deformation surveyor engineer

¹* Mine deformation surveyor engineer, PJSC "Central GOK», Krivoy Rog, Dnipropetrovs'k dist., Ukraine, tel. 38 (0564) 409-63-43, e-mail: alexrom14@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8381-8873.

Summary. Purpose. Evaluation of the integral index variation values (II) obtained by stability assessment methodology, assessment of the safety factor values of sustainability, for Inhulets career conditions. At the moment there are different approaches to the assessment of the stability of pit walls, but the most common method of using a safety factor. That is the basis for calculating the integral index, and includes more advanced evaluation boards career stability. **The purpose** of this article is to evaluate the integral index variation values (II) obtained by the methods of the stability assessment and parallel evaluation of sustainability safety factor values, for Inhulets career conditions. **Results.** As a result provdeniya assess variability has been found that the use of methods of information dimensionless quantities can be used for implementation of information factors that are different in nature and have an impact on the condition of stability of the rock mass, as well as with the results of using this method to obtain the integral index, which will provide the most accurate assessment of the solid state like currently and in the future. Methodology details dimensionless quantities can be used for implementation of information factors that are different in nature and have an impact on the condition of stability of the rock mass. Made a summary assessment of variations in the integral index and safety factor. Based on the fact that a combination of features is considered homogeneous when values of the coefficient of variation of less than 40% can be said that this deposit has a relatively homogeneous structure and can be perceived as a single entity, divided into a set of mutually influencing zones. **Scientific novelty.** For the first time offered the integral index, allowing regionalize board iron quarries on the complex factors that determine the slope stability of the rock mass. **Practical significance.** The evaluation of the variation of the integral index and the safety factor for career Inhulets conditions.

Keywords: stability, division into districts, integrated indicator, pit, factor, stability inventory coefficient.

Введение

Решение задачи расчета устойчивости бортов карьера и определение стабильности массива является одной из основных задач, которые ставятся перед инженерами горнотехнических объектов. Оценка степени достоверности расчета влечет за собой ответственность за безопасную эксплуатацию этих объектов, до которых также относятся и карьеры.

В процессе эксплуатации карьеры подвергаются влиянию множества факторов, уточнение которых может позволить как продлить жизнь данному объекту, так и вовремя предотвратить обрушения, оползни и другие нежелательные деформации, как отдельных участков, так и бортов карьеров в целом.

Цель

Целью данной статьи является оценка вариации значений интегрального показателя (ИП), полученных с помощью методики оценки устойчивости и параллельная оценка значений коэффициента запаса устойчивости, для условий Ингулецкого карьера.

Научная новизна. Впервые предложен интегральный показатель, позволяющий районировать борта железорудных карьеров по комплексу факторов, которые определяют состояние горного массива.

Анализ исследований и публикаций

На данный момент существует разные подходы к оценке устойчивости бортов карьеров, но наиболее

распространен метод с помощью коэффициента запаса устойчивости. Который служит основой, для вычисления интегрального показателя, что включает в себя более расширенную оценку устойчивости бортов карьера.

Вопросами устойчивости бортов карьеров, математической статистикой, для определения вариативности взаимосвязанных величин, районированием занимались многие ученые, такие как: Вакулин Г.Я., Гальперин А.М., Галустян Е.Л., Емельянов А.Ф., Абрамов Л. С., Исаченко А.Г., Солнцева Н.П., Фисенко Г.Л. [1,2,5].

Изложение материалов

Для обработки результатов расчета интегрального показателя использованы материалы, приведенные в статьях [3,4].

При оценке вариативности величин в первую очередь выделяют абсолютные показатели вариации, до которых относятся:

Для исходных условий, размах вариации вычисляется как разность между максимальным и минимальным значениями фактора:

$$R = x_{\max} - x_{\min} = 0,53 - 0,08 = 0,45 \quad (1).$$

Следующим шагом вычисляем «среднее линейное отклонение», которое представляет собой среднее арифметическое отклонение индивидуальных значений от середины интервала. (частота появления каждого отдельного значения коэффициента запаса устойчивости в пределах каждой зоны будем считать за 1), тогда получим:

$$l = \frac{\sum |x_i - \bar{x}| f_i}{\sum f_i} = \frac{2,0388}{18} = 0,1133 \quad (2),$$

где f_i частота появления x_i значения.

В случае, когда индивидуальных значений слишком много, для упрощения расчетов данные могут группировать, т.е. объединять в интервалы. Тогда \bar{x} имеет смысл середины i -го интервала, или среднего значения признака на i -том интервале.

Дисперсия для интегрального показателя вычисляем следующим образом:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 f_i}{\sum f_i} = \frac{0,3724}{18} = 0,0207 \quad (3),$$

где σ - квадратическое отклонение, корень из дисперсии.

Абсолютные показатели для признака измеряются в тех же величинах, что и сам признак, и показывают абсолютный размер отклонений, поэтому их неудобно применять для сравнения изменчивости разных признаков совокупности. Поэтому дополнительно рассчитываются относительные показатели вариации, которые выражаются в процентах.

Коэффициент осцилляции характеризует колеблемость крайних значений признака вокруг его средней арифметической величины:

$$K_o = \frac{R}{\bar{x}} = \frac{0,45}{0,3628} * 100 = 124,04\% \quad (4).$$

Относительное линейное отклонение вычисляется через формулу:

$$K_l = \frac{l}{\bar{x}} = \frac{11,33}{0,3628} = 31,22 \%$$

где l - среднее линейной отклонение.

Коэффициент вариации характеризует степень однородности совокупности признаков. Величина коэффициента вариации для существующих значений интегрального показателя для условий Ингулецкого карьера равняется:

$$V_\sigma = 100 \frac{\sigma}{\bar{x}} = 100 * \frac{\sqrt{0,0207}}{0,3628} = 39,66 \%$$

Таблица 1

**Сводная оценка вариации ИП и КЗУ /
Overall assessment of variations II and SF**

	Интегральный показатель (ИП)	Коэффициент запаса устойчивости (КЗУ)	Изм-е
Среднее арифметическое значение	0,3628	1,9194	-
Размах вариации	0,45	1,3100	-
Среднее линейное отклонение	0,1133	0,3540	-
Дисперсия	0,0207	0,1665	-
Среднее квадратическое отклонение	0,1438	0,4081	-
Коэффициент осцилляции (проценты)	124,04	68,25	55,79
Относительное линейное отклонение (проценты)	31,22	18,44	12,78
Коэффициент вариации (проценты)	39,66	21,26	18,4

Проведя расчет по показателям вариации для коэффициента запаса устойчивости получим результаты, сведенные в таблице 1.

Далее для проведения оценки оставим как фактор лишь значение коэффициента запаса устойчивости и выполним вычисление интегрального показателя, принимая вес данного фактора за 100% (Таблица 2).

Можно проделать подобное для условий со всеми влияющими факторами, то есть создать дополнительный виртуальный участок №19, где КЗУ будет равно 1,3. И включим этот виртуальный сектор в схему расчета, получив распределение значений КЗУ для условий Ингулецкого месторождения с учетом веса фактора.

Получим, что наибольшее значение ИП равняется 1,328, а наименьшее 0,682. Далее создадим виртуальный участок, где значение КЗУ будет равняться 1,3, то есть нормативному. Для этого участка получим значение ИП, равное 0,651. То есть для данных условий значение 0,651 будет для данного участка нормативным, а критическим оно становится при значении КЗУ 1, что соответствует величине ИП 0,5.

Таблица 2

**Результаты расчета интегрального показателя по фактору устойчивости /
The results of calculation of integral index by a factor of stability**

№ зоны	Значение	
	КЗУ	ИП
1	1,56	0,781955
2	1,93	0,967419
3	2,28	1,142857
4	2,03	1,017544
5	2,26	1,132832
6	2,65	1,328321
7	2,41	1,20802
8	2,14	1,072682
9	1,93	0,967419
10	1,38	0,691729
11	1,34	0,671679
12	1,36	0,681704
13	1,39	0,696742
14	2,47	1,238095
15	2,09	1,047619
16	2,11	1,057644
17	1,67	0,837093
18	1,55	0,776942

Базовый коэффициент запаса устойчивости для данных условий будет равен 0,38. Вычислим интегральный показатель для условий каждого участка, который будет характеризовать состояние устойчивости массива, равное 1,3. И рассмотрим на перспективу как изменится значение ИП в секторах. (Таблица 3).

Из таблицы 3 видно, что распределение влияние факторов значительно влияет на устойчивость массива при КЗУ 1,3. Полученные расчеты говорят о том, что наиболее неустойчивые участки при КЗУ 1,3

будут находиться в 6,7,12 и 13 зонах, несмотря на то, что зоны 7 и 6 на данный момент являются наиболее стабильными.

Для каждого отдельного профиля нормативное значение ИП, соответствующее КЗУ 1,3 будет разным, поскольку нагрузка на массив от влияния

факторов неравномерна. Таким образом для профиля 18 при нормативном значении КЗУ устойчивость массива по ИП будет составлять 0,29 значение интегрального показателя, а для профиля 7 это значение будет гораздо ниже и составит 0,04, то есть достигнет границы критических значений.

Таблица 3

Расчетное значение интегрального показателя и слагающих его факторов
The calculated value of the integral index, and its component factors

Факторы	Фактор устойчивости	Фактор объемности	Влияние БВР	Влияние шахты	Влияние гидрогеологического фактора	Влияние слоя тальковых сланцев	Фактор трещиноватости	Интегральный показатель состояния горного массива
1	0,380	0,045	0,009	0,000	0,093	0,006	0,040	0,28
2	0,380	0,057	0,034	0,000	0,105	0,001	0,040	0,26
3	0,380	0,055	0,030	0,000	0,117	0,002	0,040	0,25
4	0,380	0,095	0,028	0,053	0,117	0,000	0,053	0,22
5	0,380	0,100	0,054	0,160	0,105	0,000	0,047	0,11
6	0,380	0,048	0,036	0,107	0,105	0,048	0,053	0,08
7	0,380	0,011	0,137	0,053	0,093	0,021	0,047	0,04
8	0,380	0,018	0,011	0,000	0,070	0,014	0,060	0,24
9	0,380	0,034	0,010	0,000	0,058	0,016	0,073	0,26
10	0,380	0,027	0,005	0,000	0,082	0,027	0,127	0,17
11	0,380	0,000	0,007	0,000	0,093	0,054	0,133	0,09
12	0,380	0,000	0,003	0,000	0,093	0,081	0,140	0,06
13	0,380	0,000	0,004	0,000	0,093	0,120	0,107	0,06
14	0,380	0,003	0,033	0,000	0,082	0,000	0,100	0,17
15	0,380	0,003	0,041	0,000	0,035	0,000	0,093	0,21
16	0,380	0,000	0,005	0,000	0,047	0,007	0,080	0,24
17	0,380	0,000	0,004	0,000	0,023	0,009	0,053	0,29
18	0,380	0,000	0,008	0,000	0,035	0,000	0,047	0,29

Выводы

Применение методики сведения безразмерных величин возможно использовать для выполнения сведения факторов, имеющих различную природу и оказывающих влияние на состояние устойчивости горного массива, а также с по результатам использования данного метода получать интегральный показатель, который обеспечит максимально точную оценку состояния массива как на текущий момент, так и на перспективу.

Исходя из того, что совокупность признаков считается однородной при значениях коэффициента вариации меньше 40% можно сказать, что данное месторождение имеет относительно однородную структуру и может восприниматься как цельный объект, разбитый на комплекс взаимовлияющих зон, а разница между коэффициентом вариации от КЗУ и ИП (18,4%) говорит о том, что ИП учитывает более широкий спектр влияющих на массив факторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вероятность и математическая статистика. Энциклопедия / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. — М.: Изд-во «Большая Российская Энциклопедия», 1999.
2. Ширяев В. Д. Статистический последовательный анализ. Оптимальные правила остановки — М.: Наука, 1976.
3. Вероятностные разделы математики / Под ред. Ю. Д. Максимова. — Спб.: «Иван Фёдоров», 2001. — С. 400. — 592 с. — ISBN 5-81940-050-X.
4. Розроблення методу комплексної оцінки стану масиву кар'єру/ Шолох М.В.; Романенко А.О.// будівництво, матеріалознавство: сб. науч. Трудов. Вып.№76 – Дн-вск., ПГАСА, 2014.-С. 307-311.
5. Крамер Г. Математические методы статистики. — М.: Мир, 1975. — 848с. Cramer G, Mathematical

REFERENCES

1. *Veroyatnost' i matematicheskaya statistika. Entsiklopediya* / Gl. red. YU. V. Prokhorov. — M.: Izd-vo «Bol'shaya Rossiyskaya Entsiklopediya», 1999. Probability and Mathematical Statistics. Encyclopedia / Ch.dr. E.V. Prokhorov. - M.: Publishing House of the "Great Russian Encyclopedia", 1999.

2. Shiryaev V. D. *Statisticheskiy posledovatel'nyy analiz. Optimal'nyye pravila ostanovki* — M.: Nauka, 1976. V. D. Shiryaev, Statistical sequential analysis. The optimal stopping rule - M.: Science, 1976.
3. *Veroyatnostnyye razdely matematiki* / Pod red. YU. D. Maksimova. — Spb.: «Ivan Fodorov», 2001. — S. 400. — 592 s. — ISBN 5-81940-050-X. Probabilistic branches of mathematics / Ed. YD Maximov. - St. Petersburg.: "Ivan Fedorov", 2001. - S. 400 - 592 with. - ISBN 5-81940-050-X.
4. *Rozroblennya metodu kompleksnoyi otsinky stanu masyvu kar'yeru*/ Sholokh M. V.; Romanenko A. O.// stroytel'stvo, materyalovedenye: sb. nauch. Trudov. Vyp.№76 – Dn-vsk., PHASA, 2014.-S. 307-311. Develop a comprehensive assessment of the method array quarries / Sholokh M. V.; Romanenko A. O. // construction, materyalovedenye: Sat. scientific. Labor. №76 - VSK-Dn., PHASA, 2014.-S. 307-311.
5. Kramer G. *Matematicheskiye metody statistiki*. — M.: Mir, 1975. — 848 s. Cramer G, Mathematical methods of Statistics. - M.: Mir, 1975. - 848 p.

Стаття надійшла в редколегію 08.09.2016