

9. Dmitrievsky, A. N., Valyaev, B. M., Smirnova, M. N. Mechanisms, scales and rates of replenishment of oil and gas deposits during their development. *The genesis of oil and gas*. Moscow, GEOS Publ., 2003, pp. 106–109.
10. Zapivalov, N. P. Fluidodynamic foundations of the rehabilitation of oil and gas fields, assessment and the possibility of increasing active residual reserves. *Georesources*, 2000, no. 3, pp. 11–13.
11. Kontorovich, A. Оч. Essays on the theory of naftidogenesis. Selected Articles. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2004, 545 p.
12. Kropotkin, P. N. Degassing of the Earth and the genesis of hydrocarbons. *Journal of the All-Union Chemical Society. D. I. Mendeleev*, 1986, vol. 31, no. 5, pp. 540–547.
13. Muslimov, R. Kh., Izotov, V. G., Sitdikova, L. M. The influence of the fluid regime of the crystalline basement of the Tatar arch on the regeneration of reserves of the Romashkinskoye field. *New ideas in earth sciences*. Moscow, MGGA Publ., 1999, vol. 1, p. 264.
14. Muslimov, R. Kh., Glumov, N. F., Plotnikova, I. N., Trofimov, V. A., Nurgaliev, D. K. Oil and gas fields – self-developing and constantly renewable objects. *Oil Geology and gas*, 2004, special issue, pp. 43–49.
15. Sokolov, B. A., Gusev, A. N. On the possibility of rapid modern generation of oil and gas. *Bulletin of Moscow University. Series 4 “Geology”*, 1993, no. 3, pp. 39–46.
16. Trofimov, V. A., Korchagin, V. I. Oil supply channels: spatial position, detection methods and methods for their activation. *Georesources*, 2002, no. 1 (9), pp. 18–23.

РАЗРАБОТКА ЕДИНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Чэнь Яньлинь, магистрант, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: yanlinchen951003@gmail.com

Моторова Ксения Александровна, кандидат технических наук, специалист, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: motorova.ks@yandex.ru

Развитие геологоразведочных работ подтверждает, что скорость разрушения и абразивность горных пород оказывают большое влияние на эффективность освоения новых перспективных геологических объектов. В работе изложены результаты лабораторных экспериментов геологической оценки разрушительных свойств различных литологических образцов пород. Для проведения литологических исследований разработан анализатор разрушения (изнашиваемости) пород, подготавливаются образцы горных пород и обосновываются основные параметры исследований: стандартные объёмы пород, объём разрушения и скорость изменения свойств пород. В работе предложены новые методы определения абразивности горных пород, обоснованы новые показатели относительной интенсивности износа, исследованы зависимости между показателями скорости и объемами разрушения горных пород в виде экспоненциальной зависимости.

Ключевые слова: порода, скважина, разрушение пород, абразивность пород, износ, эксперимент

DEVELOPMENT OF A UNIFIED METHOD FOR EVALUATING THE PROPERTIES OF ROCK

Chen Yanlin, undergraduate, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation, e-mail: yanlinchen951003@gmail.com

Motorova Kseniya A., Ph. D. in Engineering, Specialist, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation, e-mail: motorova.ks@yandex.ru

The development of exploration provides high efficiency in the development of new promising geological objects. Geological assessment of the destructive properties of various lithological rock samples. To conduct lithological studies, an analysis of rocks (amenable to analysis of rock samples) was developed and the main research parameters were substantiated. The paper proposes new methods for determining the abrasiveness of rocks, substantiates new indicators of the relative intensity of wear, explores the relationship between the rate and volume of destruction of rocks in the form of an exponential dependence.

Keywords: rock, well, rock destruction, rock abrasiveness, wear, experiment

Одним из основных свойств горных пород, которые характеризует степень их разрушения на забое скважины, является плотность. Абразивность – способность горных пород изнашивать в процессе трения металлы и твёрдые сплавы, что приводит к износу геологических оборудования и инструментов, а также к потере первоначальных функций геологоразведочных работ [1; 6]. Плотность и абразивность пород имеют широкий диапазон изменений и контрольных значений при освоении нефтяных и газовых месторождений [5]. Несмотря на некоторые исследования по усовершенствованию методов испытания плотности и абразивности пород, до сих пор нет однозначного метода оценки взаимосвязи разрушения и абразивности пород [2; 4].

В работе предложены усовершенствованные методы оценки объёмов истирания образцов породы, тест на разрушение, тест на абразивность пород и технология корреляции между объемом разрушения породы и её плотностью. Выявление зависимости даёт возможность одновременно измерять абразивность и истирание пород. Это имеет большое значение для экономических затрат и сокращения периода строительства [3].

Для изучения метода одновременной оценки плотности и абразивности горных пород необходимо, в первую очередь, обосновать технологии испытаний на абразивность. Абразивность породы определяется методами лабораторного сверления. Для измельчения и сверления в породе (рис. 1) к микробитам прикладываются давление и крутящий момент. Относительный коэффициент абразивности породы (W) рассчитывается как сумма объемов износа первой и второй стандартной детали к объёму испытываемой породы (1).

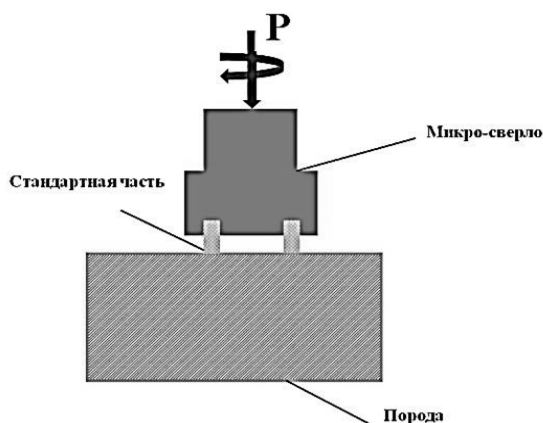


Рис. 1. Принципиальная схема метода испытаний на абразивность пород

$$W = \frac{\Delta V_1 + \Delta V_2}{\Delta V}, \quad (1)$$

где W – относительный коэффициент абразивности породы; ΔV_1 и ΔV_2 – объёмы износа первой и второй стандартных деталей соответственно; ΔV – объём износа горной породы (2):

$$\Delta V = \pi H D^2 / 4, \quad (2)$$

где H – высота износа горной породы; D – расстояние между двумя крайними точками стандартных деталей.

Подготовка стандартных деталей для шлифования осуществляется с использованием 95 % 663 бронзы и 5 % стеарата цинка (рис. 2). Данные детали фиксируются на корпусе биты, при этом расстояние между отверстиями может регулироваться, внутренний диаметр отверстий составляет 8 мм.

В качестве образцов породы использовались (рис. 3, слева направо): мрамор, гранит А (красный), гранит В (белый), гранит С (чёрный), песчаник (60 % песка, $P_{\text{прес}} = 50$ МПа). Песчаник представляет собой кубический образец породы размером $80 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100$ см.



Рис. 2. Стандартные детали для шлифования пород

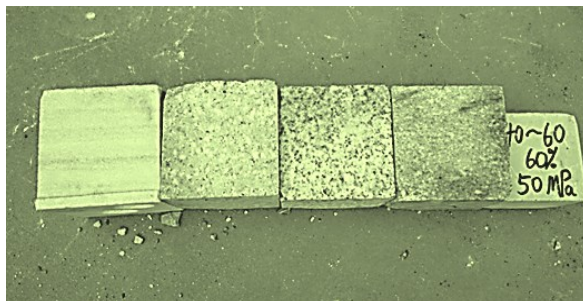


Рис. 3. Литологические образцы пород

Эксперименты на буримость проводились при давлении на породы в 150 кг, скорости вращения 200 об./мин., скорости поворотного стола 8 об./мин. и охлаждения за счёт циркуляции чистой воды.

Каждый цикл экспериментов проводился в течение 30 мин., в результате которого измерялся объём стандартной детали и высота образца породы до и после эксперимента. Чтобы повысить точность экспериментальных данных, каждый образец измерялся три раза. Были рассчитаны объём износа породы (ΔV) и стандартных деталей (ΔV_1 , ΔV_2) и обоснованы средние арифметические значения. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний породы на абразивность

Показатели	Мрамор	Гранит А	Гранит В	Гранит С	Песчаник
$\Delta V_1 + \Delta V_2$, мм ³	35,3	7,33	18,68	7,07	66,20
ΔV , см ³	12,8	3,4	8,2	4,1	42,8
W , %	0,276	0,213	0,227	0,172	0,397

Для представленных пяти литологических образцов пород изучались зависимости между показателями разрушения (K) и абразивности горных пород. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний породы на разрушение

Показатели	Мрамор	Гранит А	Гранит В	Гранит С	Песчаник
t , с	50	695	79	322	29
K , мм/с	0,048	0,00345	0,0303	0,00746	0,0835

Показатели разрушения пород (K) и объёмы их износа (ΔV) анализировались односторонней регрессией. Результаты регрессии приведены в таблице 3.

Таблица 3

Зависимости между показателями разрушения и объёмами износа пород

Тип регрессии	Формула	R^2
Экспоненциальная функция	$\Delta V = 3.1e^{3.1K}$	0,997
Линейные отношения	$\Delta V = 469.3K - 1.95$	0,880
Логарифмическая функция	$\Delta V = 9.4 \ln K + 51$	0,577
Степенной функция	$\Delta V = 145.66K^{0.71}$	0,854

Согласно результатам регрессии, наилучшее совпадение достигается с помощью экспоненциальной функции (рис. 4). При понижении коэффициента разрушения (K), твердости породы, увеличивается относительный коэффициент абразивности пород.

$$\Delta V = 3.1e^{3.1K}. \quad (3)$$

$$K = \frac{\ln \frac{\Delta V}{3.1}}{3.1}. \quad (4)$$

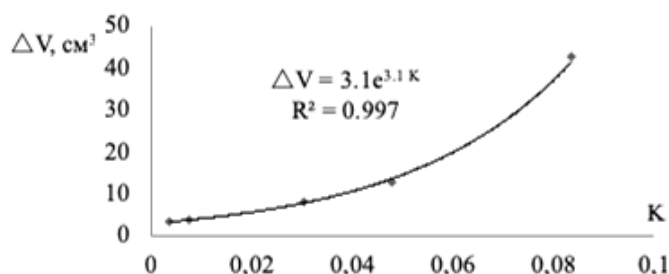


Рис. 4. Зависимость между показателями скорости разрушения и объёмами разрушения горных пород

Выводы:

1. В качестве показателя абразивности горных пород установлен объём износа разрушенной стандартной породы.
2. Регрессионный анализ между показателями разрушения горных пород и объёмами износа породы подтверждает, что наиболее достоверные результаты экспериментального изучения свойств горных пород достигаются с помощью экспоненциальной функции в виде регрессионных зависимостей.

Список литературы

1. Середина, Н. Г. Бурение нефтяных и газовых скважин / Н. Г. Середина, Е. М. Соловьев – Москва : Альянс, 2011. – 456 с.
2. Справочник по бурению геологоразведочных скважин / И. С. Афанасьев, Г. А. Блинов, Н. Н. Бухарев и др. – Санкт-Петербург : Недра, 2000. – 712 с.
3. Drillability assessments in hard rock / F. J. Macias [et al.] // Nordic Rock Mechanics Symposium. – 2017.
4. Simpson, J. P. Studies dispel myths, give guidance on formulation of drilling fluids for shale stability / J. P. Simpson, T. O. Walker, J. K. Aslakson // IADC/SPE Drilling Conference, 3–6 March, Dallas, Texas. – 1998.
5. Опарин, В. Н. Оценка абразивной способности горных пород по их физико-механическим свойствам / В. Н. Опарин, А. С. Танайно // ФТПРПИ. – 2009. – № 3.
6. Вадецкий, Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин / Ю. В. Вадецкий. – 6-е изд., испр. – Москва : Академия, 2011. – 352 с. – ISBN 978-5-7695-7788-8.

References

1. Sereda, N. G., Solovev, E. M. *Drilling of oil and gas wells*. Moscow, Alliance Publ., 2011, 456 p.
2. Afanasyev, I. S [et al.]. *Handbook of drilling exploration wells*. St. Petersburg, Nedra Publ., 2000, 712 p.
3. Macias, F. J. [et al.]. Drillability assessments in hard rock. *Nordic Rock Mechanics Symposium*, 2017.
4. Simpson, J. P., Walker, T. O., Aslakson, J. K. Studies dispel myths, give guidance on formulation of drilling fluids for shale stability. *IADC/SPE Drilling Conference, 3–6 March, Dallas, Texas*, 1998.
5. Oparin, V. N., Tanaino, A. S., Evaluation of the Abrasive Ability of Rocks by Their Physics. mechanical properties. *FTPRPI*, 2009, no. 3.
6. Vadetsky, Yu. V. *Drilling oil and gas wells*. 6th ed., rev. Moscow, Academy Publ., 2011, 352 p. ISBN 978-5-7695-7788-8.