

К РАСЧЕТУ РАЗМЕРОВ ОПОРНЫХ ЦЕЛИКОВ ТРЕЩИНОВАТОГО ПОРОДНОГО МАССИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Т. А. Паламарчук, Т. Г. Войтович

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ул. Симферопольская, 2-А, г. Днепропетровск, 490005, Украина.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

Определение несущей способности целиков – одна из основных задач, которую приходится решать при необходимости выбора оптимальных размеров целиков различного назначения. Хотя постановка задачи выглядит довольно простой, до настоящего времени не существует универсального метода расчета. Устойчивость целиков зависит от наличия слабых прослоев пород на контактах целиков с вмещающими породами, так как возникающие вдоль этих прослоев напряжения способствуют нарушению сцепления пород по контакту и более быстрому разрушению целиков. Получена формула для определения прочности пород в массиве горных пород на основании измеренной в лабораторных условиях величины предела прочности пород образца и соотношению модулей упругости в массиве и на образцах, определенных с помощью ультразвуковой аппаратуры. Предложена оценка в первом приближении рекомендуемых размеров целика, как в монолитном, так и трещиноватом массивах с помощью данных о физико-механических свойствах образцов искомым горных пород, полученных в лабораторных условиях и величине нагрузки на крепь.

Ключевые слова: несущая способность целиков, модуль упругости, коэффициент Пуассона, размеры целиков, трещиноватый массив, физико-механические свойства пород.

ДО РОЗРАХУНКУ РОЗМІРІВ ОПОРНИХ ЦІЛИКІВ ТРІЩИНОВАТОГО ПОРОДНОГО МАСИВУ З ВИКОРИСТОВУВАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОФІЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ

Т. А. Паламарчук, Т. Г. Войтович

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

вул. Сімферопольська, 2-А, м. Дніпропетровськ, 490005, Україна.

E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

Визначення несучої здатності ціликів - одна з основних задач, яку доводиться вирішувати при необхідності вибору оптимальних розмірів ціликів різного призначення. Хоча постановка задачі виглядає досить просто, до теперішнього часу не існує універсального методу розрахунку. Стійкість ціликів залежить від наявності слабких прошарків порід на контактах ціликів з вмещаючими породами, так як напруження, що виникають уздовж цих прошарків, сприяють порушенню зчеплення порід по контакту і більш швидкому руйнуванню ціликів. Отримано формулу для визначення міцності порід у ма-

сиві гірських порід на основі вимірювання в лабораторних умовах величини межі міцності породного зразка і співвідношення модулів пружності в масиві і на зразках, визначених за допомогою ультразвукової апаратури. Запропонована оцінка, в першому наближенні, рекомендованих розмірів цілика, як в монолітному, так і тріщинуватому масивах за допомогою даних про фізико-механічні властивості зразків шуканих гірських порід, отриманих у лабораторних умовах і величини навантаження на кріплення.

Ключові слова: несуча здатність ціликів, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, розміри ціликів, тріщинуватий масив, фізико-механічні властивості порід.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Ряд месторождений полезных ископаемых обрабатывается системами, предусматривающими поддержание кровли целиками, способными выдержать горное давление породы, расположенной над выработанным пространством. Со временем сечение этих целиков уменьшается из-за вывала породы со стенок, что может привести к потере их несущей способности, а в худших случаях – к полному разрушению [1–3]. В связи с этим, определение механизма разрушения и расчет оптимальных размеров целиков – важная задача для предотвращения или снижения интенсивности влияния горного давления.

При разработке угольных, рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых возникает необходимость выбора оптимальных размеров целиков различного назначения. Одна из основных задач, которую при этом приходится решать – определение несущей способности целиков. Как правило, эта задача решается на основе данных о физико-механических свойствах пород, получаемых путем испытаний небольших образцов пород в лабораторных условиях методами строительной механики. Такой способ определения свойств горных пород обладает рядом известных недостатков, вытекающих из следующего:

- а) неполная представительность образцов по сравнению со свойствами массива горных пород;
- б) вероятность отбора проб из более крепких разновидностей и слоев пород;
- в) невозможность отбора, длительного хранения и испытания образцов из слабых пород;
- г) изменение свойств пород в образце за отрезок времени от извлечения его до испытания и др. [4]

Определение размеров прочных опорных (камерных) целиков, обеспечивающих устойчивость горных выработок, является одной из сложных задач расчета подземных конструкций, хотя постановка задачи выглядит довольно простой. Однако из-за множества факторов, влияющих на величину размеров опорного целика, до настоящего времени не существует универсального и простого метода расчета.

Целью работы является разработка расчетных зависимостей, позволяющих оценивать размеры опорных целиков трещиноватого породного массива с использованием результатов геофизического контроля.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Практика горных работ показывает, что опорный целик в действительности состоит как бы из двух частей: разрушенной части, потерявшей несущую способность, и монолитной, несущей основную нагрузку. Величина разрушенной части целика обусловлена физико-механическими свойствами пород и технологией ведения взрывных работ в окрестности опорных целиков, которые оказываются в различных положениях по отношению к фронту взрывных волн. В зависимости от этого глубина разрушенности целика по горизонтальному сечению может меняться, т.е. разрушенная часть целика по горизонтальному сечению представляет собой некоторую оболочку с переменной толщиной. Она, по-видимому, не поддается строгому теоретическому расчету и следует определять усредненное значение ее геофизическими измерениями в натурных условиях [5].

Известно, что главное влияние на прочность и скорость распространения продольной волны оказывает дефектность строения горной породы и что основное различие между прочностными свойствами образца и массива состоит в наличии макродефектов. В работе [5] предложена формула и методика для определения прочности пород в массиве. Выражение для предела прочности на сжатие имеет следующий вид

$$R_m = R_o \left(\frac{V_l^m}{V_l^o} \right) f(\rho, \mu), \quad (1)$$

где R_m, R_o – прочности породы в массиве и образце; V_l^m, V_l^o – скорости продольных волн в массиве и образце;

$$f(\rho, \mu) = \frac{\rho(1+\mu)(1-2\mu)(1-\mu_0)}{\rho_0(1-\mu)(1+\mu_0)(1-2\mu_0)} = \frac{E^m}{E^o} \cdot \frac{V_l^o}{V_l^m}, \quad (2)$$

где ρ_0, μ_0 – плотность и коэффициент Пуассона образца; ρ, μ – то же, массива; E^m, E^o – динамические модули упругости пород в массиве и образце.

Учитывая полученную зависимость (2), уравнение (1) для определения прочности горных пород в массиве переписывается следующим образом:

$$R_m = R_o \frac{E^m}{E^o}. \quad (3)$$

Определение значений R_o и E^o в лабораторных условиях не представляет труда и для образца горной породы они являются стабильными при соблюдении принципа выбора образца. А модуль упругости E^m в массиве определяется с помощью шахтной ультразвуковой аппаратуры.

Ранее были опубликованы результаты исследований на моделях из эквивалентных материалов, проведенных ВНИМИ в целях определения прочности целиков, сложенных слоями пород различной крепости [6]. На основе обработки данных этих исследований для расчета целиков, содержащих слабые пачки пород, предложена эмпирическая формула [7]

$$R = \frac{R_{кр}}{1 + \left(\frac{R_{кр}}{R_{сл}} - 1 \right) \frac{h_{сл}}{h}}, \quad (4)$$

$$R = \frac{R_o E^m / E^o}{1 + \left(\frac{R_o E^m}{R_{сл} E^o} - 1 \right) \frac{h_{сл}}{h}}.$$

где R – кубиковая прочность неоднородного целика; $R_{кр}$ – прочность более крепких пачек слагающих целик пород; $R_{сл}$ – прочность слабой породной пачки; $h_{сл}$ – мощность слабой породной пачки; h – общая высота целика.

$R_{кр}$ определяется по формуле (3).

В работе [5] приведена формула для определения размера монолитной части опорного целика, обеспечивающего устойчивость горных выработок, в которой используются упругие свойства горных пород в массиве:

$$l_m = 1,64h \sqrt{\frac{P(1+\mu)}{E_{ст}}}, \quad (5)$$

где h – высота опорного целика; $E_{ст}$ – статический модуль упругости материала целика; P – величина нагрузки, которую в первом приближении можно принять равной ρgHS (ρ – плотность вышележащих пород, g – ускорение свободного падения, H – глубина заложения выработки, S – площадь, приходящаяся на один целик)

$$l_m = 2,08h \sqrt{\frac{P(1+\mu)}{E^м}}. \quad (6)$$

По данным многих исследований, динамический модуль упругости горных пород отличается от статического и превышает его в 1,1–1,6 раза. Тогда формулу (6) можно переписать в виде

По полученной формуле, зная величину нагрузки на целик и динамические параметры упругости пород, можно, в первом приближении, оценить рекомендуемые размеры целиков, обеспечивающие устойчивость выработки.

Для описания трещиноватого массива, обладающего свойствами квазиизотропной среды, К.В. Руппенейт предложил применять эффективный модуль деформации. В том случае, когда массив разделяется системами трещин (более четырех), эффективный модуль упругости определяется по формуле

$$E_3 = \frac{E_n}{\left(1 + \frac{5N\eta}{8}\right)},$$

где E_n – модуль упругости в ненарушенном массиве;
 N – число систем трещин;

$$\eta = \frac{\delta}{\beta} a; \quad (8)$$

δ – раскрытие трещин; a – средний размер элементарного структурного блока; β – относительная площадь скальных контактов,

В случае объемного деформирования трещиноватого массива Ч. Джегер рекомендует следующие формулы для определения эффективных модуля E_3 и коэффициента Пуассона μ_3 :

$$E_3 = \frac{E_n \mu_n (\sigma_1 + \sigma_3)}{\sigma_3}, \quad (9)$$

$$\mu_3 = \frac{\mu_n (\sigma_1 + \sigma_3)}{\sigma_3}, \quad (10)$$

где μ_n – коэффициент Пуассона в ненарушенном массиве;
 σ_1, σ_3 – главные нормальные напряжения.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что массивные целики будут обладать повышенной жесткостью, если они не пересекаются сквозными трещинами или прослоями пород и работают в условиях объемного напряженного состояния.

Устойчивость любых целиков во многом зависит от наличия слабых прослоев пород на контактах целиков с вмещающими породами, так как возникающие вдоль этих прослоев напряжения способствуют нарушению сцепления пород по контакту и более быстрому разрушению целиков. Особенно это характерно для случаев разработки наклонных залежей камерно-столбовыми системами.[8]

Подставляя эффективные модули упругости и коэффициенты Пуассона (8)–(10) в (7) получим два выражения для определения рекомендуемых размеров целиков в трещиноватом массиве

$$l_m = 2,08h \sqrt{\frac{\rho g H S (\sigma_3 + \mu_n (\sigma_1 + \sigma_3)) (8 + 5Nn)}{2\sigma_3 E_n}}, \quad (11)$$

$$l_m = 2,08h \sqrt{\frac{\rho g H S (\sigma_3 + \mu_n (\sigma_1 + \sigma_3))}{E_n (\sigma_1 + \sigma_3)}}, \quad (12)$$

ВЫВОДЫ. Для монолитного и трещиноватого массивов в первом приближении предложены формулы, позволяющие оценить рекомендуемые размеры целиков, обеспечивающие устойчивость горных выработок по величинам динамических модулей упругости, коэффициента Пуассона и нагрузки, действующей на целик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стаматиу М. Расчет целиков на соляных рудниках. – М.: Госгортехиздат, 1963. – С. 236.
2. К оценке устойчивости междукammerных целиков / А.А. Барях, А.С. Гегин // ФТПРПИ. – Новосибирск, 1997. – № 1. – С. 30–38.
3. О модели деформирования целиков с учетом эффектов аккумуляции энергии и разупрочнения материала / С.В. Лавриков, А.Ф. Ревуженко // ФТПРПИ. – Новосибирск, 1994. – № 6. – С. 15–22.
4. Бублик Ф.П. Результаты исследований несущей способности целиков // Труды ВНИМИ. – Ленинград, 1970. – Сб. 76. – С. 138–157.
5. Байконуров О.А. Методы контроля физико-механических параметров подземной разработки руд. – Алма-Ата: Наука, 1979. – 298 с.
6. Прочность неоднородных междукammerных целиков / Г.Н. Кузнецов, Ф.П. Бублик, С.Т. Кузнецов // Труды ВНИМИ. – Ленинград, 1962. – Сб. 45. – С. 35–38.
7. Бублик Ф.П. К расчету прочности неоднородных целиков // Труды ВНИМИ. – Ленинград, 1968. – Сб. 64. – С. 24–25.
8. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке месторождений / Н.З. Галаев: учебник для вузов. – М.: Недра, 1990. – 176 с.

**CALCULATION OF SOLID BASE SIZES FRACTURED ROCK MASSIF
WITH USING OF GEOPHYSICAL MONITORING RESULTS**

T. Palamarchuk, T. Voytovich

M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU)

vul. Simferopolskaya, 2-A, Dnepropetrovsk, 490005, Ukraine.

E-mail:office.igtm@nas.gov.ua

Determination of the bearing ability of the pillars - one of the major problems, that must be decided, if necessary to choose optimal size of the pillars for different purpose. Although the statement of the problem seems pretty simple, so far there is no universal method of calculation. Stability of the pillars depends entirely on the presence of weak layers of rocks on the whole contact with the host rocks, as encountered along these layers contribute to stress debonding rocks along the contact and more rapid destruction of the pillars. The formula for determining the strength of the rocks in the rock massif base of laboratory measurement in first approximation of rocks strength limit in the sample and the ratio of the elastic moduli in the and samples defined using ultrasound equipment. The recommended sizes of the pillar, as in a monolithic massif cmof cracked massifs and it is possible, using data on the physical and mechanical properties of estimate of rocks samples, obtained in laboratory conditions, and value of load on support.

Key words. The bearing capacity of the pillars, the elastic modulus, Poisson's ratio, the size of pillars, fractured massif physical and mechanical properties of the samples.

REFERENCES

1. The calculation of the pillars in the salt mines / Stamatiou M. - M.: Gosgortekhnizdat, 1963. – 236 p. [in Russian]
2. Baryakh A. A., Heghin A. S., Estimating of the pillars interchamber stability // *FTPRPI*. – 1997. – № 1. - PP. 30-38. [in Russian]
3. Lavrikov S. V., Revuzhenko A. F., About models of pillars deformation, with allowance effects of energy accumulation and softening materials // *FTPRPI*. – 1994. - № 6. - PP. 15-22. [in Russian]
4. Bagel F. P., The research results of pillars bearing capacity // *Proceedings VNIMI*. - 1970. - № 76. - PP. 138-157. [in Russian]
5. Control methods of physico-mechanical parameters of underground ore mining / Baikonurov O. A. - Nauka, 1979. – 298 p. [in Russian]
6. Kuznetsov G. N., Bagel F. P., Kuznetsov S. T., The durability inhomogeneous interchamber pillars // *Proceedings VNIMI*. – 1962. - № 45. - PP. 35-38. [in Russian]
7. Bagel F. P., To the calculation of the heterogeneous pillars strength // *Proceedings VNIMI*. – 1968. - № 64. - PP. 24-25. [in Russian]
8. Controlling of the rock massif state at underground mining / Galaev N. Z. - Textbook for universities. - Nedra, 1990. – 176 p. [in Russian]

Стаття надійшла 26.05.2014.

УДК 622.831

**УПРАВЛЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
В ОКРЕСТНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК
С ПОМОЩЬЮ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ**

А. О. Логунова

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49000, Украина.

E-mail: lajana@inbox.ru

Рассмотрено моделирование геомеханической системы «выработка–массив» для условий поддержания нижнего сопряжения 18-й северной лавы пл. l_1 . ОП «Шахта 1/3 «Новгородовская» ГП «Селидовуголь» постадийным методом. Выполнено численное моделирование с целью установления влияния различных вариантов установки анкеров на НДС геомеханической системы «крепь–выработка–массив». Определен коэффициент влияния забоя, обоснованы параметры анкерных систем, рациональные в конкретных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: численное моделирование, анкерная система, пучение, устойчивость выработки, геомеханические процессы.