

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКАЛЬНЫХ
ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

В. Д. Кулинич, В. В. Воробьев, В. Н. Чебенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Рассмотрено влияния насыщения горных пород, характерных для карьеров Кременчугского региона, растворами поверхностно-активных веществ на изменение их прочностных характеристик. Специально подобранные концентрации растворов поверхностно-активных веществ и время их воздействия могут существенно влиять на свойства горных пород, а именно – снижать их прочность от 20 до 50 %, а, следовательно, и модуль упругости породы. Представлен анализ скорости сверления (как аналог бурения) при использовании в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости поверхностно-активных веществ для пород, разных по происхождению. Установлено, что необходимо дальнейшее исследование влияния обработки активными растворами отдельных зон шпура на изменение характера разрушения и величины перебура.

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, прочность, шпур, бурение, гранит, лабрадорит, порода.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН
НА МІЦНОСТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКЕЛЬНИХ
ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ РІЗНИХ ТИПАХ ВПЛИВУ**

В. Д. Кулинич, В. В. Воробйов, В. М. Чебенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Розглянуто вплив насичення гірських порід, характерних для кар'єрів Кременчуцького регіону, розчинами поверхнево-активних речовин на зміну їх міцностних характеристик. Специально підібрані концентрації розчинів поверхнево-активних речовин і час їх дії можуть істотно впливати на властивості гірських порід, а саме – знижувати їх міцність від 20 до 50%, а, отже, і модуль пружності породи. Представлено аналіз швидкості свердління (як аналог буріння) при використанні в якості мастильно-охолоджувальної рідини поверхнево-активних речовин для порід, різних за походженням. Встановлено, що необхідно подальше дослідження впливу обробки активними розчинами окремих зон шпуру на зміну характеру руйнування і величини перебуру.

Ключові слова: поверхнево-активна речовина, міцність, шпур, буріння, граніт, лабрадорит, порода.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Практически все технологические процессы, связанные с отделением и дальнейшей обработкой блоков горных пород, предполагают формирование или образование трещин [1]. Для прочных горных пород этот процесс является одним из наиболее энергозатратных, поэтому в этом

направлении продолжается поиск новых и усовершенствование существующих методов разрушения горных пород. Перспективным средством повышения трещинообразования и, следовательно, разрушения горных пород является использование поверхностно-активных веществ (ПАВ), действие которых основано на адсорбционном понижении поверхностной энергии тел (эффект Ребиндера). ПАВ давно и успешно используются в самых различных областях промышленного производства [2]. Однако, не смотря на очевидную эффективность их применения, широкого распространения в горной практике они не получили из-за слабой разработанности теоретической и методической основ.

В настоящее время разрушение горных пород рассматривается как сложный физико-химический процесс, характер развития которого зависит от величины и скорости приложения нагрузки, напряженного состояния объекта, его прочности и структурных свойств. В соответствии с этим рациональным является рассмотрение этого процесса на микроскопическом уровне [3], в рамках которого разрушение возникает в месте контакта разрушающего элемента с породой и сопровождается разрывом связей между зернами или нарушением химических связей в кристалле, появлением микротрещин, а также его сдвигом вдоль поверхностей скольжения.

Система дефектов даже в наиболее хорошо образованных кристаллах создаёт зародыши, на которых, начиная с самых малых деформаций, развиваются микротрещины. Их вероятнейшие размеры, а, следовательно, и размеры в устьях, непрерывно увеличиваются с возрастанием деформации, вместе с тем растёт и величина адсорбционного эффекта. ПАВ, содержащиеся в среде, окружающей деформируемое тело, адсорбируясь на его внешней поверхности и проникая в устья микротрещин, должны облегчать их развитие до активных размеров и этим способствовать образованию пластических сдвигов.

Насыщение пород активными растворами определяется величиной и характером пористости пород, их начальной влажностью, типом раствора ПАВ, напряженным состоянием массива и др. [4, 5]. Также необходимо отметить, что проникновение в породу ПАВ способствует процессу развития микротрещин и изменению их параметров [6].

В последнее время ПАВ начали использовать в качестве наполнителя для вставок в забоечный материал, в виде оболочки вокруг заряда, растворами ПАВ напитывают горную породу непосредственно перед проведением буровзрывных работ [7] и т.д. Однако при этом не всегда учитывается тот факт, что раствор ПАВ может попадать в породу еще в процессе бурения, потому как в состав буровых растворов и смазывающе-охлаждающих жидкостей зачастую входят ПАВ (например, эмульсионные промывочные жидкости) [8].

С этой точки зрения, а также учитывая тот факт, что для карьеров Кременчугского региона характерны магматические породы такие, как гранит и лабрадорит, актуальной задачей является исследование влияния насыщения данных горных пород растворами ПАВ, на изменение их прочностных характеристик.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Выбор эффективных растворов ПАВ, их оптимальной концентрации и определение времени насыщения породных массивов активными растворами является одной из основных за-

дач изучения процесса изменения поверхностного натяжения. В [9] при использовании в качестве ПАВ раствора, состоящего из анионоактивных ПАВ (15–30 %), неионогенных ПАВ (<5 %) с концентрацией 1:6 (ПАВ : вода) установлено, что оптимальное время насыщения составляет 1,5-2 часа. При этом достигается максимальное снижение прочности горных пород, а, следовательно, уменьшение энергозатрат последующего механического дробления.

В первой серии экспериментов пять произвольно выбранных моделей из лабрадорита и гранита – эталонные образцы – разрушали статической нагрузкой, создаваемой испытательной машиной EDZ–100, и определяли их предел прочности при одноосном сжатии. Размеры образцов - 40x40x40 мм. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Предел прочности эталонных образцов из горных пород

| Порода | Среднее значение предела прочности при одноосном сжатии, МПа |
|------------|--|
| Лабрадорит | 98,7 |
| Гранит | 151,5 |

Далее изучали изменение прочностных характеристик горных пород под воздействием ПАВ, для чего одни образцы помещали в раствор ПАВ, а другие – в дистиллированную воду, где выдерживали их в течение одного и того же времени. После этого образцы нагружали статической нагрузкой до разрушения, определяя их предел прочности. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Изменение предела прочности образцов после воздействия на них воды и раствора ПАВ

| Порода | Жидкость | Предел прочности, МПа | Относительное изменение предела прочности, % |
|------------|----------|-----------------------|--|
| Лабрадорит | ПАВ | 72,68± | 26,4 |
| | Вода | 90,3± | 8,5 |
| Гранит | ПАВ | 106,5± | 29,7 |
| | Вода | 135,7± | 10,4 |

Данные табл. 2 позволяют сделать выводы, что насыщение скальной горной породы раствором ПАВ, а также – водой, снижает показатели прочности: для лабрадорита и для гранита прослеживается уменьшение прочности на 25-30 % при использовании раствора ПАВ, и на 8-10 % - при использовании воды.

Нужно заметить, что в реальных условиях при производстве буровзрывных работ насыщение блока можно осуществить только по двум поверхностям, однако практически выполнить это довольно сложно. Наиболее приемлемым способом может стать насыщение породы через уже пробуренные скважины. Для оценки изменения прочности в этом случае были проведены лабораторные экс-

перименты, в которых изучали изменение прочностных характеристик горных пород под воздействием ПАВ и воды, заполняющих шпуры, просверленные в образцах. Модели выдерживали в течение одного часа, после чего нагружали вдоль оси шпура статической нагрузкой до разрушения, определяя их предел прочности. Для сравнения также нагружались аналогичные образцы без насыщения жидкостью.

Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Изменение предела прочности горных пород при насыщении поверхности шпура

| Порода | Жидкость | Предел прочности, МПа | Относительное изменение предела прочности, % |
|------------|----------|-----------------------|--|
| Лабрадорит | Эталон | 89,9± | - |
| | ПАВ | 81,3± | 9,6 |
| | Вода | 86± | 4,3 |
| Гранит | Эталон | 118,2± | - |
| | ПАВ | 104,7± | 11,4 |
| | Вода | 111,4± | 5,7 |

Анализ полученных результатов (табл. 3) показывает, что насыщение модели даже через шпуры также влияет на изменение прочностных характеристик (для лабрадорита происходит снижение прочности на 4,3 % при использовании воды и на 9,6 % при использовании раствора ПАВ; для гранита эти значения составляют 5,7 % и 11,4 % соответственно).

Исходя из полученных данных, мы можем сделать заключение, что еще одним существенным фактором, влияющим на понижение прочности горных пород, является площадь взаимодействия жидкости непосредственно с породой. Так, данный параметр для второй серии экспериментов, когда обрабатывалась боковая поверхность полностью, равен 96 см², в то время как в третьей серии экспериментов воздействию подвергались только стенки шпура, площадь которых равна 11,7 см². То есть почти в 8 раз меньше. Если теперь сопоставим изменение прочности, то увидим, что при обработке боковой поверхности лабрадорита раствором ПАВ или водой прослеживается уменьшение показателей прочности в 3 раза, при обработке гранита – в 2,5 раза.

В соответствии с полученными результатами проводились дальнейшие исследования в области поиска новых экономических и технологических решений попадания раствора ПАВ в шпур. Для этой цели рассматривали влияние наличия ПАВ в составе СОЖ (промывочной жидкости или бурового раствора) на изменение скорости бурения. Испытания проводили на вертикально-сверлильном станке (2Н118) [10]. В образцах сверлили отверстие диаметром 5 мм и глубиной 25 мм. При этом, в зону сверления подавали в первом случае воду, а во втором - раствор ПАВ (1:6) [9]. При помощи секундомера засекали время, необходимое для сверления отверстия с заданной глубиной. Результаты измерений приведены в табл. 4.

Таблиця 4 – Время сверления образцов при подаче воды и раствора ПАВ

| Порода (предел прочности на сжатие, МПа) | Время сверления (сек.) при использовании | | Изменение времени сверления (t/t^*) |
|--|--|-------------------------|---|
| | воды, (t) | раствора ПАВ, (t^*) | |
| Гранит (151,5) | 35,5 ±0,1 | 22,9 ±0,1 | 1,55 |
| Лабрадорит (98,74) | 33,1 ±0,1 | 23,3 ±0,1 | 1,42 |

Результаты, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о том, что использование ПАВ в качестве СОЖ эффективно для гранита и лабрадорита, которые характеризуются высоким пределом прочности и позволяет на 40-55 % уменьшить время, затрачиваемое на процесс сверления.

ВЫВОДЫ. Проведенный анализ и эксперименты позволили установить следующее:

1. Специально подобранные концентрации растворов ПАВ и время их воздействия могут существенно влиять на свойства горных пород (снижают прочность от 20 до 50 %, а, следовательно, и модуль упругости породы), и тем самым позволяют уменьшить энергозатраты на последующих технологических циклах переработки горной массы.

2. Установлено, что для исследованных горных пород снижение прочности за счет взаимодействия с ПАВ пропорционально площади обработанной поверхности.

3. Для производственных условий наиболее рациональной является обработка раствором ПАВ стенок скважин. При этом может быть достигнуто снижение прочности породы в ближней зоне до 10 – 15 %.

4. Перспективным является изучение влияния обработки активными растворами отдельных зон шпура на изменение характера разрушения и величины перебура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vorobyov V., Pomazan M., Shlyk S., Vorobyova L. (2017), “Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 1(87), pp. 53–62, ISSN 1729-4061.

2. Долударева Я.М., Лемижанська В.Д., Козловська Т.Ф., Комир А.І. Вплив поверхнево-активних речовин у зоні руйнування гірських порід на інтенсивність дроблення під дією імпульсних навантажень // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 4(130). – С. 93–97.

3. Особенности поведения крепких скальных пород при импульсном воздействии взрыва зарядов промышленных взрывчатых веществ / В.М. Комир, Я.С. Долударева, Т.Ф. Козловская, В.Н. Долударев, В.Д. Лемижанская, А.И. Комир // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 6/2011(71). – С. 123–127.

4. Сынбулатов В.В. Кинетика насыщения горных пород активными растворами // *Материалы Уральской горнопромышленной декады 3-13 апреля 2006.* — Екатеринбург: УГГУ, 2006 г. — С. 19–20.

5. Влияние импульсных неразрушающих нагрузок на изменение прочностных характеристик горных пород / В.М. Комир, Я.С. Долударева, И.Э. Пеева, С.М. Мыслицкий // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ.* — Кременчук: КДПУ, 2004. — Вип. 4/2004(27). — С. 135–138.

6. Сынбулатов В.В. Направленное изменение деформационных характеристик горных пород поверхностно-активными веществами // *Материалы Уральской горнопромышленной декады 4-14 апреля 2005.* Екатеринбург: УН У, 2005 г. — С. 19–20.

7. Поверхностно-активные вещества как дестабилизаторы упруго-пластических свойств горных пород / В.Д. Кулинич, Я.С. Долударева, В.Н. Долударев, Т.Ф. Козловская // *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник.* — Кременчук: КрНУ, 2013. — Вип. 2(12). — С. 11–20.

8. The main types of washing liquids used to drill wells in different geological conditions [<http://www.drillings.ru/typu?razdel=1&object=0>]

9. Кулинич В.Д. Влияние концентрации и времени воздействия поверхностно-активных веществ на прочностные характеристики скальных горных пород // *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник.* — Кременчук: КрНУ, 2013. — Вип. 2(12). — С. 40–50.

10. Воробйов В. В. On the influence of surface-active substances on the speed change of the mechanical processing of rocks / В. В. Воробйов, В.Д. Кулинич // *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва: науково-виробничий збірник.* — Кременчук: КрНУ, 2017. — Вип. 1/2017(19). — С. 28–32.

INFLUENCE INVESTIGATION OF SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF ROCKS DURING DIFFERENT TYPES OF IMPACT

V. Vorobyov, V. Kulynych, V. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Purpose. The influence of saturation of rocks, which are inherent to the quarries of the Kremenchuk region, with solutions of surfactants on the change of their strength characteristics is considered. **Methodology.** It was conducted a series of experiments to simulate real conditions. **Results.** It is established that for the rocks studied, the reduction in strength due to interaction with the surfactant is proportional to the area of the treated surface. For production conditions, the most rational is the treatment with a surfactant solution of the walls of the wells. At the same time, a reduction in rock strength in the near zone can be achieved up to 10-15%. Promising is the study of the effect of treatment with active solutions of individual zones of the hole on the change in the nature of the fracture and the size of the rebar. **Originality.** For the first time, we

have carried out that the processing even a hole have a significant effect on the strength characteristics of rocks . **Practical value.** Specially selected concentrations of surfactant solutions and the time of their action can significantly influence the properties of rocks (reduce the strength from 20 to 50%, and consequently, the modulus of elasticity of the rock), and thereby reduce energy costs in subsequent processing cycles of mining. References 10, tables 4.

Key words: surfactant, strength, hole, drilling, granite, labradorite, rock.

REFERENCES

1. Vorobyov, V., Pomazan, M., Shlyk, S., Vorobyova, L. (2017), “Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 1(87), pp. 53–62, ISSN 1729-4061.
2. Doludareva, Ya., Lemizhanska, V., Kozlovska, T., Komir, A. (2013) “The influence of surface-active substances in the region of rock destruction on the intensity of their fragmentation under the action of pulsed loads”, *Naukovij visnyk Natsionalnogo girnychogo universytetu*, vol. 4, no. 130, pp 93-97.
3. Komir, V., Komir, A., Doludareva, Ya., Doludarev, V., Lemizhanska, V., Kozlovska, T., (2011), “Behavioral features of solid rocks at impulsive impact of industrial explosives charges”, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 6, no. 71, pp. 123-127.
4. Synbulatov, V.V. (2006), “Kinetics of saturation of rocks with active solutions”, *Materialy Uralskoy gornopromyshlennoy dekady*, [Materials of Ural mining decade], Ekaterinburg, UGGU, April 3–13, 2006, pp. 19–20.
5. Komir, V., Doludareva, Ya., Pejeva, I., Myslitskyi, S. (2004), “Influence of the shape of the charge in the bottom of the hole on the degree of processing of the sole of the ledge”, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University*, vol. 4, no. 27, pp. 135-138.
6. Synbulatov, V.V. (2005), “Directional change of the deformation characteristics of rocks with surfactants”, *Materialy Uralskoy gornopromyshlennoy dekady*, [Materials of Ural mining decade], Ekaterinburg, UGGU, April 4–14, 2005, pp. 19–20.
7. Doludareva, Ya., Kulynych, V., Kozlovska, T., Doludarev, V. (2013), “Surfactants as destabilizers of elastoplastic properties of rocks”, *Suchasni resursoenergozberigauchi technologiii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 12, pp. 11-20.
8. The main types of washing liquids used to drill wells in different geological conditions <http://www.drillings.ru/typy?razdel=1&object=0>
9. Kulynych, V. (2013), “Study of the influence of concentration and impact time of surfactants on strength characteristics of rocks”, *Suchasni resursoenergozberigauchi technologiii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 12, pp. 40-50.
10. Vorobyov, V., Kulynych, V. (2017), “On the influence of surface-active substances on the speed change of the mechanical processing of rocks”, *Suchasni resursoenergozberigauchi technologiii girnychogo vyrobnytstva*, vol. 1, no. 19, pp. 28-32.

Стаття надійшла 19.12.2017.