

УДК 622.831.3.02

ОЦЕНКА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД**А. Н. Шашенко, Е. А. Сдвижкова, А. С. Ковров**

ГБУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: shashenkoa@nmu.org.ua, sdvyzhkova_e@nmu.org.ua, kovrov@rambler.ru

Точность решения задач геомеханики зависит от того, насколько правильно заданы механические свойства горных пород, вмещающих комплекс подземных выработок. Изначально совокупность физических характеристик определяется, как правило, в лабораторных условиях. Их автоматическое использование применительно к неоднородному породному массиву, содержащему системы ослабляющих дефектов, невозможно. Корректная замена свойств небольших по размерам лабораторных образцов на свойства породного массива, имеющего сравнительно большие геометрические параметры, получило название масштабного эффекта. Изложена эволюция представлений, на основе которых решается проблема учета размеров изучаемых объектов. Рассмотрены детерминированные и вероятностно-статистические модели, позволяющие учесть различие свойств породного массива и лабораторных образцов горных пород на микро- и макроуровне.

Ключевые слова: масштабный эффект, горные породы, неоднородность, ослабляющие дефекты, детерминированные и стохастические модели, законы распределения, системы трещин.

ОЦІНКА МАСШТАБНОГО ЕФЕКТУ У МАСИВІ ГІРСЬКИХ ПОРІД**О. М. Шашенко, О. О. Сдвижкова, О. С. Ковров**

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: shashenkoa@nmu.org.ua, sdvyzhkova_e@nmu.org.ua, kovrov@rambler.ru

Точність розв'язання задач геомеханіки залежить від того, наскільки правильно задані механічні властивості гірських порід, що вміщують комплекс підземних виробок. Первісно сукупність фізичних характеристик визначається, як правило, у лабораторних умовах. Їх автоматичне використання стосовно неоднорідного породного масиву, що містить системи послаблюючих дефектів, неможливе. Коректна заміна властивостей невеликих за розмірами лабораторних зразків на властивості породного масиву, що має порівняно більші геометричні параметри, одержало назву масштабного ефекту. Викладена еволюція уявлень, на основі яких вирішується проблема врахування розмірів досліджуваних об'єктів. Розглянуто детерміновані й імовірно-статистичні моделі, що дозволяють урахувати розходження властивостей породного масиву й лабораторних зразків гірських порід на мікро- та макrorівні.

Ключові слова: масштабний ефект, гірські породи, неоднорідність, послаблюючі дефекти, детерміновані й стохастичні моделі, закони розподілу, системи тріщин.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. При решении задач геомеханики, таких как исследование устойчивости открытых и подземных выработок и расчетах крепи, первостепенное значение имеют оценки предельного состояния породного массива, которые зависят от основного показателя – прочности горных пород на одноосное сжатие. Испытания образцов пород проводятся в соответствии с существующим стандартом [1]. Переход от результатов таких испытаний к прочности пород массива является сложной задачей, поскольку образцы горных пород имеют ограниченные размеры и не воспроизводят всей сложности структурного строения и тектонической нарушенности больших массивов. Эта задача связана с масштабным эффектом и является предметом глубоких исследований в механике деформируемого твердого тела.

Цель работы – анализ состояния вопроса в области изучения масштабного эффекта в горных породах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Закон подобия деформирования твердых тел впервые был установлен Кирпичевым В.П. в 1874 г. на основе теоретических исследований закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния при нагружении геометрически подобных объектов. Подобным называют такое деформирование, при котором отношением линейных деформаций геометрически подобных тел равно отношению

их линейных размеров. Из закона подобия следует, что отношение необходимых усилий для создания таких деформаций должно равняться квадрату линейных соотношений.

Учение Кирпичева В.П. о пропорциональности механических изменений в геометрически подобных телах было развито впоследствии в работах Барба и Фр. Кика. Примерно в это же время Баушингер И., анализируя результаты испытаний на прочность образцов песчаника, самостоятельно приходит к выводу, что «геометрически подобные тела из одинакового материала в одинаковых условиях при одинаковых напряжениях имеют одинаковое временное сопротивление».

Установление закона подобия деформирования при нагружении геометрически подобных твердых тел имело большое значение при выполнении практических расчетов на прочность элементов сложных конструкций, позволяя использовать удельные характеристики материала, такие, например, как предел прочности на одноосное сжатие, растяжение, сдвиг и т.п.

Давиденковым Н.Н. было выполнено подробное исследование условий, при которых должен выполняться закон Кирпичева В.П.

Непрерывным условием, которое должно обеспечивать подобное деформирование, является иде-

альная однородность и изотропность материала сравниваемых геометрически подобных тел. Реальные же материалы и среды, с которыми сталкивается человек в своей деятельности, чаще всего обладают определенной неоднородностью внутреннего строения (структуры). В связи с этим и некоторыми другими причинами практический опыт получения удельных характеристик различных материалов на геометрически подобные образцы показал, что наряду с фактами, подтверждающими закон подобия, имеет место и существенное отклонение от него. Особенно велико оно при испытаниях горных пород, обладающих значительной неоднородностью структуры. Поскольку это отклонение является следствием геометрических размеров деформируемых твердых тел, то причины, его вызывающие, называют масштабным фактором, а само явление – давно известным масштабным эффектом.

Еще в 1907 г. Дэниэлс и Мур показали, что с увеличением линейных размеров образцов антрацита прочность их существенно снижается. Первой аналитической работой, объясняющей масштабный эффект, имевший место в опытах со стеклом, была работа Гриффитса А., появившаяся в 1921 г. Позднее, в 1933 г., Александров А.П. и Журков С.Н., экспериментируя подобно Гриффитсу А., также со стеклянными нитями, наиболее полно исследовали зависимость их удельной прочности от диаметра. Было показано, что с увеличением диаметра средняя прочность нитей уменьшается с одновременным уменьшением разброса данных.

Работами Иоффе А.Ф. и его учеников была установлена интересная и важная особенность: масштабный эффект существенно проявляется при деформировании материалов, склонных к хрупкому разрушению, и значительно менее выражен при испытаниях материалов, разрушающихся вязко.

Обширные исследования проявлений масштабного эффекта применительно к металлам были выполнены Чечулиным В.В., а применительно к углям – Чирковым С.Е. В последней работе отмечается, что все исследователи масштабного эффекта в углях приходят к единому выводу: увеличение размеров испытываемых образцов приводит к существенному снижению их прочности.

Результаты же испытаний горных пород и некоторых иных материалов, выполненных, различными авторами на геометрически подобных образцах, неоднозначны. По итогам их можно разделить на четыре группы:

1. С увеличением размеров образцов относительная их прочность падает.
2. С увеличением размеров образцов относительная их прочность растет.
3. С увеличением размеров образцов до определенного предела их относительная прочность растет, а затем асимптотически падает до некоторой постоянной величины.
4. С изменением размеров образцов их прочность остается постоянной.

Результаты второй группы опытов были получены при испытаниях образцов каменной соли, обладающей существенной вязкостью. Они требуют,

видимо особого анализа и трактовки. Испытания других литологических разностей не показали однозначного увеличения относительной прочности с увеличением размеров образцов. Результаты опытов, отнесенные к четвертой группе, немногочисленны и резко отличаются от большинства известных аналогичных исследований. Трудно назвать их достаточно объективными.

Анализируя результаты своих опытов, известных в литературе, Койфман М.И. в 1959 г. предложил различать масштабные эффекты первого и второго рода. Масштабный эффект первого рода, или объемный, связан со структурной неоднородностью испытываемого материала, наличием случайно распределенных по объему дефектов. Масштабный эффект второго рода, или поверхностный, связан с качеством обработки поверхности испытываемых образцов и степенью разрушения (деструкции) приповерхностного слоя. Масштабный эффект первого рода Койфман М.И. назвал главным. Поверхностный масштабный эффект существенно сказывается при испытаниях образцов малых размеров. В зависимости от характера поверхностных дефектов он может в одних случаях усилить главный масштабный эффект, а в других – уменьшить. При переходе же от образца к массиву основным является главный масштабный эффект.

Интересная классификация проявлений масштабного эффекта предложена Рацем М.В. В горных породах выделяются неоднородности четырех порядков в зависимости от размеров исследуемой области (от 10^{-6} до 10^6 см). Масштабный эффект проявляется в том, что все моменты вероятностного распределения конкретного признака изменяются с изменением размеров области воздействия. В соответствии с этим выделяются масштабные эффекты I, II и III рода, которые характеризуются, соответственно, распределениям Вейбулла, логарифмически нормальным и нормальным. Масштабный эффект I рода соответствует тому, который имеет место при испытаниях породных образцов разных размеров. Одна из первых гипотез, объясняющих природу масштабного эффекта, принадлежит Александрову А.П. и Журкову С.Н. Реальные твердые тела всегда содержат внутренние дефекты в виде вакансий, дислокаций, трещин, включений микрообъемов разной прочности, распределенных по объему случайным образом. Чем больше объем тела, тем больше в нем дефектов и тем ниже его прочность. Особенно отчетливо статистическая природа прочности твердых тел отражена в работах В. Вейбулла. Гипотезы, объясняющие масштабный эффект с позиций наиболее слабого звена, получили названий статистических.

Имеются и иные объяснения природы масштабного эффекта. Так, например, А. Уэлс и Давиденков Н.Н. высказали предположение, что причина снижения прочности крупных образцов заключается в том, что система «испытательная машина–образец» накапливает больше упругой энергии, чем при разрушении образцов малого размера. Одинг И.А. объяснил

масштабный эффект неодинаковой технологией изготовления образцов разного размера.

В.В. Лавров, выполняя опыты со льдом, пришел к выводу, что причина снижения прочности крупных образцов кроется в наличии микротрещин, которых всегда больше в большем объеме.

Матвеев Б.В. связал масштабный эффект со структурой и видом напряженного состояния деформированного твердого тела. Им рассмотрен ряд статистических задач, в которых функция вероятности разрушения структурных элементов принимается по В. Вейбуллу. Сам процесс разрушения зависит от вида напряженного состояния и от склонности материала к хрупкому или вязкому разрушению. Рассматривая часто встречающийся в геомеханике случай объемного сжатия хрупкого тела, Матвеев Б.В. существенно опирается на работу Седракияна Л.Г. Конечные формулы подтверждают выявленную экспериментально тенденцию снижения прочности при испытаниях крупных образцов.

Более общие аналитические работы, направленные на оценку масштабного эффекта в твердых телах со статистической точки зрения, были выполнены Волковым С.Д. и Болотиним В.В. В них отмечается, что масштабный эффект имеет место во всех материалах при любых напряженных состояниях, но особенно ярко он выражен для хрупких материалов, находящихся в условиях объемного сжатия.

Черепанов Г.П., исходя из анализа размерностей, показал, что наличие в неоднородном хрупком материале с гипотетически дефектами поверхностной энергии разрушения приводит к зависимости прочности от размера структурного элемента как на квантовомеханическом, так и на макроуровне. Зависимость эта однозначна: увеличение объема испытываемого материала ведет к снижению его относительной прочности.

Полипов А.Н. также, используя тот же энергетический подход, объясняет масштабный эффект тем, что упругая энергия, накапливаемая в теле, пропорциональна объему, а разрушение материала происходит по некоторой поверхности и работа разрушения пропорциональна площади сечения. Это неизбежно приводит к зависимости относительной прочности от абсолютных: размеров тела. Поскольку волны напряжений и деформаций, а, следовательно, и энергия не могут распространяться в материале со скоростью, большей скорости упругих волн, то при некоторой критической длине образца должна исчезнуть зависимость прочности от размеров тела.

Подводя итоги исследованиям, посвященным объяснению природы масштабного эффекта, можно отметить следующее:

– теоретические и лабораторные исследования в подавляющем своем большинстве показывают, что с увеличением объема прочность твердых тел падает;

– масштабный эффект существенно зависит от структуры материала и вида напряженного состояния.

Горные породы в окрестности подземных выработок находятся в состоянии неравнокомпонентного всестороннего сжатия. Их разрушение в этих условиях протекает, как правило, хрупко, за исключением литологических разностей, содержащих большое

количество увлажненных глинистых частиц. Кроме того, массив в зависимости от генезиса имеет определенную текстуру, разбит системами случайно ориентированных трещин соответствующей степени раскрытия, разные участки его имеют различную степень обводненности и т.д. Эти обстоятельства приводят к тому, что прочностные характеристики горных пород в образце и массиве имеют существенное отличие. Это отличие в геомеханике оценивается коэффициентом структурного ослабления – k_c , численно равного отношению значения удельной прочностной характеристики в массиве к ее значению, полученному при испытании образцов стандартных линейных размеров. Поскольку с этой характеристикой связан уровень предельных: напряжений и параметры упругопластического состояния породного массива вокруг выработок, то установление объективного значения коэффициента структурного ослабления представляет собой важную и сложную задачу, связанную с рациональным, проектированием подземных сооружений.

В зависимости от применяемых методов исследования, направленные на установление объективного значения k_c , проводятся в нескольких направлениях.

Прежде всего, следует отметить фундаментальные аналитические работы Александра А.П. и Журкова С.Н., Вейбулла В., Седракияна Л.Г., Волкова С.Д., Канторовой Т.А. и Френкеля И.И., Болотина В.В. [31] и некоторых других авторов, основанные на статистическом объяснении природы прочности твердых тел. Конечные формулы, отличаясь степенью сложности, отражают качественную картину снижения прочности образцов большего размера. Количественная же оценка степени снижения прочности затруднительна ввиду отличия исходных физических моделей от реальных массивов горных пород.

Большое число исследований основано на методах статистического анализа результатов испытаний горных пород, отобранных при проходке горных выработок, а также их физических моделей, создаваемых в лабораториях. В этом направлении выполнены работы М.М. Протодеяконова, М.И. Койфмана и С.Б. Чиркова, М.В. Раца, Г.П. Фисенко, Д.Н. Кима, Г.Т. Рубца, Ю.И. Мартынова, В.Т. Глушко. Учет ослабляющего действия дефектов производится в этом случае путем введения поправочных коэффициентов, выбор которых затруднителен.

Работы В.В. Ржевского и Г.Н. Новика, Л.В. Шаумян, С.В. Ветрова направлены на установление корреляционной связи между прочностью породы в образце и массиве и скоростью распространения упругих волн. Это направление весьма перспективно, поскольку оно позволяет учесть всю природную неоднородность массива. Исследованиями могут быть охвачены блоки очень больших размеров в десятки, сотни метров. Отсутствие серьезных аналитических описаний поведения упругой волны в сильно неоднородном теле, связанное с математической сложностью описания этого процесса, пока сдерживает широкое использование корреляционно-го метода.

Целый ряд работ по оценке прочностных свойств

породного массива основан на непосредственных испытаниях крупных блоков в местах их естественного залегания. Этот наиболее простой с точки зрения методологии подход сопряжен со сложностью и трудоемкостью выполнения экспериментальных работ и отсутствием серийно выпускаемого оборудования для оконтуривания блоков и их нагружения. Результаты же, получаемые при его осуществлении, наиболее близки к конкретным горно-геологическим условиям.

Существует также сравнительно небольшое количество исследований, в которых коэффициент структурного ослабления определяется путем анализа процесса разрушения массива при достаточно точно известных обстоятельствах. Этот метод получил название метода обратных расчетов. Коэффициент структурного ослабления в данном случае требует осторожной оценки, поскольку метод учитывает не только неучтенные в исходной модели структурные особенности среды, но неизбежно отражает и все логические несовершенства модели, особенно в части функциональной зависимости между входящими в конечную формулу параметрами. К этому направлению относятся работы А.В. Кондратова и А.А. Баряха [2], Г.П. Фисенко [3], Г.Т. Нестеренко и др. [4].

На этапе проектирования горных предприятий и их структурных элементов (выработок) весьма полезными могут быть эмпирические формулы, например [5], связывающие прочность образца с прочностью пород в массиве. Достаточно полный обзор работ этого направления выполнен в [6]. Учет геологического строения массива в этом случае производится путем введения целого ряда коэффициентов, имеющих существенный разброс. Последнее обстоятельство приводит к тому, что, варьируя значения коэффициентов, можно получить значение искомой величины, изменяющейся в широких пределах. В работе [7] приводятся значения коэффициентов структурного ослабления, полученные по данным ВНИМИ на основе анализа результатов натуральных наблюдений, испытаний и обратных расчетов.

Для углевмещающих пород по оценкам большинства авторов [8–11] и др. величина коэффициента структурного ослабления составляет 0,2–0,6.

Интересно отметить, что оценивая прочность стержневой системы со случайно распределенной прочностью отдельных элементов, Б.В. Матвеев получил для случая объемного сжатия значение коэффициента структурного ослабления равное 0,369–0,428.

В США и ряде других стран широко применяется классификация горных пород по показателю качества породы RQD (Rock Quality Designation), который определяется как произведение величины выхода керна, выраженного в процентах (Z), на отношение суммарной длины ненарушенных кусков керна, каждый из которых имеет длину не менее 10 см ($\sum l_i$), по всей длине исследуемого интервала (L), т.е. $RQD = Z(\sum l_i / L)$.

Если, например, из исследуемой скважины с интервалом 9 м извлечен керн общей длиной 8 м, а суммарная длина ненарушенных кусков керна (каж-

дый длиной 10 см и более) составляет 7 м, то $RQD = 78 \%$. На основе показателя качества RQD составлены графики, таблицы, определяющие характер условий проведения выработок, тип и стоимость крепления [11].

В отличие от показателя RQD методы Дира и Хансаги [12, 13], незначительно отличаясь друг от друга, позволяют определять коэффициент структурного ослабления, учитывая при этом число образцов, диаметр и длину керна. Заметим, что и метод RQD, и метод Хансаги и Дира не имеют под собой никакого аналитического обоснования. По сути дела это способ получения некоторой величины меньше единицы, которая годится только для качественной классификации горных пород по степени их нарушенности.

В последние годы большой объем исследований, связанных с учетом масштабного эффекта при решении задач геомеханики и геотехники, был выполнен в работах А.Н. Шашенко и Е.А. Сдвижковой [14–20]. В их основе лежит вероятностно-статистическая модель структурно неоднородного породного массива. Учтена неоднородность на микроуровне (генезис) и на макроуровне (системы трещин, их пространственная ориентация). Исследованы вероятностные модели с нормальным, усеченным нормальным, логнормальным законами распределения ослабляющих факторов, распределением Вейбулла и некоторыми другими.

Так, применительно к гипотезе о нормальном распределении дефектов, например трещин, в массиве горных пород средняя прочность его элементов R определяется выражением

$$(R) = R \left[1 - \int_0^R P(R) dR \right], \quad (1)$$

где $P(R)$ – плотность распределения прочности элементов.

Поскольку значение прочности элементов R не могут принимать отрицательные значения, то в качестве функции распределения может быть принято выражение:

$$erft = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{R-m}{\sqrt{2}\sigma}} \exp(-t^2) dt, \quad (2)$$

где σ – стандарт отклонения, m – математическое ожидание прочности структурных элементов; t – параметр, определяемый выражением

$$t = \frac{R - m}{\sqrt{2}\sigma}. \quad (3)$$

Продифференцируем выражение (1) с учетом (2) по t и приравняем его нулю.

В итоге получаем уравнение:

$$\sqrt{2\pi} (1 - erft^*) - \left(\sqrt{2t^*} + \frac{1}{\eta} \right) \exp(-t^*) = 0, \quad (4)$$

где t^* – решение уравнения (2), η – коэффициент вариации прочности породного массива, равный σ/m .

Решая уравнение (4) методом приближений, получим:

$$t^* = -0,5\sqrt{\eta} \exp(-0,25\eta). \quad (5)$$

При $t = t^*$, заменим в выражении (3) R на R_m и получаем следующее выражение:

$$t^* = \frac{R_m - m}{\sqrt{2\sigma}}. \quad (6)$$

Приравняем выражения (5) и (6), после чего определим среднюю прочность неоднородного массива горных пород:

$$R_m = [1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta)] m^* = 0, \quad (7)$$

откуда коэффициент структурного ослабления будет равен:

$$k_c = \frac{R_m}{m} = 1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta). \quad (8)$$

В работе [21] показано, что вариации породного массива, ослабленного системой трещин со средним расстоянием между ними l_t могут быть определены по формуле:

$$\eta = \sqrt{\frac{l_t + l_0}{l_t} (\eta_0^2 + 1)} - 1. \quad (9)$$

Здесь l_t – среднее расстояние между трещинами; l_0 – наибольший размер стандартного породного образца; η_0 – коэффициент вариации результатов испытаний породных образцов.

Для идеально однородной среды $n = 0$ и $k = 1$. По мере увеличения неоднородности величина k_c стремится к значению 0,4.

Результаты вычислений по формуле (9) близко совпадают с данными СНИП П-904-80, полученными экспериментальным путем, с той существенной разницей, что аналитические расчеты позволяют для конкретных условий получить единственное значение искомой величины (табл. 1).

Таблица 1 – Значения коэффициента структурного ослабления k_c

Среднее расстояние между поверхностями ослабления пород, м	>1,5	1,5-1	1-0,5	0,5-0,1
k_c	0,9	0,8	0,6	0,4

ВЫВОДЫ. Завершая обзор работ, посвященных количественной оценке масштабного эффекта в горных породах, следует отметить, что на настоящий момент разработка всесторонне обоснованной аналитически и практически методики количественного учёта масштабного эффекта в массивных статистически неоднородных средах, продолжает оставаться актуальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21153.0-75; 21153.7-75. Породы горные. Методы физических испытаний. Издание официальное. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 35 с.

2. Кондратов А.В., Борях А.А. Исследование трещинообразования в скальном массиве вокруг горизонтальных горных выработок // ФТПРПИ. – 1983. – № 3. – С. 3-7.

3. Фисенко Г.П. Устойчивость бортов угольных карьеров. – М.: Углетехиздат, 1956. – 230 с.

4. Нестеренко Г.Г., Скозобцов Б.С., Твердовский Р.К. Способ оценки прочностных свойств в целиках // ФТПРПИ. – 1971. – № 6. – С.111-113.

5. Амосин Б.З. Механические характеристики массива горных пород при аналитических расчетах горного давления в выработках // ФТПРПИ. – 1979. – № 6. – С.15-21.

6. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев и др. – М.: Недра, 1979. – 269 с.

7. Слесарев В.Д. Механика горных пород. – М.: Углетехиздат, 1948. – 303 с.

8. Костомаров Н.Е., Пушкарев В.И. К определению прочности массива горных пород // Колыма. – 1975. – № 12. – С. 9-12.

9. Костомаров Н.Е. Влияние прочности массива на размеры зоны неупругих деформаций пород вокруг одиночной выработки. – Л.: Труды ВНИМИ, 1977. – № 103. – С. 67-70.

10. Расчет нагрузки на крепи горизонтальных выработок / Е.В. Стрельцов, А.В. Шейко, В.Д. Резун, В.И. Александров // Проектирование и реконструкция угольных предприятий. – 1973. – № 32. – С. 19-21.

11. Определение расчетного коэффициента крепости породы в массиве / Н.И. Глодковская // Гидротехническое строительство. – 1977. – № 1. – С. 49-51.

12. Deere D.U. (1963), Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mec.eng.Geol.*, no. 1, pp. 18-22.

13. Hansagi L. (1974), A method of determining the degree of fissuration of rock. *Int. S. Rock. Mech. Sci.*, vol. 11, pp. 379-388.

14. Shashenko A., Sdvizhkova O. (2008). Strength theory application for heterogeneous rocks // Scientific bulletin of the National Mining University. – 2008. – № 6. – PP. 40-43.

15. Shashenko A.N., Sdvizhkova E.A. Analysis of failure criterions and estimation of scale effect in rocks // New Challenges and Visions for Mining, 21-st World Mining Congress. – Poland, 2008. –103 p.

16. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Гапеев С.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография. – Д.: Национальный горный университет, 2008. – 224 с.

17. Shashenko O.M., Sdvizhkova O.O. & Kovrov O.S. Modelling of the rock stability at the controlled failure // Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering: Proceedings of the European rock Mechanics symposium (EUROCK) 2010, Lausanne, Switzerland, June 15-18, 2010. – PP. 581-584.

18. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Университетское издательство «Пульсары», 2002. – 302 с.

19. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Кужель С.В. Масштабный эффект в горных породах: моногра-

фия. – Днепропетровск.: Арт-пресс, 2004. – 132 с.

20. Shashenko O.M., Majcherczyk T. (2006). Geomechanics: History, Modern State and Prospects of development // International Mining Forum 2006 “New technological Solutions in Underground Min-

ing”. – PP. 35–37.

21. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. – К.: Новий друк, 2014. – 312 с.

EVALUATION OF THE SCALE EFFECT IN THE ROCK MASS

A. Shashenko, Ye. Sdvizhkova, O. Kovrov

State Higher Education Institution “National Mining University”

prosp. Karl Marks, 19, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mail: shashenkoa@nmu.org.ua, sdvzhkova_e@nmu.org.ua, kovrov@rambler.ru

Degree of accuracy with regard to solutions of geomechanical problems depends on accuracy of applied physical and mechanical properties of rocks surrounding the complex of mine workings. Initially the set of physical characteristics is determined, usually, in the laboratory conditions. So, their automatic application to heterogeneous rock mass containing the system of weakening defects, is impossible. Correct substitution of properties of small in size laboratory specimens for the properties of rock samples in rock massif with comparatively large geometric parameters is defined as a scale effect. The article presents the evolution of ideas related to consideration of the problem of the size of studied objects. Deterministic and probabilistic-statistical models dealing with the different properties of rock mass and laboratory rock samples at the micro- and macro- level are considered.

Key words: scale effect, rock mass, discontinuity, weakening defects, deterministic and stochastic models, distribution laws, cracks system.

REFERENCES

1. GOST 21153.0–75; 21153.7–75. (1975), *Porody gornyye. Metody fizicheskikh ispytaniy* [Mining Rock Mass. Methods of Physical Tests], Izdatelstvo standartov, Moscow, USSR.

2. Kondratov, A.V., Boryakh, A.A. (1983), “Study of crack formation in the rock mass nearby the horizontal mine workings”, *FTPPI*, no. 3. pp. 3–7.

3. Fisenko, G.P. (1956), *Ustoichivost bortov ugolnikh karierov* [Edge stability of open pit coal mines], Ugletekhizdat, Moscow, USSR.

4. Nesterenko, G.G., Skozobcov, B.S., Tverdovskiy, R.K. (1971). “Method of assessment of strength properties in pillars”, *FTPPI*, no. 6. pp. 111–113.

5. Amusin, B.Z. (1979), “Mechanical characteristics of the mining rock mass for analytical calculations of rock pressure in mine workings”, *FTPPI*, no. 6, pp. 15–21.

6. Kartashov, Yu.M., Matveyev, B.V., Mikheev, G.V. et al (1979), *Prochnost i deformiruemost gornykh porod* [Strength and deformability of rocks], Nedra, Moscow, USSR.

7. Slesarev, V.D. (1948), *Mekhanika gornykh porod* [Rock Mechanics], Ugletekhizdat, Moscow, USSR.

8. Kostomarov, N.Ye., Pushkarev, V.I. (1975), “For determination of the strength of rock massif”, *Kolyma*, no. 12, pp. 9–12.

9. Kostomarov, N.Ye. (1977), “Influence of the strength of rock massif on the zones of inelastic deformations nearby the single working”, *Trudy VNIMI*, no. 103, pp. 9–12.

10. Strelcov, Ye.V., Sheiko, A.V., Rezun, V.D., Aleksandrov, V.I. (1973), “Calculation of the load on the support of horizontal workings”, *Proyektirovanie i rekonstrukciya ugolnikh predpriyatiy*, no.32, pp. 19–21.

11. Glodkovskaya, N.I. (1977), “Determination of the design factor for rock strength in the massif”, *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*, no. 1, pp. 49–51.

12. Deere, D.U. (1963), “Technical description of rock cores for engineering purposes”, *Rock Mec. eng. Geol.*, no. 1, pp. 18–22.

13. Hansagi, L. (1974), “A method of determining the degree of fissuration of rock”, *Int. S. Rock. Mech. Sci.*, vol. 11, pp. 379–388.

14. Shashenko, A.N., Sdvizhkova, O.O. (2008), “Strength theory application for heterogeneous rocks”, *Scientific bulletin of the National Mining University*, no. 6, pp.40–43.

15. Shashenko, A.N., Sdvizhkova, E.A. (2008), “Analysis of failure criterions and estimation of scale effect in rocks”, *New Challenges and Visions for Mining. 21-st World Mining Congress*, Katowice, Poland, December 24, p. 103.

16. Shashenko, A.N., Sdvizhkova, Ye.A., and Gapev, S.N. (2008), *Deformiruemost i prochnost gornykh porod* [Deformability and strength of rocks], National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

17. Shashenko, O.M., Sdvizhkova, O.O. and Kovrov, O.S. (2010), “Modelling of the rock stability at the controlled failure”, *Proceedings of the European rock Mechanics symposium (EUROCK)*, June 15–18, 2010, Lausanne, Switzerland, pp. 581–584.

18. Shashenko, A.N., Tulub, S.B., Sdvizhkova, Ye.A. (2002), *Nekotoriye zadachi statisticheskoi geometriki* [Some tasks of statistical geomechanics], University publishing house “Pulsary”, Kyiv, Ukraine.

19. Shashenko, A.N., Sdvizhkova, E.A., Kuzhel, S.V. (2004), *Masshtabnyy efekt v gornykh porodah: Monografiya* [The scale effect in rocks: Monograph], Art-press, Dnepropetrovsk, Ukraine.

20. Shashenko, O.M., Majcherczyk, T. (2006), “Geomechanics: History, Modern State and Prospects of development”, *International Mining Forum 2006 “New technological Solutions in Underground Mining”*, pp. 35–37.

21. Shashenko, O.M., Pustovoytenko, V.P., Sdvizhkova, E.A. (2014), *Geomekhanika* [Geomechanics], Noviy druk, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла 10.06.2015.