

## КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ОБРАЗЦА ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ВЕЛИЧИНУ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

А.Б. Жабин<sup>1</sup>, А.В. Поляков<sup>2</sup>, Е.А. Аверин<sup>3</sup>, Ю.Н. Линник<sup>4</sup>, В.Ю. Линник<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Тульский государственный университет, Тула, Россия

<sup>2</sup> ООО «Экспертиза промышленной безопасности», Тула, Россия,  
e-mail: polyakoff-an@mail.ru

<sup>3</sup> ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод», Тула, Россия

<sup>4</sup> Государственный университет управления, Москва, Россия

**Аннотация:** Предел прочности горных пород на сжатие входит в число важнейших физико-механических свойств, используемых в различных расчетах и методиках. При этом, несмотря на общность подходов к определению этой величины экспериментальными методами, между ними есть некоторые различия. Рассмотрены актуальные методы испытаний горных пород на сжатие в России и за рубежом. Показано, что зарубежным методам соответствует первый вариант проведения испытаний согласно российскому ГОСТу. Однако имеются различия, заключающиеся в рекомендуемых геометрических параметрах образцов. Получено выражение, описываемое логарифмической функцией, для определения коэффициента, позволяющего оценивать влияние отличия реального отношения высоты образца к его диаметру при испытаниях горной породы на сжатие от эталонного «ГОСТовского» значения (2 к 1). Также представлено выражение, описываемое степенной функцией, для определения коэффициента, позволяющего оценивать отличие диаметра образца от эталонного выражения (42 мм). На основании этих двух выражений получена зависимость, позволяющая учитывать комплексное влияние отличия диаметра образца и отношения его высоты к диаметру от эталонных параметров. Представлен пример использования полученной зависимости. Данные результаты могут быть полезны специалистам, сталкивающимся в своей деятельности с зарубежными проектами.

**Ключевые слова:** горные породы, предел прочности на сжатие, методы испытаний, влияние размеров, коэффициент геометрии образца, расчетные зависимости, поправочный коэффициент, гармонизация технических стандартов.

**Для цитирования:** Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Комплексное влияние размеров образца горной породы на величину предела прочности на сжатие // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 8. – С. 5–13. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_8\_0\_5.

### Integrated effect of size on ultimate compressive strength of rock samples

A.B. Zhabin<sup>1</sup>, A.V. Polyakov<sup>2</sup>, E.A. Averin<sup>3</sup>, Yu.N. Linnik<sup>4</sup>, V.Yu. Linnik<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tula State University, Tula, Russia

<sup>2</sup> LLC «Expertise of Industrial Safety», Tula, Russia, e-mail: polyakoff-an@mail.ru

<sup>3</sup> LLC «Skuratovsky Experimental Plant», Tula, Russia

<sup>4</sup> State University of Management, Moscow, Russia

**Abstract:** The ultimate compressive strength is a key physical property of rocks and is included in various designs and procedures. Despite general similarity of approaches to experimental determination of this value, there are yet some differences. This study reviews the current methods of rock compression testing in use in Russia and abroad. The foreign techniques conform with the first test variant of the Russian State Standard. At the same time, the differences lie in recommended geometrical parameters of test samples. The logarithmic function-based expression is obtained for determining an influence factor of difference between the actual height/diameter ratio of a rock sample in compression and the reference state standard-set value (2 to 1). Another exponential function-based expression determines an influence factor of deviation of a sample diameter from the reference value (42 mm). These expressions are used to derive a dependence integrating the effects of the sample diameter deviation and its height/diameter deviation from the reference parameters. The application of the dependence is illustrated. These results may be of use to experts engaged in foreign engineering projects.

**Key words:** rocks, ultimate compressive strength, test methods, size effect, sample geometry factor, calculated dependences, correction factor, harmonization of engineering standards.

**For citation:** Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Integrated effect of size on ultimate compressive strength of rock samples. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(8):5-13. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_8\_0\_5.

## Введение

Изучение горных пород является необходимым для развития горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей промышленности, строительства и т.д. Особенно активно это научное направление развивалось в последние десяти-

летия, что привело к появлению множества показателей, характеризующих отдельные свойства горных пород или их комплексы, а также установлению различного рода зависимостей между показателями свойств горных пород или свойств горных пород с показателями эффективности горных работ [1 – 6]. Среди них выделяется показатель сопротивления горных пород разрушению при одноосном сжатии  $\sigma_{ск}$ , который является наиболее общей и широко распространенной характеристикой прочностных свойств горных пород [1 – 3].

## Актуальные методы испытаний горных пород на сжатие в России и за рубежом

Основным методом испытаний горных пород на сжатие является метод строительной механики, сущность которого заключается в непосредственном определении максимального напряжения, предшествующего разрушению образ-

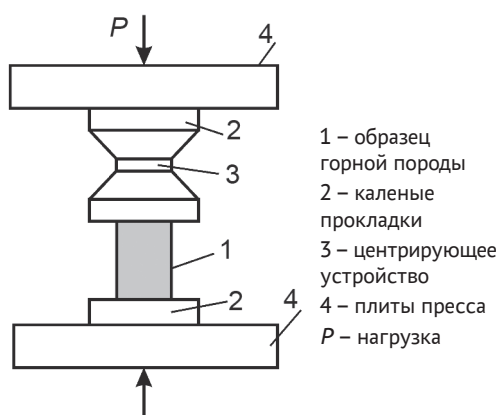


Рис. 1. Установка для определения прочности при одноосном сжатии

Fig. 1. Uniaxial compressive strength test plant

ца правильной цилиндрической формы при его одноосном нагружении (рис. 1). Одноосное сжатие образцов осуществляется нагружением вдоль оси равномерно распределяемым по торцам усилием, которое увеличивают до разрушения образцов.

Международным сообществом по механике горных пород ISRM разработана методика испытаний [7, с. 153], рекомендованная в качестве стандарта для определения пределов прочности пород при одноосном сжатии. Нормативы метода предусматривают проведение испытаний на цилиндрических образцах пород диаметром примерно 54 мм с соотношением высоты к диаметру в пределах 2,5–3,0. Образцы получают при разрезании кернов, при этом торцевые поверхности шлифуют, они должны быть строго параллельны друг другу и перпендикулярны к образующим цилиндра — допустимое отклонение от плоскости составляет 0,02 мм, а от перпендикулярности 0,001 рад от оси.

Образец размещают между стальными пластинами в форме дисков диаметром, равным диаметру образца или превосходящим диаметр образца не более чем на 2 мм. Твердость стальных пластин должны быть не менее 58 HRC по Роквеллу, а их толщина должна быть не менее 15 мм или трети диаметра образца. Поверхность диска должна быть плоской — допустимое отклонение от плоскости не превышает 0,005 мм.

При проведении испытания образец равномерно нагружают до разрушения с напряжением в пределах 0,5–1,0 МПа/с.

Предел прочности породы рассчитывают по формуле, Па

$$\sigma_{сж} = \frac{F_{\max}}{S_0}, \quad (1)$$

где  $F_{\max}$  — разрушающая нагрузка, Н;  $S_0$  — площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

В настоящее время в России проведение испытаний горных пород на одноосное сжатие регламентируется ГОСТом 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии». Стандарт распространяется на твердые (скальные и полускальные) горные породы и устанавливает методы определения предела прочности при одноосном сжатии:

- одноосное сжатие образцов правильной формы плоскими плитами (породы с пределом прочности при одноосном сжатии не менее 5 МПа);
- разрушение образцов-плиток плоскими соосными пуансонами (породы с пределом прочности при одноосном сжатии от 10 до 150 МПа).

Метод определения предела прочности на одноосное сжатие при помощи соосных пуансонов (вариант 2 из ГОСТ 21153.2-84) существенно отличается от рекомендованного международной организацией ISRM, и мы советуем прибегать к нему только в случае невозможности проведения испытаний по первому варианту.

Сущность метода одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами полностью аналогична рассмотренному ранее методу ISRM. Поэтому отметим только основные отличия, которые касаются геометрии испытываемых образцов — диаметр образцов должен составлять  $42 \pm 2$  мм (против 54 мм в методе ISRM), а соотношение высоты образца к диаметру  $m$  должно составлять от 0,7 до 2 (против  $m = 2,5 - 3$  в методе ISRM).

Значение предела прочности при одноосном сжатии в МПа вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = K_{\sigma} \cdot \frac{P}{S} \cdot 10, \quad (2)$$

где  $P$  — разрушающая образец сила, кН;  $S$  — площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>;  $K_{\sigma}$  — безразмерный коэффици-

**Влияние отношения  $m$  на коэффициент  $K_b$**   
**Effect of ratio  $m$  on coefficient  $K_b$**

$m$	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
$K_b$	0,68	0,72	0,76	0,80	0,86	0,90	0,94	0,97	1,00

ент высоты образца, равный 1,00 при отношении высоты к диаметру  $m = 2 \pm 0,05$ . Для других значений  $m$  коэффициент  $K_b$  устанавливают по таблице.

Согласно таблице размеры образца оказывают заметное влияние на величину  $\sigma_{сж}$ . Так, при соотношении высоты образца к его диаметру  $m$  меньшем, чем рекомендованное значение 2, значение предела прочности на сжатие следует считать меньшим, чем измеренная величина. Однако же таблица не дает представления о том, какое значение  $\sigma_{сж}$  следует принимать, если отношение высоты образца к диаметру больше двух. А между тем не только в стандарте ISRM, но и в национальных стандартах ряда стран с развитой горной промышленностью (США, Великобритания, Германия, Турция и др.) испытания для определения предела прочности на одноосное сжатие производят при отношении  $m > 2$  [8, 9].

**Определение влияния размеров образца на значение предела прочности на сжатие**

Известны работы [10, 11], представляющие подход для связи прочностных данных по разно размерным образцам горных пород с данными, по которым определены полукруги Мора для областей, относящихся к одноосному сжатию и растяжению. Данный метод учета влияния размеров образца на значение предела прочности на сжатие является довольно трудоемким. К тому же на практике часто приходится оперировать только значениями предела прочности на сжатие, полученными от третьих лиц, не имея возможности проводить самостоя-

тельные исследования по их определению.

Более простым подходом к учету разности размерности образцов горных пород при испытаниях на определение прочностных свойств является подход на основе математической формулы. Такая формула должна позволять производить пересчет значений предела прочности на сжатие, полученных на образцах с исходными геометрическими параметрами, к образцам с требуемыми геометрическими параметрами. Целью данной работы является получение такой математической зависимости.

Первым шагом на пути к решению поставленной задачи является учет влияния соотношения высоты и диаметра образца [12, 13], выраженный математической зависимостью. Для этого можно воспользоваться данными таблицы из предыдущего раздела настоящей статьи. Экстраполировать данные таблицы за пределы указанных в ней значений можно построением функции  $K_b = f(m)$  и ее аппроксимацией, что отображено на рис. 2.

Аппроксимируя зависимость, показанную на рис. 2, линейной, степенной и логарифмической функциями, получим

$$K_b = 0,2431 \cdot m + 0,5398; \quad (3)$$

$$K_b = 0,7882 \cdot m^{0,367}; \quad (4)$$

$$K_b = 0,3067 \cdot \ln(m) + 0,7938. \quad (5)$$

Каждое из выражений (3) – (5) достаточно точно описывает функцию  $K_b = f(m)$  на участке рекомендуемых ГОСТом значений  $m$  от 0,7 до 2, что подтверждается высокими значениями индексов детерминации – 0,97, 0,99 и 1 соответ-

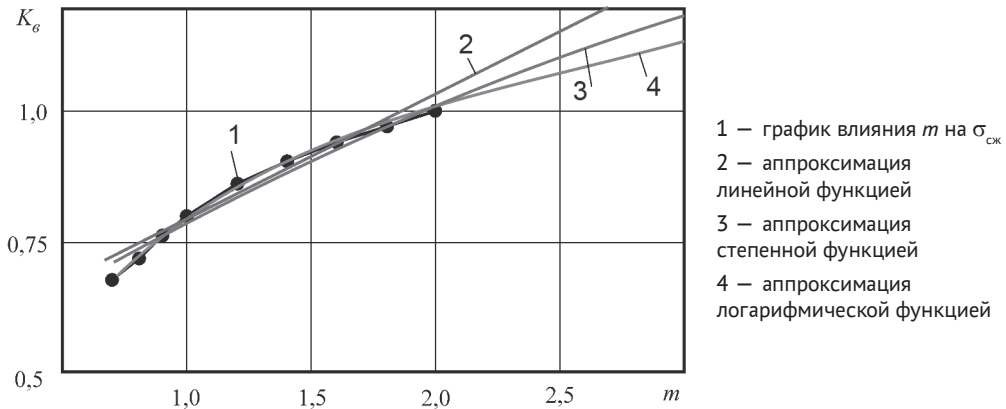


Рис. 2. Аппроксимация функции влияния отношения  $m$  на  $\sigma_{ск}$  горных пород  
 Fig. 2. Approximation of influence function of ratio  $m$  to  $\sigma_{com}$  of rocks

ственно. Поскольку наибольшую сходимость демонстрирует логарифмическая функция, то примем выражение (5) в качестве основного, тем более, как видно из рис. 2, логарифмическая функция в наибольшей степени соответствует тренду развития графика линии 1, в то время как линейная и степенная функции стремятся завышать значения коэффициента  $K_v$  при значениях отношения  $m$  больше двух. Следует отметить, что в данном случае применение выражения (5) для прогноза значений вычисляемого коэффициента  $K_v$  за пределами диапазона переменной  $m$  от 0,7 до 2 базируется на предположении о простой экстраполяции аппроксимирующей логарифмической функции на основании высокого индекса детерминации на ее известном участке, позволяющем выявить устойчивую тенденцию ее развития.

Пользуясь выражением (5), получим, что при отношении высоты испытываемого образца горной породы к его диаметру 2,5 и 3 измеренное значение предела прочности на сжатие в сравнении с аналогичным значением при испытании образца с  $m = 2$  должно быть больше на 7,5 и 13,1% соответственно.

Следует отметить, что кроме отношения  $m$  на значение  $\sigma_{ск}$  оказывает влия-

ние также диаметр образца сам по себе без учета соотношения с высотой образца [14]. В работе [15] приводятся выражения, описывающие изменение величины предела прочности на сжатие, в случае отличия фактического диаметра образца от 50 мм, на основании которых можно заключить, что влияние диаметра образца на значение предела прочности на сжатие описывается степенной зависимостью

$$K_d = \left(\frac{50}{d}\right)^{-0,2}, \quad (6)$$

где  $d$  — фактический диаметр образца в мм.

Оценим при помощи выражения (6) пределы погрешности измерения для допускаемых первым вариантом ГОСТа диаметров  $42 \pm 2$  мм, то есть от 40 до 44 мм. Разница оказывается в целом незначительной — всего 1%. Также определим пределы погрешности измерения в сравнении с рекомендуемыми ISRM (и рядом других зарубежных стандартов) диаметром 54 мм — они варьируются в пределах от 4,1 до 5,9%. Эти значения тоже невелики. Поэтому неудивительно, что при введении стандартов в 70-е годы прошлого века поправок на диаметр не делали, так как уровень ис-

питательного оборудования был значительно ниже, а практическая значимость измерений с точностью ~5% — неочевидной. Однако с конца 1980-х годов активно развиваются направления горного дела, связанные с разрушением весьма крепких пород с прочностью 250–300 МПа. При таких значениях прочности погрешность в 5% соответствует десяткам мегапаскалей, что может иметь критическое значение для конкретного проекта в целом. Поэтому учет влияния диаметра образца на  $\sigma_{сж}$  в настоящее время следует учитывать.

На основании изложенного представляется целесообразным введение комплексного коэффициента из выражений (5) и (6), учитывающего геометрию образца горной породы при определении предела прочности на сжатие

$$K_p = \left(\frac{50}{d}\right)^{-0,2} \cdot (0,3067 \cdot \ln(m) + 0,7938), \quad (7)$$

где  $d$  — диаметр образца, мм;  $m$  — отношение высоты образца к диаметру.

Используя выражение (7) определим окончательно примерную погрешность в разнице значений предела прочности на сжатие, определяемых по первому варианту из российского ГОСТ и по методике ISRM. Она варьируется в пределах от 11,1% ( $d_{ГОСТ} = 44$  мм и  $m = 2$  против  $d_{ISRM} = 54$  и  $m = 2,5$ ) до 18,6% ( $d_{ГОСТ} = 40$  мм и  $m = 2$  против  $d_{ISRM} = 54$  и  $m = 3$ ).

Выражение (7) подходит для сравнения влияния образцов с различной геометрией, однако необходимо учитывать, что оно приводит значения коэффициента  $K_p$  к эталону  $d = 50$  мм и  $m = 2$ . Для российских специалистов, привыкших пользоваться нормами ГОСТ 21153.2-84, удобнее было бы приводить коэффициент  $K_p$  к эталону  $d = 42$  мм и  $m = 2$ . Поскольку значение первого множителя из формулы (7) при диаметре 42 мм больше

значения при диаметре 50 мм в 1,035 раза, то введем это значение как поправочный коэффициент

$$K_p = 1,035 \cdot \left(\frac{50}{d}\right)^{-0,2} \cdot (0,3067 \cdot \ln(m) + 0,7938) \quad (8)$$

Выражение может использоваться при определении предела прочности на сжатие по методике, изложенной в ГОСТ 21153.2-84, вместо коэффициента  $K_p$ .

### Пример практического использования коэффициента $K_p$

Для лучшего понимания сущности коэффициента  $K_p$  приведем пример его использования. Предположим, что некая зарубежная горная компания заказывает у российского производителя оборудование для своего предприятия и приводит данные о горных породах на этом предприятии, в том числе предел прочности на сжатие. Известны значения  $\sigma_{сж}$  и что они были определены по методике ISRM при соотношении высоты образца к его диаметру равным 2,5. В приведенных данных о горных породах максимальное значение составляет 100 МПа.

Рассматриваются два типа оборудования. Оборудование первого типа рассчитано на работу с породами с пределом прочности на сжатие до 110 МПа, а второго — 130 МПа, определенных по ГОСТ 21153.2-84. На первый взгляд, оборудование первого типа должно быть эффективным при работе с такими породами. Однако, воспользовавшись формулой (8), получим, что значение  $\sigma_{сж} = 100$  МПа по методике ISRM при диаметре образца 54 мм и отношении высоты образца к диаметру 2,5 эквивалентно 118,8 МПа по российскому ГОСТ (при параметрах образца  $d = 42$  мм,  $m = 2$ ). Таким образом, целесообразно предложить зарубежному партнеру оборудование второго типа, поскольку есть риск

того, что оборудование первого типа может быть неэффективным.

### **Заключение**

Таким образом, установлено комплексное влияние размеров породных образцов правильной цилиндрической формы на величину предела прочности на сжатие при испытаниях по рекомендованным методикам.

Полученный результат может быть использован при решении широкого круга задач в горнодобывающей, перераба-

тывающей и строительной отраслях, поскольку предел прочности на сжатие является наиболее общей и широко распространенной характеристикой прочностных свойств горных пород. При этом наиболее полезным он окажется для специалистов, которым в своей деятельности приходится взаимодействовать с зарубежными партнерами, так как в разных странах рекомендуемые размеры породных образцов при испытаниях на определение предела прочности на сжатие различаются.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Жабин А. Б., Аверин Е. А., Поляков А. В.* Показатель эквивалентной прочности горных пород // Горная промышленность. — 2018. — № 5. — С. 112–115. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-112-115.

2. *Жабин А. Б., Аверин Е. А., Поляков А. В.* Интегральная оценка сложности проекта проходки горных выработок // Уголь. — 2017. — № 11. — С. 60–63. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-60-63.

3. *Averin E., Zhabin A., Polyakov A., Linnik Y., Linnik V.* Preliminary assessment of roadheaders efficiency based on empirical methods and index of equivalent rock strength // Mining of Mineral Deposits. 2019, vol. 13, no. 3, pp. 113–118. DOI: 10.33271/mining13.03.113.

4. *Морозов И. А., Ударцев А. А., Паньков И. Л.* Анализ деформирования соляных пород Гремячинского и Верхнекамского месторождений в лабораторных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 10. — С. 16–28. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-16-28.

5. *Захаров В. Н., Линник В. Ю., Линник Ю. Н., Жабин А. Б.* Классификация угольных пластов по особенностям геологического строения и разрушаемости // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 5. — С. 5–12. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-5-12.

6. *Нгуен Ван Минь, Хажылылай Ч. В., Умаров А. Р., Янбеков А. М.* Оценка степени влияния основных параметров на формирование зон растягивающих деформаций вокруг выработок на глубине свыше 1 км // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 8. — С. 104–113. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_8\_0\_104.

7. *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006.* Ulusay R., Hudson J. A. (Eds.). Ankara, Turkey. 2007, 628 p.

8. *Yilmaz Y., Eun J., Panahi S. S., Mousavi M. S.* Effects of height-to-diameter ratio (H/D) for specimens with various water contents on unconfined compressive strength of a clayey soil // Engineering Geology. 2019, vol. 257, pp. 105–136. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.05.013.

9. *Komurlu E.* Loading rate conditions and specimen size effect on strength and deformability of rock materials under uniaxial compression // International Journal of Geo-Engineering. 2018, vol. 9, no. 1, pp. 17. DOI: 10.1186/s40703-018-0085-z.

10. *Цой П. А., Усольцева О. М., Персидская О. А., Семенов В. Н., Сиволап Б. Б.* Изменение модуля деформации и пределов прочности метаалевролита в зависимости от размера образцов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2017. — Т. 4. — № 2. — С. 187–190.

11. Цой П. А., Усольцева О. М. Применение кругов Мора для связи и модельной оценки прочностных данных разноразмерных образцов горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 2. — С. 23–29. DOI: 10.15372/FTPRPI20170505.

12. Meng Q., Zhang M., Han L., Pu H., Li H. Effects of size and strain rate on the mechanical behaviors of rock specimens under uniaxial compression // Arabian Journal of Geosciences. 2016, vol. 9, no. 8, pp. 527. DOI: 10.1007/s12517-016-2559-7.

13. Tuncay E., Özcan N. T., Kalender A. An approach to predict the length-to-diameter ratio of a rock core specimen for uniaxial compression tests // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2019, vol. 78, no. 7, pp. 5467–5482. DOI: 10.1007/s10064-019-01482-6.

14. Rong G., Peng J., Yao M., Jiang Q., Wong L. N. Y. Effects of specimen size and thermal damage on physical and mechanical behavior of a fine-grained marble // Engineering Geology. 2018, vol. 232, pp. 46–55. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.11.011.

15. Darlington W. J., Ranjith P. G., Choi S. K. The effect of specimen size on strength and other properties in laboratory testing of rock and rock-like cementitious brittle materials // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2011, vol. 44, no. 5, pp. 513–529. DOI: 10.1007/s00603-011-0161-6. **МИАБ**

## REFERENCES

1. Zhabin A. B., Averin E. A., Polyakov A. V. Rock strength equivalent index. *Russian Mining Industry*. 2018, no. 5, pp. 112–115. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-112-115.

2. Zhabin A. B., Averin E. A., Polyakov A. V. Integrated assessment of the complexity of mining projects. *Ugol'*. 2017, no. 11, pp. 60–63. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-60-63.

3. Averin E., Zhabin A., Polyakov A., Linnik Y., Linnik V. Preliminary assessment of roadheaders efficiency based on empirical methods and index of equivalent rock strength. *Mining of Mineral Deposits*. 2019, vol. 13, no. 3, pp. 113–118. DOI: 10.33271/mining13.03.113.

4. Morozov I. A., Udarcov A. A., Pankov I. L. Laboratory deformation testing of salt rocks from the Gremyachinsk and Upper Kama deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 10, pp. 16–28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-16-28.

5. Zakharov V. N., Linnik V. Yu., Linnik Yu. N., Zhabin A. B. Classification of coal seams by features of geological structure and characteristics of breaking. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 5, pp. 5–12. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-5-12.

6. Nguyen Van Minh, Khazhyylai C. V., Umarov A. R., Yanbekov A. M. Effect of main rock mass parameters on initiation of tensile strain zones around openings at a depth greater than 1 km. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 8, pp. 104–113. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_8\_0\_104.

7. *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006*. Ulusay R., Hudson J. A. (Eds.). Ankara, Turkey. 2007, 628 p.

8. Yilmaz Y., Eun J., Panahi S. S., Mousavi M. S. Effects of height-to-diameter ratio (H/D) for specimens with various water contents on unconfined compressive strength of a clayey soil. *Engineering Geology*. 2019, vol. 257, pp. 105–136. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.05.013.

9. Komurlu E. Loading rate conditions and specimen size effect on strength and deformability of rock materials under uniaxial compression. *International Journal of Geo-Engineering*. 2018, vol. 9, no. 1, pp. 17. DOI: 10.1186/s40703-018-0085-z.

10. Tsoi P. A., Usoltseva O. M., Persidskaya O. A., Semenov V. N., Sivolap B. B. Change in deformation modulus and strength of meta-siltstone depending on specimen size. *Mining sciences: fundamental and applied issues*. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 187–190. [In Russ].

11. Tsoi P. A., Usol'tseva O. M. Use of Mohr's circles for connection and model estimation of strength data of different-size rock samples. *Fiziko-tekhnikheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2019, no. 2, pp. 23–29. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20170505.



12. Meng Q., Zhang M., Han L., Pu H., Li H. Effects of size and strain rate on the mechanical behaviors of rock specimens under uniaxial compression. *Arabian Journal of Geosciences*. 2016, vol. 9, no. 8, pp. 527. DOI: 10.1007/s12517-016-2559-7.

13. Tuncay E., Özcan N. T., Kalender A. An approach to predict the length-to-diameter ratio of a rock core specimen for uniaxial compression tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2019, vol. 78, no. 7, pp. 5467–5482. DOI: 10.1007/s10064-019-01482-6.

14. Rong G., Peng J., Yao M., Jiang Q., Wong L. N. Y. Effects of specimen size and thermal-damage on physical and mechanical behavior of a fine-grained marble. *Engineering Geology*. 2018, vol. 232, pp. 46–55. DOI: 10.1016/j.enggeo.2017.11.011.

15. Darlington W. J., Ranjith P. G., Choi S. K. The effect of specimen size on strength and other properties in laboratory testing of rock and rock-like cementitious brittle materials. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2011, vol. 44, no. 5, pp. 513–529. DOI: 10.1007/s00603-011-0161-6.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жабин Александр Борисович — д-р техн. наук,  
профессор, e-mail: zhabin.tula@mail.ru,

Тульский государственный университет,

Поляков Андрей Вячеславович — д-р техн. наук,

инженер-эксперт, e-mail: polyakoff-an@mail.ru,

ООО «Экспертиза промышленной безопасности»,

Аверин Евгений Анатольевич — канд. техн. наук,

инженер-конструктор, e-mail: evgeniy.averin.90@mail.ru,

ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод»,

Линник Юрий Николаевич<sup>1</sup> — д-р техн. наук,

профессор, e-mail: yn\_linnik@guu.ru,

Линник Владимир Юрьевич<sup>1</sup> — д-р экон. наук,

профессор, e-mail: d0c3n7@gmail.com,

<sup>1</sup> Государственный университет управления.

**Для контактов:** Поляков А.В., e-mail: polyakoff-an@mail.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.B. Zhabin, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: zhabin.tula@mail.ru,

Tula State University, 300012, Tula, Russia,

A.V. Polyakov, Dr. Sci. (Eng.), Engineer-Expert,

LLC «Expertise of Industrial Safety»,

300000, Tula, Russia, e-mail: polyakoff-an@mail.ru,

E.A. Averin, Cand. Sci. (Eng.), Engineer-Designer,

LLC «Skuratovsky Experimental Plant»,

300911, Tula, Russia, e-mail: evgeniy.averin.90@mail.ru,

Yu.N. Linnik<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: yn\_linnik@guu.ru,

V.Yu. Linnik<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Econ.), Professor,

e-mail: d0c3n7@gmail.com,

<sup>1</sup> State University of Management, 109542, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** A.V. Polyakov, e-mail: polyakoff-an@mail.ru.

Получена редакцией 10.03.2022; получена после рецензии 18.03.2022; принята к печати 10.07.2022.

Received by the editors 10.03.2022; received after the review 18.03.2022; accepted for printing 10.07.2022.