

УДК 622.023.23 : 539.4

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ НОВОГО ЭКСПРЕСС-МЕТОДА  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

METHODICAL ISSUES OF DEVELOPING A NEW EXPRESS METHOD FOR  
DETERMINING THE STRENGTH OF PROPERTIES OF ROCK

Корнеев В.А., Гусев М.М.  
Korneyev V.A., Gysev M.M.

Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк, Россия)  
Siberian State Industrial University (Novokuznetsk, Russian Federation)

**Аннотация.** Статья посвящена разработке нового экспресс-метода определения прочностных свойств горных пород. В статье рассмотрены показатели механических свойств горных пород, наиболее часто используемые для решения горно-технологических задач в России. Решается вопрос о выборе показателей механических свойств горных пород, с которыми требуется установление корреляционной зависимости индекса, определяемого разрабатываемым экспресс-методом. Приведены иллюстрации используемого лабораторного оборудования и ссылки на его описание.

**Ключевые слова:** экспресс-метод, горная порода, прочность, коэффициент крепости, индентор.

**Дата принятия к публикации:** 08.11.2018  
**Дата публикации:** 25.12.2018

**Сведения об авторах:**

**Корнеев Виктор Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией кафедры прикладных информационных технологий и программирования ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», [korneev\\_va@list.ru](mailto:korneev_va@list.ru).

**Гусев Максим Михайлович** – заведующий сектором отдела информационных технологий и электронного обучения ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», [mx-border@bk.ru](mailto:mx-border@bk.ru).

Определение прочностных свойств горных пород представляет собой важнейшую задачу, решаемую при проведении строительных и горных работ, разработке породоразрушающей техники и горного инструмента. Сведения, характеризующие сопротив-

† **Abstract.** The article is devoted to the development of a new rapid method for determining the strength properties of rocks. A new express research method is required to meet industrial safety requirements in the operation of coal mines. The article describes the procedure for conducting research in accordance with the developed express method. The paper describes the form of the indenter used in research. The publication discusses the mechanical properties of rocks most frequently used to solve mining and technological problems in Russia. The article resolved made the choice of indicators of mechanical properties of rocks with which the establishment of a correlation dependence is required. The publication describes the used laboratory equipment. It includes a special device «PSSH 1» and a laboratory stand for determining the energy intensity of rock destruction. The «PSSH 1» makes it possible to determine the strength of rocks in wells.

† **Keywords:** express method, rock, strength, coefficient of strength, indenter.

† **Date of acceptance for publication:** 08.11.2018  
† **Date of publication:** 25.12.2018

† **Authors' information:**

† **Victor A. Korneyev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of the Department of Applied Information Technologies and Programming at the Siberian State Industrial University, [korneev\\_va@list.ru](mailto:korneev_va@list.ru).

† **Maxim M. Gysev** – Head of Sector for Information Technology and E-Learning of the Siberian State Industrial University, [mx-border@bk.ru](mailto:mx-border@bk.ru).

† ляемость горной породы разрушению, являются базовыми параметрами, лежащими в основе принятия различных технических и технологических решений.

† Зачастую, определение механических свойств массива горных пород требуется

осуществлять с определенной периодичностью [1-3] и высокой степенью оперативности. Известные лабораторные методы не дают такой возможности, в связи с чем, в производстве нашли широкое применение различные экспресс-методы.

В зарубежной горной практике к ним можно отнести методы исследования молотком Шмидта (Method for Determination of the Schmidt Hammer) [4,5], склероскопом Шора (Method for Determination of the Shore Scleroscope) [5,6], пенетрометром (Method for the Needle Penetration Test) [7], а также приложением точечной нагрузки (Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock) [8]. Все выше названные методы регламентируются стандартами Международного общества механики горных пород (ISRM).

В отечественной науке для проведения оперативного исследования свойств горных пород используются экспресс-методы определения коэффициента крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова (ГОСТ 21153.1-75) и определения контактной прочности (ГОСТ Р 50834-95).

Анализ достоинств и недостатков отечественных и зарубежных методов [9] показал необходимость разработки принципиально нового экспресс-метода определения прочностных свойств горных пород. Достоинством этого метода является возможность проведения измерений как в скважинах, так и на образцах, а также наличие аналитического механизма интерпретации измеряемых параметров на основании решения контактной задачи [10,11].

В основе предлагаемого экспресс-метода лежит измерение усилия, необходимого для вдавливания индентора специальной формы в образец горной породы или стенку скважины, пробуренной в исследуемом массиве. На основании фиксируемого усилия, при котором происходит выкол горной породы под индентором, далее вычисляются стандартные прочностные характеристики горной породы.

Как известно, отечественная научная школа базируется на шкале крепости горных пород, предложенной проф. М.М. Протодя-

коновым. Коэффициент крепости является основным связующим показателем, комплексно сочетающим в себе другие прочностные характеристики пород, поэтому при разработке экспресс-метода необходимо в обязательном порядке установить с ним корреляционную связь. В настоящий момент в отечественных государственных стандартах, регламентирующих определение свойств горных пород, коэффициент крепости предлагается определять методом толчения по ГОСТ 21153.1-75. Следует отметить, что в своей монографии [12], посвященной разработке нового метода определения показателя сопротивляемости горных пород приповерхностному разрушению, названному авторами контактной прочностью, Л.И. Барону и Л.Б. Глатману не удалось выявить наличие корреляции между крепостью по методу толчения и контактной прочностью. Показатель контактной прочности является по своей физической сущности достаточно близким к параметру, определяемому в соответствии разрабатываемым экспресс-методом. В связи с этим можно предположить, что установление связи с коэффициентом крепости по ГОСТ 21153.1-75 может быть также затруднительно. Исходя из этого, одним из показателей, с которыми должна быть определена корреляционная связь, является также предел прочности при одноосном сжатии (ГОСТ 21153.3-85). Установление такой зависимости позволит перейти от частного параметра, определяемого в соответствии с разрабатываемым экспресс-методом, к прямому стандартному показателю сопротивляемости горной породы разрушению, а также позволит оценить связь с коэффициентом крепости горной породы по шкале проф. М.М. Протодяконова, определенным методом раздавливания кернов.

Еще одним показателем, исследование взаимосвязи с которым представляет значительный интерес, является контактная прочность [12]. Огромный экспериментальный материал и выводы, сделанные на его основе Л.И. Бароном, Л.Б. Глатманом и другими учеными [13-16], позволяют использовать этот показатель для расчета параметров работы горного инструмента. Установление

корреляционной зависимости с контактной прочностью дополнит и адаптирует к современным условиям теоретическую базу, созданную выше названными учеными.

Известно, что для расчета горной техники и выбора способа разрушения горной породы требуется помимо прочностных характеристик также наличие сведений о минимальных удельных затратах энергии на разрушение породы, т.е. энергоемкости. В науке и практике известны различные прямые методы определения энергоемкости, сущность которых заключается в достижении разрушения определенного объема горной породы инденторами, пуансонами, сбрасываемым грузом и т.п. с дальнейшим вычислением объемов разрушения и необходимой для этого энергии. Наиболее применимым среди них является метод, реализуемый в соответствии со способом [17], который позволяет оценивать удельные энергетические затраты в зависимости от размеров разрушенной части горной породы наименее энергозатратным способом разрушения - раздавливанием пуансоном. Установление взаимосвязи между показателем, определяемым в соответствии с разрабатываемым экспресс-методом, и энергоемкостью, вычисляемой по способу [17], позволит использовать сведения о сопротивляемости горной породы хрупкому разрушению для оперативной оценки энергетических затрат на разрушение массива, выбора требуемого горного инструмента и оборудования.

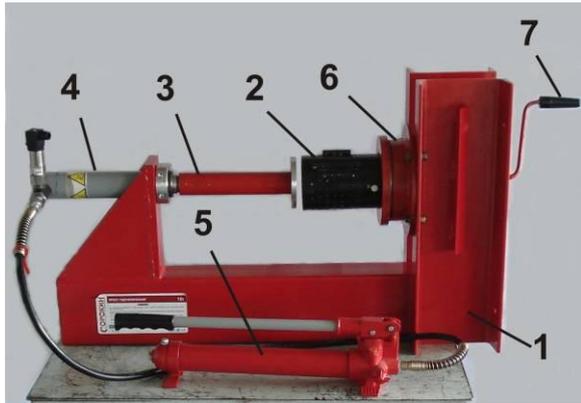
Определение свойств горных пород в соответствии с разрабатываемым экспресс-методом на поверхности образцов предполагается производить на ручном гидравлическом прессе. Для проведения исследований в скважинных условиях было разработано специальное устройство «Прочностномер ПСШ-1» (рис. 1). Устройство «Прочностномер ПСШ-1» позволяет реализовывать механизм контактного разрушения стенки скважины индентором за счет использования малогабаритного измерительного гидравлического цилиндра 1 оригинальной конструкции. Подача давления в гидравлический цилиндр 1 осуществляется с помощью ручного насоса 2 по рукаву 3. В процессе проведения

измерений система сбора данных устройства «Прочностномер ПСШ-1» фиксирует давление в гидравлической системе и положение индентора, что позволяет получать диаграмму «напряжение-деформация» при вдавливании индентора. Более подробно устройство прибора представлено в [18, 19].



Рис. 1. Устройство «Прочностномер ПСШ-1»

Для определения минимальных удельных энергетических затрат на разрушение горной породы в соответствии со способом [17], был разработан специальный лабораторный стенд (рис. 2). Конструктивно он состоит из станины 1, перфорированного стакана 2, в котором располагаются испытуемые образцы горной породы, пуансона 3, приводимого в движение нагрузочным гидроцилиндром 4 за счет ручного насоса 5 (рис. 2, а). Перфорированный стакан 2 размещается на станине 1 посредством опоры 6, в которой расположен радиально-упорный подшипник, обеспечивающий вращение перфорированного стакана 2 ручкой 7 для удаления разрушенной горной породы. Управление размерами продуктов разрушения горной породы осуществляется за счет съемных перфорированных стаканов (рис. 2, б), диаметр отверстий в которых определяет степень, до которой будет разрушена испытуемая горная порода. Более подробное описание конструкции лабораторного стенда и используемого программного обеспечения приведено в [20].



а)



б)

Рис. 2. Лабораторный стенд для определения энергоемкости разрушения горной породы: а – общий вид; б – варианты используемых стаканов

Предварительная апробация разработанного экспресс-метода осуществлялась на блоке с имитацией скважины, изготовленном из мелкозернистого бетона с известной величиной предела прочности на одноосное сжатие. Мелкозернистый бетон имел следующий состав (мас. %):

- портландцемент (М400) - 19...20;
- песок (М200; класс В12,5; модуль крупности  $M_{кр.}=2,0$ ) - 57...58;
- вода - 23.

Для изготовления блока использовалась специально разработанная опалубка (рис. 3, а). На рис. 3, а цифрами обозначены:

- 1 – бетонный блок;
- 2 – распалубленная опалубка;
- 3 – трубный элемент, имитирующий скважину;

4 – специальное приспособление для извлечения из блока трубного элемента.

Определение предела прочности на одноосное сжатие мелкозернистого бетона осуществлялось на контрольных образцах размерами 10×10×10 см (рис. 3, б) из аналогичной бетонной смеси. Исследования проводились на сертифицированном испытательном комплексе ИК-500.01 (рис. 4). Срок набора прочности бетонного блока и контрольных образцов составил 28 суток.



а)



б)

Рис. 3. Апробация разработанного экспресс-метода: а – блок с имитацией скважины; б – контрольные образцы мелкозернистого бетона

При проведении испытаний в скважине использовался индентор в виде усеченного конуса с закругленной контактной частью диаметром 1,6 мм, изготовленный из твердого сплава ВК-6. Диаграмма вдавливания индентора в стенку скважины, полученная с карты памяти устройства «Прочностномер ПСШ-1», и фотография используемого индентора приведены на рис. 5.

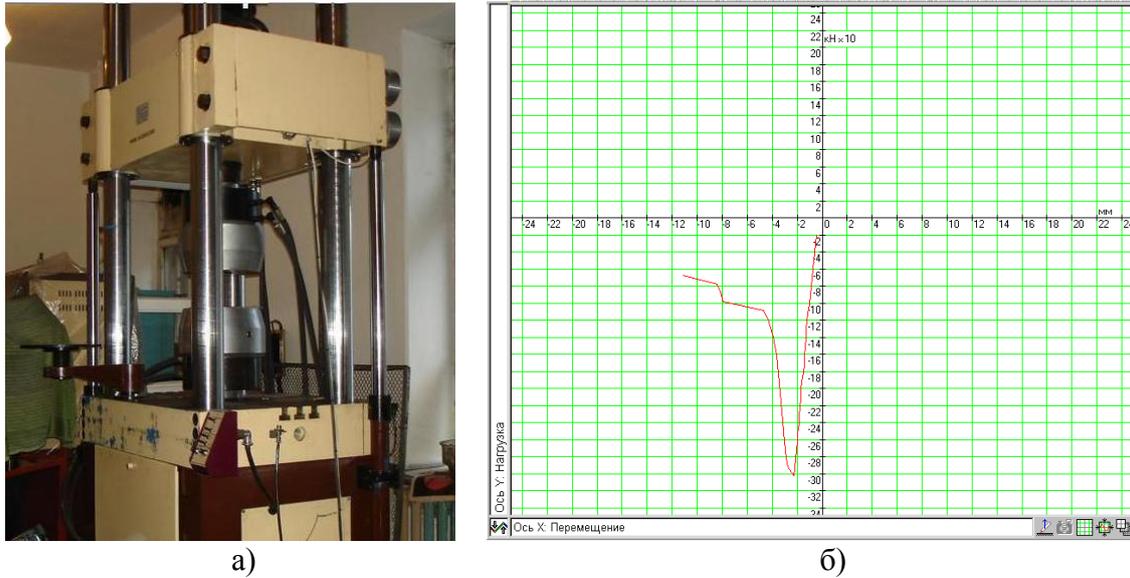


Рис. 4. Определение механических свойств контрольных образцов: а – испытательный комплекс ИК-500.01; б – график «напряжение-деформация» контрольного образца из мелкозернистого бетона



Рис. 5. Исследование бетонного блока экспресс-методом: а – диаграмма вдавливания индентора в стенку скважины в бетонном блоке; б – используемый индентор

Определение предела прочности бетона на одноосное сжатие на основании диаграм-

мы вдавливания осуществлялось с помощью специально разработанного пакета программ «Индентирование» v1.0 [21], позволяющего рассчитывать свойства твердых тел, исходя из усилия, необходимого для их контактного разрушения инденторами различной формы, а также объема лунки под индентором. В основе программы лежит моделирование разрушения твердого тела методом конечных элементов. Особенностью реализации пакета программ «Индентирование» v1.0 является использование авторского алгоритма расчета, обеспечивающего параллельное решение системы линейных уравнений методом исключения Гаусса применительно к сильно разреженным матрицам, имеющим ленточное строение [22].

Исходными данными для расчета служили форма индентора, усилие, при котором произошло контактное разрушение бетона, и объем лунки выкола. Среднее значение усилия на инденторе при 20 опытах составило 10625,53 Н, объем лунки - 3,43 мм<sup>3</sup>. Результаты расчета в пакете программ «Индентирование» v1.0 показали, что предел прочности на одноосное сжатие бетона равен 23,8 МПа. Полученный результат достаточно близок к определению этого показателя стандартным методом при испытании контрольных образцов. Предел прочности на одноосное сжатие бетона, определенный на ис-

пытательном комплексе ИК-500.01, составил 28 МПа.

Предварительная апробация разработанного экспресс-метода показала его практическую применимость и возможность использования для определения прочности горных пород в окрестности подземных горных выработок и планирования буровзрывных работ. В дальнейшем авторами предполагается проведение исследований, направленных на установление эмпирических зависимостей, связывающих прочностные свойства горной породы с показателями ее контактного разрушения инденторами различной формы.

Есть основания предполагать, что использование индентора в форме усеченного конуса с закругленной контактной частью (рис. 5, б) не всегда будет способно обеспечивать достаточную точность измерений в случае исследования крупнозернистых пород. В связи с этим, наиболее приемлемой может считаться форма индентора, способствующая охвату значительного количества зерен горной породы. Один из вариантов такого индентора приведен на рис. 6.

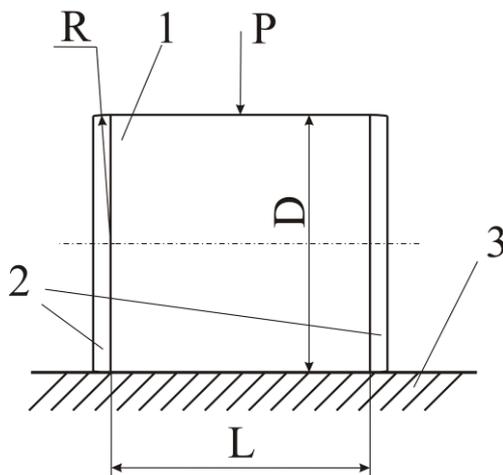


Рис. 6. Вариант индентора для реализации разработанного экспресс-метода определения прочностных свойств горных пород

На рис. 6 обозначено:

1 - тело индентора, выполненное в виде прямого кругового цилиндра диаметром  $D$ , равным его длине  $L$ ;

2 - торцы индентора, имеющие закругления радиусом  $R$ , равным радиусу прямого

кругового цилиндра, составляющего тело 1 индентора;

3 – испытываемая горная порода;

$P$  – усилие, прикладываемое к индентору.

Воздействие индентора на разрушаемую породу 3 осуществляется по образующей прямого кругового цилиндра, составляющего тело 1 индентора.

Достоинством такого индентора является возможность достижения его внедрения в испытываемую горную породу при меньшем усилии в сравнении с инденторами с плоской контактной поверхностью. Этот эффект обусловлен тем, что на начальном этапе проведения измерения взаимодействие индентора с горной породой осуществляется лишь по тонкой полосе контакта. Эта особенность также обеспечивает охват требуемого количества зерен горной породы для достижения приемлемой точности измерения (в сравнении с цилиндросферическими и коническими инденторами), и позволяет проводить исследование в скважинах, где не могут применяться инденторы с плоской контактной поверхностью.

Выполнение торцов индентора с закруглениями позволяет исключить наличие концентратора напряжений. В результате этого становится возможным получать приемлемые результаты измерения без основательного обеспечения параллельности образующей цилиндра и горной породы.

Дальнейшее проведение исследований планируется производить как на образцах горных пород в лабораторных условиях, так и на обнажениях массивов, расположенных в различных районах Кемеровской области. Бурение горной породы для получения керна и формирования скважин различного диаметра будет осуществляться установкой алмазного бурения Proalmaz PRO160LED-N. Для электроснабжения буровой установки и научного оборудования в полевых условиях будет использоваться бензиновый генератор Fubag BS 7500. Для проведения исследований в лабораторных условиях к настоящему моменту заготовлены образцы горной породы, включающие в себя уголь, белый и розовый мрамор, песчаник, песчанистый алевролит, известняк, мраморизованный известняк.

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации

Федерации для молодых российских ученых-кандидатов наук № МК-6689.2018.8

### Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». Серия 05. Выпуск 42. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. – 186 с.
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам (РД 05-328-99). Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов. Серия 05. Выпуск 2. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2011. – 304 с.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, (породы) и газа (РД 05-350-00). Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов. Серия 05. Выпуск 2. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2011. – 304 с.
4. Aydin A. ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2009. V 46. P. 627–634.
5. Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. 1978. V. 15. P. 89-97.
6. Rabia H, Brook N. Technical Note The Shore Hardness of Rock // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. 1979. V. 16. P. 335-336.
7. ISRM Suggested Method for the Needle Penetration Test / Ulusay R et al. // Journal Rock Mechanics and Rock Engineering. 2014. V. 47. P. 1073-1085.

### References

1. *Federaljnih normih i pravila v oblasti promishlennoj bezopasnosti «Instrukciya po raschetu i primeneniyu ankernoy krepki na ugoljnikh shakhtakh»*. Seriya 05. Vihpusk 42 [Federal norms and rules in the field of industrial safety «Instructions for the calculation and use of anchor lining in coal mines» Series 05. Issue 42]. Moskva, ZAO «Nauchno-tekhnicheskij centr issledovaniy problem promishlennoj bezopasnosti», 2015. 186 p. (In Russian)
2. *Instrukciya po bezopasnomu vedeniyu gornikh rabot na shakhtakh, razrabatihvayutikh ugoljnihe plastih, sklonnihe k gornim udaram (RD 05-328-99). Preduprezhdenie gazodinamicheskikh yavleniy v ugoljnikh shakhtakh: Sbornik dokumentov. Seriya 05. Vihpusk 2* [Instructions for safe mining in mines that develop coal seams that are prone to rock bursts (RD 05-328-99). Warning of gas-dynamic phenomena in coal mines: Collection of documents. Series 05. Issue 2]. Moskva, ZAO «Nauchno-tekhnicheskij centr issledovaniy problem promishlennoj bezopasnosti», 2011. 304 p. (In Russian)
3. *Instrukciya po bezopasnomu vedeniyu gornikh rabot na plastakh, opasnikh po vnezapnim vihbrozam uglya, (porodih) i gaza (RD 05-350-00). Preduprezhdenie gazodinamicheskikh yavleniy v ugoljnikh shakhtakh: Sbornik dokumentov. Seriya 05. Vihpusk 2* [Instructions for the safe conduct of mining operations in formations hazardous from sudden outbursts of coal, (rock) and gas (RD 05-350-00). Prevention of gas-dynamic phenomena in coal mines: Collection of documents. Series 05. Issue 2]. Moskva, ZAO «Nauchno-tekhnicheskij centr issledovaniy problem promishlennoj bezopasnosti», 2011. – 304 p. (In Russian)
4. Aydin A. ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version. *International Journal of Rock Mechanics & Mining*

8. Suggested Method for Determining Point Load Strength // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*. 1985. V. 22. P. 51-60.
9. Корнеев, В.А. Обоснование и разработка нового экспресс-метода определения прочностных свойств горных пород / В.А. Корнеев // *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: материалы Межд. научн.-практ. конф. - Новокузнецк, СибГИУ, 2018. - С. 252-255.*
10. Штаерман, И.Я. Контактная задача теории упругости / И.Я. Штаерман. - М.: Гостехиздат, 1949. - 271 с.
11. Расчеты на прочность в машиностроении. Т. II / С.Д. Пономарев [и др.]; под ред. С.Д. Пономарева. - М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1958. - 974 с.
12. Барон, Л. И. Контактная прочность горных пород / Л.И. Барон, Л.Б. Глатман. - М.: Недра, 1966. - 227 с.
13. Барон, Л.И. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Научно-методические основы. Разрушение резцовым инструментом / Л.И. Барон, Л.Б. Глатман, Е. К. Губенков. - М.: Наука, 1968. - 216 с.
14. Барон, Л.И. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Разрушение шарошками / Л.И. Барон, Л.Б. Глатман, С.Л. Загорский. - М.: Наука, 1969. - 152 с.
15. Барон, Л.И. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Разрушение тангенциальными инструментами / Л.И. Барон. - М.: Наука, 1973. - 172 с.
16. Крапивин, М.Г. Горные инструменты / М.Г. Крапивин. - М.: Недра, 1979. - 264 с.
17. А.с. 1173826 СССР, МКИ<sup>3</sup> E21C 39/00. Способ Л.Т. Дворникова - Н.И. Наумкина определения энергоемкости разрушения горных пород и устройство для его реализации / Дворников Л.Т., Наумкин Н.И. - № 3665714/03; заявлено 25.11.83; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.
18. Пугачев, Е.В. Методика оценки прочности горных пород в окрестностях скважины, пробуренной из горной выработки / Е.В. Пугачев, В.А. Корнеев, П.А. Корнеев // *Вестник Сибирского государственного университета. 2009. V 46. P. 627-634.*
5. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*. 1978. V. 15. P. 89-97.
6. Rabia H, Brook N. Technical Note The Shore Hardness of Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*. 1979. V. 16. P. 335-336.
7. Ulusay R. et al. ISRM Suggested Method for the Needle Penetration Test. *Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2014. V. 47. P. 1073-1085.
8. Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*. 1985. V. 22. P. 51-60.
10. Korneev V.A. Justification and development of a new rapid method for determining the strength properties of rocks. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispoljzovaniya mineralnykh resursov* [High technology development and use of mineral resources]. Novokuzneck, SibGIU, 2018, pp. 252-255. (In Russian)
11. Shtaerman I.Ya. *Kontaktnaya zadacha teorii uprugosti* [The contact problem of the theory of elasticity]. Moscow, Gostekhizdat, 1949. 271 p. (In Russian)
12. Ponomaryov S.D., Biderman V.L., Likharev K.K., Makushkin V.M., Malinin N.N. Feodosjev V.I. *Raschety na prochnost v mashinostroenii. Tom II* [Strength calculations in mechanical engineering. Volume II]. Moscow, Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoy literatury, 1958. 974 p. (In Russian)
13. Baron L.I., Glatman L.B. *Kontaktnaya prochnost gornyx porod* [Contact strength of rocks]. Moskva, Nedra, 1966. 227 p. (In Russian)
14. Baron L.I., Glatman L.B., Gubenkova E.K. *Razrushenie gornikh porod prokhodcheskimi kombaynami. Nauchno-metodicheskie osnovy. Razrushenie rezcovym instrumentom* [The destruction of rocks roadheaders. Scientific and methodological foundations. Destruction with a tool]. Moscow, Nauka, 1968. 216 p. (In Russian)

венного индустриального университета. – 2015. – № 2 (12). – С. 42–45.

19. Корнеев, В.А. Устройство для определения прочностных свойств горных пород экспресс-методом / В.А. Корнеев // Автоматизация и измерения в машиноприборостроении. – 2018. – № 4. – С. 88-94.

20. Дворников, Л.Т. Энергоемкость процесса разрушения горных пород как основной критерий оценки эффективности конструкций породоразрушающего инструмента / Л.Т. Дворников, В.И. Клишин, С.М. Никитенко, В.А. Корнеев, К. Климович // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: материалы Межд. научн.-практ. конф. - Новокузнецк, СибГИУ, 2016. – С. 540-545.

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012612864 РФ. «Индентирование» v1.0 / Корнеев В. А. – № 2012610794; заявл. 08.02.2012; опубл. 22.03.2012. – 1 с.

22. Корнеев, В. А. Реализация высокопроизводительных методов вычислений в задачах геомеханики / В. А. Корнеев // ГИАБ. – 2012. – № 2. – С. 383 – 385.

15. Baron L.I., Glatman L.B., Zagorskiy S.L. *Razrushenie gornihkh porod prokhodcheskimi kombayjami. Razrushenie sharoshkami* [The destruction of rocks roadheaders. Destruction by cones]. Moscow, Nauka, 1969. 152 p. (In Russian)

16. Baron L.I. *Razrushenie gornihkh porod prokhodcheskimi kombayjami. Razrushenie tangencialnihmi instrumentami* [The destruction of rocks roadheaders. Tangential tool destruction]. Moscow, Nauka, 1973. 172 p. (In Russian)

17. Krapivin M.G. *Gornihe instrumentih* [Mining tools]. Moscow, Nedra, 1979. 264 p. (In Russian)

18. Certificate of authorship SU 1173826. *Sposob L.T. Dvornikova – N.I. Naumkina opredeleniya ehnergoemkosti razrusheniya gornihkh porod i ustroyjstvo dlya ego realizacii* [Method L.T. Dvornikov - N.I. Naumkin determine the energy intensity of the destruction of rocks and device for its implementation]. Dvornikov L.T., Naumkin N.I. Declared 25.11.83. Published 10.08.2015. Bulletin No. 22. (In Russian)

19. Pugachev E.V., Korneeve V.A., Korneeve P.A. Method of assessing the strength of rocks in the vicinity of the well drilled from the mine workings. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialjnogo universiteta*, 2015, No. 2 (12), pp. 42–45. (In Russian)

20. Korneeve V.A. Device for determining the strength properties of rocks by the express method. *Avtomatizaciya i izmereniya v mashino-priborostroenii*, 2018, No. 4, pp. 88-94. (In Russian)

21. Dvornikov L.T., Klishin V.I., Nikitenko S.M., Korneeve V.A., Klimkovich K. The energy intensity of the process of destruction of rocks as the main criterion for evaluating the effectiveness of structures rock cutting tool. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnihkh resursov* [High technology development and use of mineral resources]. Novokuzneck, SibGIU, 2016, pp. 540-545. (In Russian)

22. Korneeve V.A., «Indentirovanie» v1.0. *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [«Indentation» v 1.0. The Certificate on official registration of the com-

- ‡ [puter program]. No. 2012610794, 2012.  
‡ 23. Korneev V.A. Implementation of high-  
‡ performance computing methods in problems  
‡ of geomechanics. *Gornyy informatsionno-*  
‡ *analiticheskiy byulleten*, 2012, No. 2, pp. 383–  
‡ 385. (In Russian)  
‡