

УДК 622.833:622.26

РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ С УЧЕТОМ ИХ ЕСТЕСТВЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ

Д. В. Бабен

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина. E-mail: dbabets@i.ua

Проанализированы основные отечественные и зарубежные классификации горных пород. Адаптированы наиболее используемые за рубежом рейтинговые показатели устойчивости к геологическим условиям угольных шахт Украины и классификациям, используемым в практике отечественного проектирования. Оценено влияние геологического индекса прочности GSI на результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг протяженной горной выработки. Каждому классу устойчивости поставлены в соответствие значения GSI, что позволяет проектировать выработку с использованием хорошо апробированного критерия прочности Хока–Брауна с учетом естественной и техногенной нарушенности горных пород.

Ключевые слова: классификация горных пород, геологический индекс прочности, категория устойчивости, численное моделирование.

РОЗВИТОК КЛАСИФІКАЦІЇ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА РІВНЕМ СТІЙКОСТІ З УРАХУВАННЯМ ПРИРОДНОЇ ПОРУШЕНОСТІ

Д. В. Бабен

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна. E-mail: dbabets@i.ua

Проаналізовано основні вітчизняні та зарубіжні класифікації гірських порід. Адаптовано найбільш використовувани за кордоном рейтингові показники стійкості до геологічних умов вугільних шахт України і класифікацій, що використовуються в практиці вітчизняного проектування. Оцінено вплив геологічного індексу міцності GSI на результати чисельного моделювання напружено-деформованого стану породного масиву навколо протяжної гірничої виробки. Кожному класу стійкості поставлені у відповідність значення GSI, що дозволяє проектувати виробки з використанням добре апробованого критерію міцності Хока–Брауна з урахуванням природної і техногенної порушеності гірських порід.

Ключові слова: класифікація гірських порід, геологічний індекс міцності, категорія стійкості, чисельне моделювання.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. При проектировании и строительстве подземных сооружений необходим комплекс сведений о различных свойствах горных пород, а также их систематизация, чтобы без проведения специальных детальных исследований можно было *априори* вести прогноз основных особенностей поведения породного массива при определенных типах воздействий. Отнесение пород к той или иной классификационной категории важно на начальной стадии проектирования подземного сооружения при выборе способа проведения выработки, проходческой техники, типа крепи и способов охраны выработки. Этот вопрос приобретает особую актуальность в связи с глобализацией горного дела, расширением рынка машин и оборудования, внедрения в практику отечественного подземного строительства зарубежных технологий, как проведения, так и крепления выработок. Построение классификаций является результатом изучения явлений, которые весьма многообразны вследствие большого числа определяющих факторов, поэтому важно определить основной признак или совокупность признаков, по которым производится систематизация изучаемого материала.

Целью данной работы является сопоставление отечественных и мировых классификаций массивов горных пород и адаптация наиболее используемых за рубежом рейтинговых показателей устойчивости к геологическим условиям угольных шахт Украины и классификациям, используемым в практике отечественного проектирования.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

На сегодняшний день основными параметрами, по которым классифицируются горные породы, являются:

- прочностные и деформационные характеристики породного массива – предел прочности на одноосное сжатие и растяжение, коэффициент крепости по М.М. Протодяконову, модуль упругости;
- параметры системы потери сплошности (трещин) – ориентация и состояние (отверстия, шероховатости поверхности, наполнение и выветривание);
- параметры обводненности;
- исходное поле напряжений (для глубоких выработок);
- геологическая структура (складки и разломы).

Целью введения первых классификаций было объединение усилий геологов и горных инженеров для принятия решений по выбору крепления выработок на основе свойств массива. Одной из первых отечественных классификаций горных пород является классификация проф. М.М. Протодяконова, в которой породы относятся к той или иной категории по комплексному показателю – коэффициенту крепости [1].

В основу классификации было положено предположение, что разрушение горных пород происходит, в основном, путем преодоления прочности пород на сжатие. Однако современные подходы к построению классификаций горных пород показали целесообразность учета как сжимающих, так и растягивающих и скалывающих усилий.

В более поздних классификациях составивших основу строительных норм и правил [2], категориям устойчивости пород ставится в соответствие величина смещений U на контуре поперечного сечения выработки (табл. 1).

Таблица 1 – Отнесение осадочных пород к той или иной категории устойчивости в зависимости от величины смещений

Категория устойчивости пород	Оценка состояния устойчивости пород	Смещения U , мм
		осадочные породы (песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, уголь и др.)
I	Устойчивое	До 50
II	Среднеустойчивое	Свыше 50 до 200
III	Очень неустойчивое	Свыше 200 до 500
IV	Сильно неустойчивое	Свыше 500

В соответствии с табл. 1 отнесение выработки к той или иной категории устойчивости осуществляется по абсолютной величине максимальных смещений пород на контуре поперечного сечения, которые определяются дифференцированно в кровле, почве и боках выработки.

Данная классификация является отправным пунктом при проектировании подземного сооружения, т.к. именно смещения пород в соответствии с методикой по СНиП является основной геомеханической характеристикой для определения нагрузки на крепь и дальнейшего определения параметров крепи (вид крепи, тип профиля, плотность установки и т.д.).

При этом смещения, указанные в категориях пород, не связаны с такими важными параметрами, как глубина залегания пород и их физико-механические свойства, что является недостатком классификации.

При оценке устойчивости обнажений на рудных месторождениях пользуются величиной либо размера пролета незакрепленного обнажения (для протяженных выработок) либо площади обнажения (для камерных выработок). При подземной разработке руд принята классификация [3], приведенная в табл. 2.

Таблица 2 – Отнесение пород к той или иной категории устойчивости по площади обнажения

Оценка состояния устойчивости пород	Площадь обнажения
слабые и неустойчивые руды	не допускают обнажений и требуют при разработке усиленного крепления
малоустойчивые	допускающие обнажения без крепления шириной до 3 м
средней устойчивости	допустимая площадь обнажения до 50–100 м ²
устойчивые	допустимая площадь обнажения до 200–500 м ²
весьма устойчивые	допустимая площадь обнажения 800–1000 м ² и более

Более поздние классификации направлены на детальную характеристику свойств структуры и текстуры пород. Классам пород на основе указанных характеристик ставятся в соответствие геомеханические параметры, необходимые для выбора крепи. В частности, нормативные документы [4] классифицируют породы по следующим свойствам: обрушаемость (управляемость) массива пород над пластом полезного ископаемого; устойчивость нижнего слоя кровли; устойчивость непосредственной почвы. В качестве основных признаков выделения категорий пород в этой классификации приняты технологические параметры, устанавливаемые по опыту работы очистных забоев в аналогичных условиях (средняя относительная величина приращения опускания кровли на 1 м ширины призабойного пространства; шаг первой и последующих осадок массива пород; размер устойчивого шага зависания его в выработанном пространстве после извлечения крепи) и литологические (прочность пород и расстояние между трещинами). В соответствие каждому классу пород ставится значение суммарного сопротивления крепи, определяются технологические схемы и параметры крепления. При этом очевидно, что значение необходимого сопротивления крепи, методы крепления пород в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях должны уточняться по мере получения объективных данных в ходе отработки участка.

Анализ отечественных классификаций показывает, что одни из них являются слишком общими, не содержащими рекомендаций по поддержанию выработок, другие – приурочены к конкретным технологиям добычи полезного ископаемого и содержат числовые значения геомеханических параметров (сопротивление крепи). Последние в иных горнотехнических условиях могут не соответствовать действительности, тем более в случае внедрения новой добывающей техники, изменения технологических схем, разработки нестандартных технических решений.

В указанных случаях проектирование подземных сооружений должно предваряться комплексом изыскательских работ, включающим визуальные и инструментальные наблюдения за поведением пород в натуральных условиях, статистическую обработку данных, а также моделирование геомеханических процессов, как физическое, так и математическое (численное). Именно при создании модели среды, в которой проводится выработка, важно отнесение пород к той или иной категории устойчивости для корректной увязки результатов лабораторного определения свойств пород, сведений о структурных особенностях пород и наблюдений *in situ*.

При этом из факта отнесения породы к тому или иному классу устойчивости должны следовать определенные количественные оценки (балы, рейтинги) с помощью которых можно определить основные геомеханические характеристики, необходимые для проектирования выработки. Такая идеология присуща ряду зарубежных, широко используемых в практике проектирования, классификаций.

Анализ наиболее известных рейтинговых классификаций горных пород. Мировые классификации горных пород, начиная со второй половины 20-го века, склоняются к введению результирующих рей-

тингових показателів як вихідного значення систематизацій. Так, в 1973 г. Бенявський [5] розробив концепцію рейтингового критерію стійкості масива горних порід застосовуючи до будівництва тунелів. Данна концепція після доработки і розширення області застосування отримала назву «рейтинг масива горних порід» (RMR). В класифікації RMR використовуються наступні шість вихідних параметрів: міцність порід на одностороннє стиснення; показник якості порід RQD; відстань між тріщинами; стан поверхні тріщин; орієнтація простягання тріщин; наявність підземних водопитоків. Значення індексу RMR визначається як сума рейтингових значень.

Для застосування даної класифікації до будівництва підземних горних виробок в різних умовах виникла необхідність її корекції і доповнення. Лобшир [6], ввів систему «горного рейтингу масива горних порід» (MRMR). Вона базується на RMR, але в ній також внесені додаткові поправочні коефіцієнти: параметр впливу вибухових робіт, зміна напруженого стану породного масиву і параметр порушеності.

Кількісні рейтинги (RMR і MRMR) дозволяють визначити основні технологічні схеми і параметри кріплення підземних виробок, однак, як вказувалося вище, значення геомеханічних параметрів в різних горнотехнічних умовах можуть суттєво відрізнятися.

Найбільш системно рейтингові показники використані Хоком і Брауном [7] для застосування емпіричної теорії міцності в геомеханічних розрахунках. Їм запропоновано критерій міцності порід в складному напруженому стані:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sqrt{m\sigma_c\sigma'_3 + s\sigma_c^2}, \quad (1)$$

де σ'_1, σ'_2 – головні напруження; m і s – матеріальні константи; σ'_c – межа міцності на одностороннє стиснення породного зразка.

Для породного масиву в вихідному (інтактному) стані, а також для лабораторного зразка горних порід $s=1$, а $m=m_i$. Значення m_i отримані в результаті лабораторних випробувань породних зразків різних типів горних порід. Однак, основною ідеєю розробки емпіричного критерію Хока-Брауна є те, що автори вказують на необхідність коректного переходу від властивостей лабораторного зразка до властивостей породного масиву.

Для визначення констант m і s , що характеризують реальний породний масив був використаний добре апробований для цивільного будівництва показник RMR (табл. 3).

Таблиця 3 – Визначення констант m і s за допомогою рейтингу RMR

Порушений породний масив (откоси)	Непорушений (блочний, зв'язаний) породний масив (підземні виробки)
$m = m_i e^{\frac{RMR - 100}{14}}$	$m = m_i e^{\frac{RMR - 100}{28}}$
$s = e^{\frac{RMR - 100}{6}}$	$s = e^{\frac{RMR - 100}{9}}$

Таким чином, для реального масиву горних порід значення констант критерію Хока-Брауна задовольняють нерівностям: $0 \leq s < 1$ і $m < m_i$.

Цей підхід дає можливість з більшою достовірністю визначати властивості породного масиву, базуючись на властивостях зразків, отриманих в лабораторних умовах, що, в свою чергу, збільшує достовірність визначення геомеханічних параметрів, що використовуються для проектування (розмір і форми зон руйнування, зміщення характерних точок масиву і т.д.). По суті, введення рейтингів є спробою кількісного відображення масштабного ефекту в горних породах.

В зв'язі з отриманням більшого обсягу даних спостережень і лабораторних випробувань виникла необхідність уточнення і узагальнення критерію міцності. В критерій (1) була введена характеристика, що дозволяє більш точно описати поведінку породного масиву. Узагальнений критерій міцності Хока-Брауна [8] має вигляд:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left(m \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^\alpha. \quad (2)$$

Тут параметр α є знову введеною характеристикою, що дозволяє підвищити точність апроксимації. З (1) випливає, що для «інтактного» породного масиву $\alpha=1/2$.

В 1994 році Хок [9] запропонував метод визначення оцінок міцності масиву горних порід, оснований на оцінці блочності масиву і стану поверхневих порушень (тріщин). Розвиток цього методу привів до створення нової класифікації, основою якою є так званий геологічний індекс міцності (Geological Strength Index – GSI).

На рис. 1 наведено систему визначення усередненого індексу GSI в залежності від структури (стану) породного масиву і наявності, а також стану тріщин [10].

В початковому вигляді класифікація GSI була описательною і була розрахована на те, що натурні спостереження будуть проводитися досвідченими і кваліфікованими геологами. Однак, в зв'язі з тим, що натурні спостереження *in situ* проводяться інженерами, не завжди існують умови для точного опису геологічних особливостей досліджуваного породного масиву, виникла необхідність квантифікувати систему (отримати численні значення).

В роботі [11] зроблено одна з перших спроб описательною систему GSI представити в численному вигляді. На рис. 1 ось, що відповідає розмірам блоків, і ось стану тріщин отримали численні значення. Відстань між тріщинами в цій системі змінюється від 0,01 до 1,5 м. Якість поверхні тріщин описується параметром стану тріщин (J_c) [12], який змінюється від 0,1 до 12.

Класифікація все час удосконалюється в залежності від запитів, що випливають з практики проектування. Так, в одному з останніх досліджень [13] запропоновано визначати індекс GSI як функцію індексу RQD і показника стану тріщин (JCond89) [5], який розраховується як сума рейтингів, що характеризують стан поверхності і розміри тріщин:

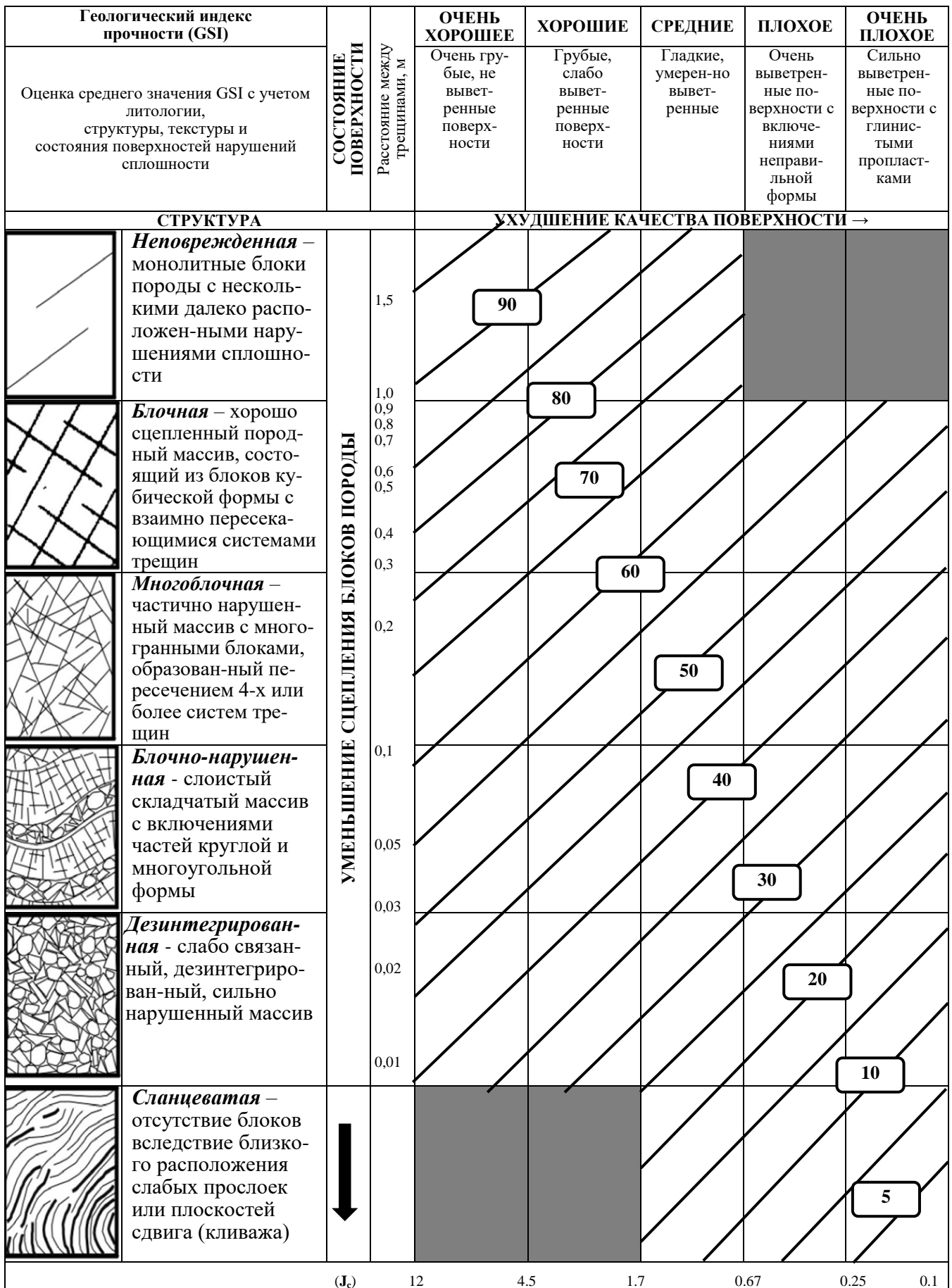


Рисунок 1 – Определение индекса GSI по структуре массива и типу трещин

$$GSI = 1,5JCond_{89} + 0,5RQD. \quad (3)$$

На рис. 2 представлена діаграма, в якій горизонтальна ось визначається значеннями $1,5JCond_{89}$, а вертикальна ось – значеннями $0,5RQD$. Значення індекса GSI визначається, в відповідності з формулою (3), як сума значень на цих осях.

Область застосування даної модифікації системи GSI зменшена по порівнянню з початковою

класифікацією. Оскільки основним припущенням критерію Хок-Брауна є існування декількох систем тріщин, достатньо близько розташованих по порівнянню з розмірами розглядаваної області, з рис. 1 були виключені дві крайні категорії структури масиву. Тільки в цьому випадку, по думці авторів, породний масив може вважатися однорідним і ізотропним.

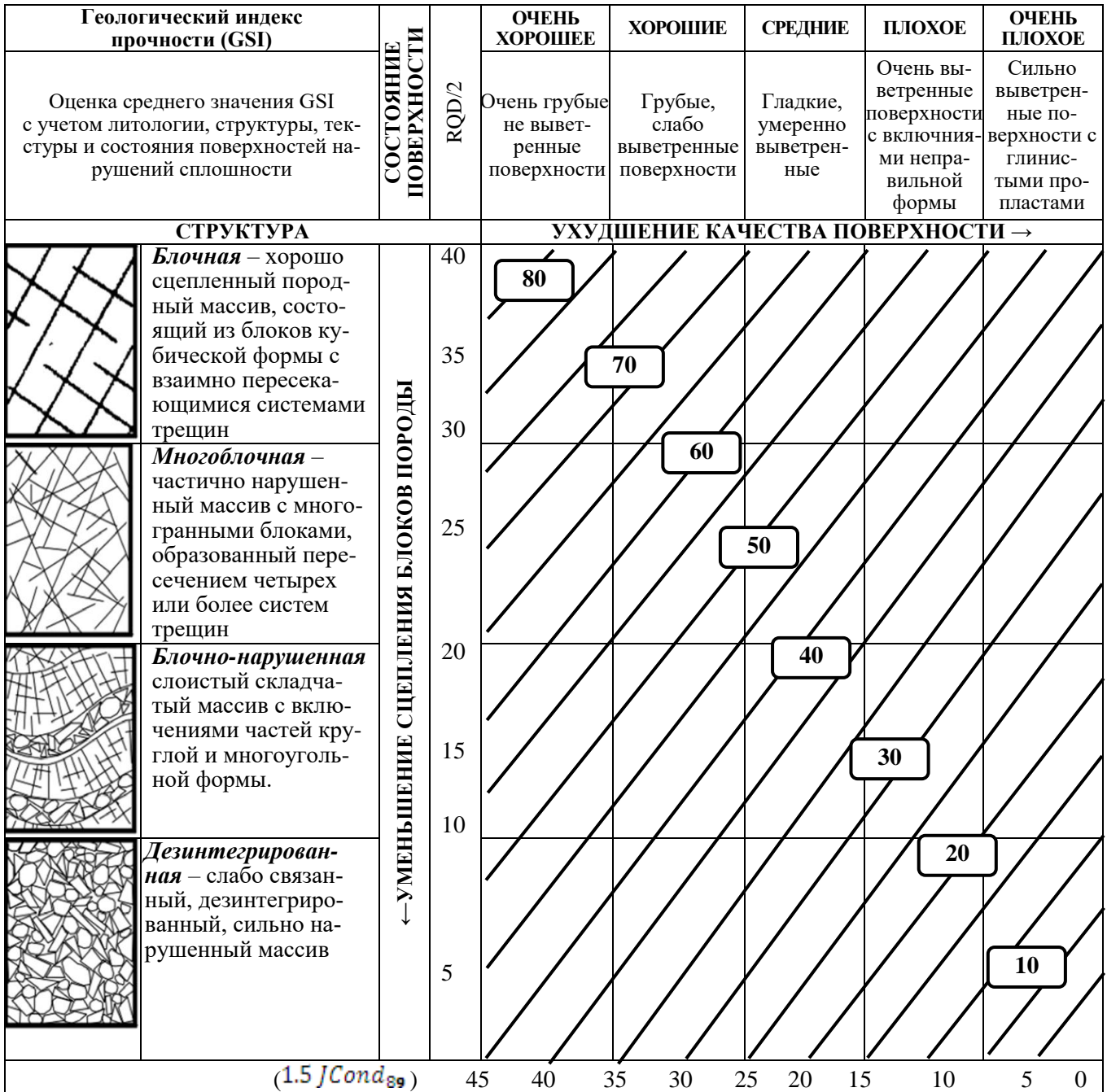


Рисунок 2 – Численное определение индекса GSI

Основная значимость геологического индекса прочности заключается в том, что с его помощью появляется возможность более точного определения параметров обобщенного критерия прочности Хока-Брауна.

$$m = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}, \quad (4)$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}} \quad (5)$$

$$\alpha = 0,5 + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}), \quad (6)$$

где D – фактор нарушенности породного массива, определяемый в зависимости от условий проходки (для подземных выработок) и состояния поверхности пород (для откосов).

Из критериального соотношения (2) подставляя последовательно $\sigma'_3 = 0$ и $\sigma' = 0$ можно получить пределы прочности на одноосное сжатие и растяжение с учетом естественной нарушенности пород:

$$R_{\text{массива}} = \sigma_{ci} S^\alpha, \quad (7)$$

$$R_{\text{массива}} = -\frac{s\sigma_{ci}}{m}, \quad (8)$$

где σ_{ci} – значение предела прочности на сжатие, полученное в лабораторных условиях.

Классификация на основе индекса GSI на сегодняшний день является наиболее используемой международной системой классификации горных пород.

Оценка состояния породного массива вокруг протяженной горной выработки на основе обобщенного критерия Хока–Брауна.

Оценим влияние индекса GSI на результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг протяженной горной выработки. Исследования выполняются методом конечных элементов в упругопластической постановке с использованием обобщенного критерия Хока–Брауна в виде (2). Используется хорошо апробированная при решении задач геомеханики [14] лицензионная программная среда Phase 2, разработанная лабораторией Rocscience (Канада).

Моделируются усредненные (типичные) условия проведения выработок для угольных шахт Западного Донбасса.

В расчетах отношение начального поля напряжений (γH) к пределу прочности вмещающих пород (R_c) варьировалось в интервале 0,5–0,7, исходя из условий перехода пород в неупругое состояние на контуре выработки. При этом для каждого соотношения $\gamma H/R_c$ геологический индекс прочности GSI изменялся от 20 до 80 в соответствии с рис. 2. Анализировались смещения контура незакрепленной горной выработки при различных соотношениях указанных факторов.

Показано, что при всех значениях $\gamma H/R_c$ и величине индекса GSI, большей 70–75, величина смещений контура выработки не превышает 0,05 м. В соответствии с отечественной классификацией такое состояние массива горных пород следует относить к

категории «устойчивое». Аналогично можно провести параллели между другими категориями устойчивости и интервалами изменения геологического индекса прочности.

Обобщение результатов многовариантного моделирования приведено на рис. 3. Горизонтальные линии разграничивают область смещений в соответствии с категориями устойчивости.

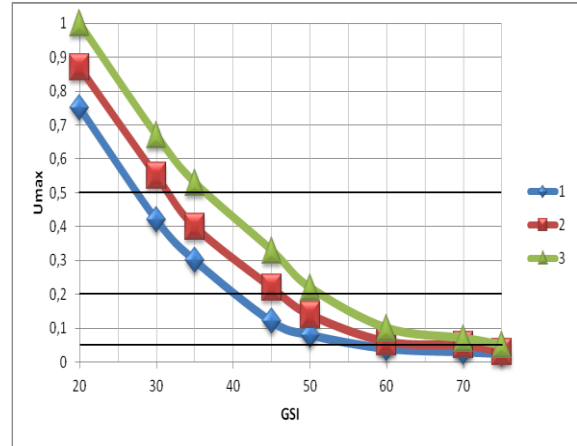


Рисунок 3 – Изменение величины максимальных свободных смещений контура выработки в зависимости от значения GSI при различных значениях отношения начального поля напряжений (γH) к пределу прочности на сжатие вмещающих пород (R_c): линия 1 – $\gamma H/R_c = 0,5$; линия 2 – $\gamma H/R_c = 0,6$; линия 3 – $\gamma H/R_c = 0,7$

Таким образом, устойчивому состоянию пород (категория I) будут соответствовать значения геологического индекса прочности GSI, превышающие 70–75, в зависимости от отношения начального поля напряжений к пределу прочности вмещающих пород на сжатие.

К среднеустойчивому состоянию (категория II) горных пород можно отнести диапазон изменения GSI от 45–50 до 70–75.

Очень неустойчивому состоянию (категория III) соответствует интервал от 30–35 до 45–50.

Значения индекса GSI, меньшие 30, соответствуют сильно неустойчивому состоянию пород (категория IV). Визуализация полученных результатов приведена на рис. 4, а также в табл. 4.

Таблица 4 – Соответствие геологического индекса прочности и классификации пород по устойчивости

Категория устойчивости пород	Оценка состояния устойчивости пород	Осадочные породы. Смещения U , мм	Значение индекса GSI	Описание структуры массива по Хоку
I	Устойчивое	До 50	более 70(75)	хорошо сцепленный породный массив, состоящий из блоков кубической формы с взаимно пересекающимися системами трещин
II	Среднеустойчивое	От 50 до 200	40(45)–70(75)	частично нарушенный массив с многогранными блоками, образованный пересечением 4-х или более систем трещин
III	Очень неустойчивое	От 200 до 500	30(35)–40(45)	слоистый складчатый массив с включениями частей круглой и многоугольной формы.
IV	Сильно неустойчивое	Свыше 500	менее 30(35)	слабо связанный, дезинтегрированный, сильно нарушенный массив

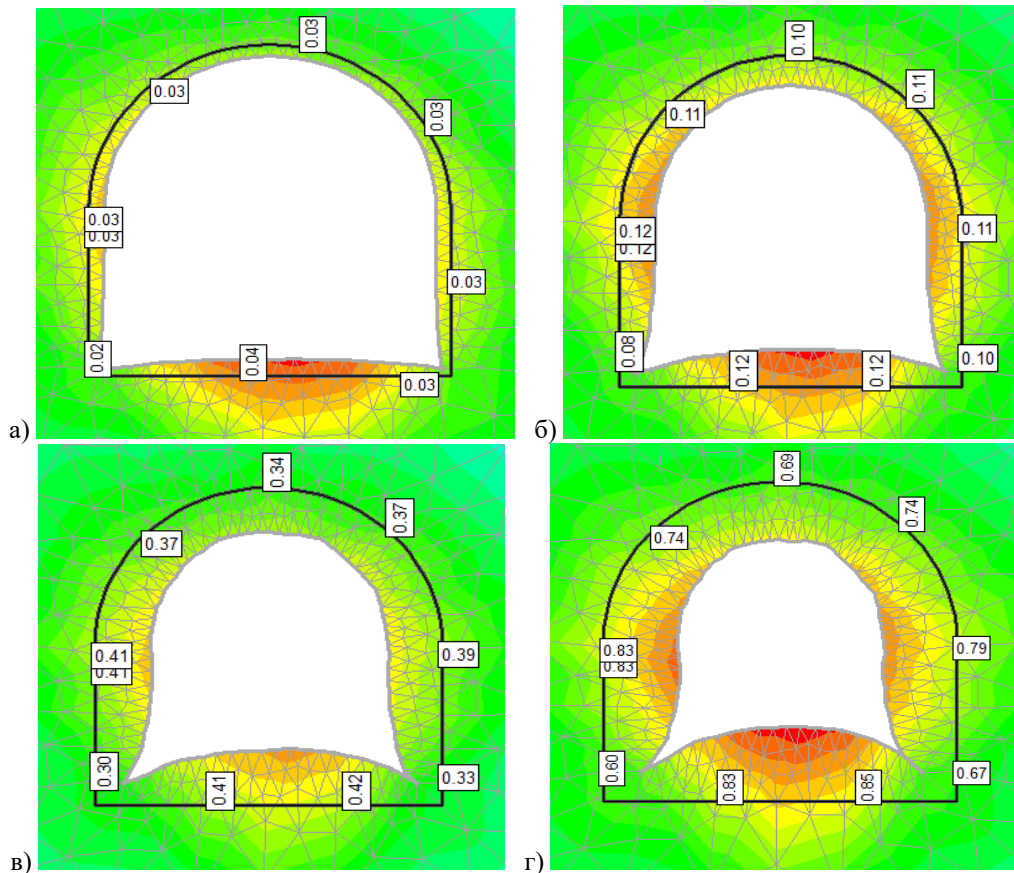


Рисунок 4 – Визуалізація характерних смещень контура виробочки для різних категорій устойчивости горних порід: а) категорія I – «Устойчивое» $U \leq 0,05$ м; $GSI \geq 70-75$; б) категорія II – «Среднеустойчивое» $0,05 \text{ м} \leq U \leq 0,2$ м; $40-45 \leq GSI \leq 70-75$; в) категорія III – «Очень неустойчивое» $0,2 \text{ м} \leq U \leq 0,5$ м; $30-35 \leq GSI \leq 40-45$; г) категорія IV – «Сильно неустойчивое» $U \geq 0,5$ м; $GSI \leq 30-35$

ВЫВОДЫ. Анализ зарубежных и отечественных классификаций горных пород, а также выполненные исследования позволяют адаптировать мировой опыт отнесения пород к той или иной категории устойчивости для выполнения геомеханических расчетов, предшествующих проектированию подземных сооружений. В частности, определение зоны разрушения вокруг выработки и связанной с этой зоной нагрузки на крепь, может быть достоверно выполнено с использованием обобщенного критерия Хока-Брауна. При этом параметры критерия (2) определяются значением геологического индекса прочности, который в результате выполненных обобщений поставлен в соответствие категориям устойчивости, фигурирующим, как правило, в исходной геологической документации.

Алгоритм использования классификации следующий:

- по описанию структуры пород и данным о возможных смещениях определяют категорию устойчивости;
- категории устойчивости ставят в соответствие геологический индекс прочности GSI;
- в соответствии с значением индекса GSI определяют прочностные параметры породного массива R_c и R_t (согласно формулам (7)–(8)), а также параметры критерия Хока-Брауна по формулам (4)–(6).

Критерий прочности (2) может быть использован в

сочетании с аналитическим решением и численным моделированием для определения зон разрушения горных пород и оценки давления на крепь выработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород. – Киев: Новый друк, 2004. – 400 с.
2. Sdvyzhkova O.O., Babets D.V., Smirnov A.V. Support loading of assembly chamber in terms of Western Donbas plough longwall // Scientific bulletin of National Mining University. – 2014. – № 5. – PP. 26–32.
3. Кузьмин К.В., Хайрутдинов М.М., Зенько Д.К. Основы горного дела. – М.: ООО «АртПринт+», 2007. – 472 с.
4. Правила технічної експлуатації вугільних шахт: СОУ 10.1–00185790–002–2005.
5. Bieniawski Z.T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. – New York, Wiley, 1989. – 251 p.
6. Laubscher D.H. (1977), Geomechanics classification of jointed rock masses - mining applications: Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. – 1977. – Vol. 86. – PP. A1–8.
7. Hoek E. and Brown E.T. (1980) Underground Excavations in Rock. – London: Institution of Mining and Metallurgy, 1980. – 527 p.
8. Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden W.F. Support of Underground Excavations in Hard Rock. – Balkema, Rotterdam, 1995. – 215 p.

9. Hoek E. (1994) Strength of rock and rock masses // *ISRM News Journal*. – 1994. – 2 (2). – PP. 4–16.

10. Hoek E., and Marinos P. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses // *Tunnels and Tunneling International*. – 2000. – PP. 45–51.

11. Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y. and Minami M. (2004) Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses using the GSI system // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2004. – Vol. 41. – PP. 3–19.

12. Palmstrom A. RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. – University of Oslo, 1995, Norway.

13. Hoek E., Carter T.G. and Diederichs M.S. Quantification of the geological strength index chart. Proceedings of the 47th US Rock Mechanics // *Geomechanics Symposium*, Jun. 23–26, 2013, San Francisco, CA, USA, PP. 1–8.

14. Сдвижкова Е.А., Кравченко К.В., Мартовицкий А.В. Моделирование геомеханических процессов в угленосном массиве при отходе лавы от монтажной камеры и определение шага посадки основной кровли в условиях ПСП «Шахта Степная» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. – 2012. – Вип. 2/2012 (73). – С. 121–126.

DEVELOPMENT OF ROCK MASS STABILITY CLASSIFICATION DEPENDING ON NATURAL DISTURBANCES

D. Babets

State Higher Educational Institution “National Mining University”

prosp. Karl Marksa, 19, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine. E-mail: dbabets@i.ua

Purpose. Comparing the Ukrainian and world well known classifications of rocks stability and adapting rating stability systems to the geological conditions of Ukrainian coal mines according to domestic rock mass classifications.

Methodology. Different types of rock mass classifications are analyzed and discussed. Advantages of rating systems are clarified to improve the system based on displacement estimation. Numerical simulation is carried out to determine the displacement of opening contour applying a plastic deformation model. The displacements of excavation contour are determined according to the generalized Hoek-Brown strength criterion. Numerical simulation is carried out for different geological conditions by changing geological strength index (GSI) value. **Results.** The influence of the geological strength index on the results of numerical modeling of rock stress-strain state around excavation is estimated. The correspondence between the domestic rock mass stability system and the geological strength index classification is specified. It provides a possibility of designing the mining excavations using a good proven generalized Hoek-Brown strength criterion considering the natural and technogenic disturbance of rocks. **Originality.** For the first time, each class of rock mass stability is matched with variation range of geological strength index. **Practical value.** A technique for application of GSI rating system to excavations design in terms of Ukrainian mines has been created. References 14, tables 4, figures 4.

Key words: rock mass classifications, geological strength index, category of stability, numerical simulation.

REFERENCES

1. Shashenko, O.M., Pustovoytenko, V.P. (2003), *Mehanika gorniyh porod* [Rock mechanics], Novyi Druk, Kyiv, Ukraine.

2. *Stroitelnye normy i pravila SNiP-II-94-80. Polzemnye gornye vyrabotki*, (1982) [Construction norms and regulations. Underground excavations], GosStroy, Moscow, Russia

3. Kuzmin, K., Hayrutdinov, M., Zenko, D. (2007) *Osnovy gornogo dela*, [Fundamentals of Mining], ArtPrint+, Moscow, Russia

4. *Pravila tehnicnoyi ekspluatatsiyi vugilnih shaht* [Rules of technical operation in coal mines]: SOU 10.1-00185790-002-2005, Україною

5. Bieniawski, Z.T. (1989), *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*, Wiley, New York, USA.

6. Laubscher, D.H. (1977), "Geomechanics classification of jointed rock masses – mining applications", *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, vol. 86, pp. A1–8.

7. Hoek, E., Brown, E.T. (1980), *Underground Excavations in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London, Great Britain.

8. Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1995), *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, Balkema, Rotterdam, Netherlands.

9. Hoek, E. (1994), "Strength of rock and rock masses", *ISRM News Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 4–16.

10. Hoek, E., Marinos, P. (2000), "Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses", *Tunnels and Tunneling International*, pp. 45–51.

11. Cai, M., Kaiser, P.K., Uno, H., Tasaka, Y., Minami, M. (2004), "Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses using the GSI system", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 41, pp. 3–19.

12. Palmstrom, A. (1995), *RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes*, University of Oslo, Oslo, Norway.

13. Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S. (2013), "Quantification of the geological strength index chart. Proceedings of the 47th US Rock Mechanics", *Geomechanics Symposium*, Jun. 23–26, San Francisco, CA, USA, pp. 1–8.

14. Sdvizhkova, O., Kravchenko, K., Martovitskiy, A. (2012), "Modeling geomechanical processes in the coal-rock mass under moving longwall away from assembly chamber, and defining a fit step in main roof for conditions of coal-mine "Stepnaya" company DTEK Pavlogradugol", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 2, no. 73, pp. 121–126.

Стаття надійшла 06.04.2016.