

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-5-54-58

УДК 622.012.3:625

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБУЕМЫХ МАРОК МОРОЗОСТОЙКОСТИ И
ДРОБИМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ
КАРЬЕРНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ****JUSTIFICATION OF THE REQUIRED GRADES OF FROST RESISTANT AND
CRUSHABLE ROCKS FOR QUARRY ROADS SURFACING****Шаламанов Виктор Александрович,**

доктор техн. наук, профессор, e-mail: shalamanov49@mail.ru

Victor A. Shalamanov, Dr. Sc. in Engineering,**Бойко Дмитрий Васильевич,**

старший преподаватель, e-mail: dmitrii_boiko87@mail.ru

Dmitriy V. Boyko, senior lecturer

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennyaya street, Kemerovo,
650000, Russian Federation

Аннотация:

В Кузбассе постоянно растут объемы и себестоимость добычи угля открытым способом, в 2018 г. она превысила 165 млн тонн. Уменьшить себестоимость добычи угля открытым способом можно за счет использования углевмещающих горных пород при строительстве временных технологических дорог для автотранспорта.

Цель работы: обосновать возможность использования углевмещающих горных пород для устройства технологических дорог с учетом их морозостойкости и дробимости.

В работе обоснованы предложения по рекомендуемым маркам морозостойкости и дробимости горных пород, применяемых для устройства покрытий карьерных автомобильных дорог, на основе анализа влияния погодных-климатических условий и нагрузок от воздействия технологического автотранспорта на эксплуатационные показатели конструктивного слоя дорожной одежды.

В результате проведенных исследований установлено, что марка по дробимости горных пород в водонасыщенном состоянии нелинейно возрастает с увеличением скорости распространения продольных ультразвуковых волн, а требуемая марка по морозостойкости линейно возрастает с увеличением срока службы дорог и составляет для условий Кузбасса F15 до 2, F25 – от 2 до 3, F50 – от 3 до 7 и F100 – более 7 лет.

Ключевые слова: морозостойкость, дробимость, дорожное покрытие, технологические дороги.

Abstract:

In Kuzbass, the volume and cost of open-pit coal production are constantly growing, in 2018 it exceeded 165 million tons. It is possible to reduce the cost of open-pit coal mining by using carbon-containing rocks in the construction of temporary technological roads for vehicles.

Purpose: to substantiate the possibility of using overburden rocks for installation of technological roads, taking into account their frost resistance and crushing.

The paper substantiates the proposals for the recommended grades of frost resistant and crushable rocks used for the installation of coatings of quarry roads, based on the analysis of the impact of weather and climatic conditions and loads from the impact of technological vehicles on the performance of the structural layer of pavement.

As a result of researches it is established that the grade by rocks crushability in water-saturated state of a nonlinear increase with the increase of velocity of longitudinal ultrasonic waves, and the required grade by frost resistance linearly increases with the increase of the service life of roads and is for the conditions of Kuzbass to 2 F15, F25 – from 2 to 3, F50, from 3 to 7 and F100 – more than 7 years.

Keywords: frost resistance, crushability, road pavement, technological roads.

Таблица 1. Безразмерные коэффициенты функции отклика
Table 1. Dimensionless response function coefficients

Краткая характеристика пород	x	y	z
Алевриты мелкозернистые массивной текстуры	106.81	-0.072	0.000015
Песчаники крупнозернистые массивной текстуры	-13.71	0.00214	0.0000052
Песчаники среднезернистой массивной текстуры	48.08	-0.0376	0.00000987



Рис. 1. График зависимости марки по дробности песчаника среднезернистого в водонасыщенном состоянии от скорости распространения продольной волны

Fig. 1. Graph of the grade dependence by the crushability of medium-grained Sandstone in the water-saturated state on the velocity of the longitudinal wave propagation

Покрытие – один из важнейших элементов дорожной одежды карьерных автомобильных дорог, от состояния которого во многом зависят средняя скорость движения карьерного автотранспорта и, соответственно, его производительность. Учитывая, что транспортные затраты составляют от 40 до 70% от общих затрат на добычу угля, использование углевмещающих горных пород – один из основных способов снижения себестоимости добычи полезных ископаемых открытым способом.

Для устройства покрытий дорожных одежд могут применяться только плотные щебеночно-гравийно-песчаные смеси (раздробленные горные породы заданного гранулометрического состава), на практике проектные организации продолжают закладывать в проектной документации в качестве материала покрытия как однофракционный

щебень, так и щебень, устроенный по методу заклинки, однако это приводит к быстрому разрушению подобных конструктивных слоев, следовательно, низкой эффективности эксплуатации карьерного автотранспорта, что требует более глубокого изучения вопроса по эффективному применению раздробленных горных пород для устройства покрытий карьерных автомобильных дорог. Одним из основных нерешенных вопросов эффективного их применения остается определение марок по морозостойкости и дробимости.

Для обеспечения работоспособности дорожных одежд карьерных автомобильных дорог в течение заданного срока службы у раздробленных горных пород помимо гранулометрического состава также должны быть обоснованы и другие физико-механические характеристики, основные из

которых – марки по дробимости и морозостойкости [1-8].

Марка по дробимости на раздавливание в цилиндре – основная прочностная характеристика раздробленных горных пород, характеризующая интенсивность процесса измельчения зерен в процессе эксплуатации карьерных автомобильных дорог. По опыту эксплуатации автомобильных дорог общего пользования определены минимально допустимые марки по дробимости раздробленных горных пород, составляющие не ниже М600 для покрытий и М400 для оснований. Существуют методики определения предела прочности горных пород при одноосном сжатии, по скорости распространения ультразвуковых упругих волн применимые к массивам горных пород, а не к раздробленным горным породам. Следовательно, необходимо предложить способы, позволяющие достаточно быстро и точно оценить возможность применения горных пород в качестве материалов для устройства покрытий карьерных автомобильных дорог.

Одним из способов, удовлетворяющих поставленным условиям, является измерение времени и распространения ультразвукового импульса от излучателя к приемнику. Для его практического применения необходимо знать зависимость между пределом прочности горных пород на сжатие в водонасыщенном состоянии и скоростью распространения в них продольных ультразвуковых волн [9-13].

В условиях Кузбасса важное значение для решения всего комплекса задач по использованию углевмещающих горных пород в качестве дорожно-строительных материалов имеют их свойства при многократном замораживании и оттаивании, происходящие обычно в весенний и осенний периоды.

Нами были проведены исследования прочностных свойств горных пород Кузнецкого угольного бассейна, статистическая и математическая обработка которых позволила установить зависимость между маркой по дробимости углевмещающих горных пород в водонасыщенном состоянии и скоростью распространения в них продольных ультразвуковых волн:

$$M = 9.81 \cdot (x + y \cdot V_p + z \cdot V_p^2), \quad (1)$$

где M – марка по дробимости горной породы в водонасыщенном состоянии;

x, y, z – безразмерные коэффициенты функции отклика, зависящие от типа и разновидности горной породы (табл. 1);

V_p – скорость распространения продольной ультразвуковой волны, м/с.

Результаты лабораторных испытаний изменения марки по дробимости песчаника среднезернистого в водонасыщенном состоянии в зависимости от скорости распространения продольной ультразвуковой волны представлены графически на рис. 1.

Анализ результатов, полученных с использованием зависимости (1), показывает, что

крупнозернистый песчаник может применяться для устройства оснований без ограничений, а для устройства покрытий – при скорости распространения продольных ультразвуковых волн более 3600 м/с. Среднезернистый песчаник и мелкозернистые алевролиты практически непригодны для устройства покрытий и могут применяться только для устройства оснований при скорости распространения продольных ультразвуковых волн более 3500 м/с.

Выполненные нами лабораторные исследования морозостойкости углевмещающих горных пород показали, что многократное замораживание и оттаивание пород в сухом состоянии (при влажности не более 2,5-3%) не приводит к существенному снижению механических свойств, у песчаников и алевролитов предел их прочности при сжатии и растяжении снизился на 2-6%, скорость распространения продольных ультразвуковых волн – на 0,8-1,6%.

Водонасыщение пород сопровождается снижением их прочности при сжатии и растяжении в 1,1-3 раза и более, замораживание их приводит к росту прочности в 1,2-2,5 раза, а скорости ультразвуковых волн – в 1,05-1,23 раза.

Замораживание на воздухе водонасыщенных пород приводило к увеличению их прочности в 1,1-1,2 раза. Наиболее существенный рост прочности в этом режиме отмечался у пород, сложенных на глинистом и известково-глинистом цементах.

При многократном замораживании и оттаивании в воде водонасыщенных пород у подавляющего большинства из них отмечалось снижение прочности (по сравнению с прочностью водонасыщенных пород) на 4-10%. Довольно заметно снижалась прочность (на 3-15 %) слабых пород, сложенных в основном на глинистом и глинисто-известковом цементах. У этих пород под воздействием воды в процессе оттаивания происходит дальнейшее расслабление и механическое разрушение.

Одной из нормируемых физических характеристик горных пород является марка по морозостойкости, характеризующая число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое может выдержать раздробленная горная порода при потере массы не более 5 %. Важность данного показателя определяется необходимостью ограничения образования каменной мелочи в течение срока службы дорожной одежды, влияющей, как было отмечено выше, на снижение несущей способности конструктивного слоя.

Проведенные нами исследования позволили выявить зависимость требуемой марки по морозостойкости раздробленных горных пород в зависимости от расчетного срока службы карьерных автомобильных дорог:

$$F_r = f_y \cdot T_e, \quad (2)$$

Таблица 2. Требуемые марки по морозостойкости в зависимости от срока службы технологической дороги в погоднo-климатических условиях Кемеровской области

Table 2. The required grades for frost resistance depending on the service life of the technological road in the weather and climate conditions of the Kemerovo region

Расчетный срок службы дороги, лет	Требуемая марка по морозостойкости
до 2	F15
от 2 до 3	F25
от 3 до 7	F50
более 7	F100

где F_r – требуемая марка по морозостойкости; f_y – коэффициент уравнения линейной регрессии, численно равный среднему арифметическому числу циклов замораживания и оттаивания слоев покрытия в течение одного года, полученного по результатам наблюдений за 10 – 15 лет (для Кемеровской области $f_y = 7$); T_e – срок службы технологических автомобильных дорог, лет.

Полученная зависимость (2) позволила обоснованно назначить требуемые марки по морозостойкости раздробленных горных пород, применяемых для устройства покрытий дорожных одежд карьерных автомобильных дорог (табл. 2).

Выводы:

1. Марка по дробимости горных пород в водонасыщенном состоянии нелинейно возрастает с увеличением скорости распространения

продольных ультразвуковых волн.

2. Крупнозернистые песчаники могут использоваться для устройства оснований карьерных автомобильных дорог без ограничений, а для покрытий – при скорости распространения продольных ультразвуковых волн не менее 3600 м/с. Среднезернистые и мелкозернистые песчаники, а также мелкозернистые алевриты могут применяться для устройства оснований технологических дорог, если скорость распространения продольных ультразвуковых волн в них составляет не менее 3500 м/с.

3. Требуемая марка по морозостойкости раздробленных горных пород линейно возрастает с увеличением срока службы технологических дорог и составляет для условий Кузбасса F15 при сроке службы до 2, F25 – от 2 до 3, F50 – от 3 до 7 и F100 – более 7 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L. M. Le Pen, W. Powrie, A. Zervos, S. Ahmed, S. Aingaran. Dependence of shape on particle size for a crushed rock railway ballast // Granular Mater. 2013. Vol. 15, No. 6. P. 849-861.
2. Czermak V., Huckenholz H.G., Rybach L., et al. Physical properties of rocks. 1982, <http://www.springer.com/gp/book/9783540103332>.
3. Monicard R.P. Properties of reservoir rocks: core analysis. 1980, <http://www.springer.com/gp/book/9789401750189>.
4. Bucher, Kurt, Grapes, Rodney. Petrogenesis of metamorphic rocks. 2011, <http://www.springer.com/gp/book/9783540741688>.
5. Farmer I.W. (Ed.). Engineering behaviour of rocks. 1983, <http://www.springer.com/gp/book/9789400959804>.
6. LianYing Zhang, XianBiao Mao, AiHong Lu. Experimental study on the mechanical properties of rocks at high temperature. Science in China Series E: Technological Sciences. March 2009, Volume 52, Issue 3, pp 641-646.
7. P. Hartlieb, M. Toifl, F. Kuchar et al. Thermo-physical properties of selected hard rocks and their relation to microwave-assisted comminution. Minerals Engineering. Volume 91, 15 May 2016, Pages 34-41.
8. Chandong Chang, Mark D. Zoback, Abbas Khaksar. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks. Journal of Petroleum Science and Engineering. Volume 51, Issues 3–4, 16 May 2006, Pages 223-237.
9. Mohammadreza Hemmati Nourani, Mohsen Taheri Moghadder, Mohsen Safari. Classification and assessment of rock mass parameters in Choghart iron mine using P-wave velocity. Journal of Rock Mechanics and

Geotechnical Engineering. Available online 8 December 2016, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516302700>.

10. Jonny Rutqvist, Antonio P. Rinaldi, Frederic Cappa et al. Fault activation and induced seismicity in geological carbon storage – Lessons learned from recent modeling studies. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Volume 8, Issue 6, December 2016, Pages 789-804.

11. Zong-Xian Zhang. Failure of hanging roofs in sublevel caving by shock collision and stress superposition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Volume 8, Issue 6, December 2016, Pages 886-895.

12. Yaodong Jiang, Yixin Zhao, Hongwei Wang et al. A review of mechanism and prevention technologies of coal bumps in China. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Available online 24 October 2016, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516301925>.

13. L. Dormieux, E. Lemarchand, D. Kondo et al. Strength criterion of porous media: Application of homogenization techniques. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Available online 20 January 2017, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516300646>.

REFERENCES

1. L. M. Le Pen, W. Powrie, A. Zervos, S. Ahmed, S. Aingaran. Dependence of shape on particle size for a crushed rock railway ballast // *Granular Mater.* 2013. Vol. 15, No. 6. P. 849-861.

2. Czermak V., Huckenholz H.G., Rybach L., et al. Physical properties of rocks. 1982, <http://www.springer.com/gp/book/9783540103332>.

3. Monicard R.P. Properties of reservoir rocks: core analysis. 1980, <http://www.springer.com/gp/book/9789401750189>.

4. Bucher, Kurt, Grapes, Rodney. Petrogenesis of metamorphic rocks. 2011, <http://www.springer.com/gp/book/9783540741688>.

5. Farmer I.W. (Ed.). Engineering behaviour of rocks. 1983, <http://www.springer.com/gp/book/9789400959804>.

6. LianYing Zhang, XianBiao Mao, AiHong Lu. Experimental study on the mechanical properties of rocks at high temperature. *Science in China Series E: Technological Sciences*. March 2009, Volume 52, Issue 3, pp 641-646.

7. P. Hartlieb, M. Toifl, F. Kuchar et al. Thermo-physical properties of selected hard rocks and their relation to microwave-assisted comminution. *Minerals Engineering*. Volume 91, 15 May 2016, Pages 34-41.

8. Chandong Chang, Mark D. Zoback, Abbas Khaksar. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Volume 51, Issues 3–4, 16 May 2006, Pages 223-237.

9. Mohammadreza Hemmati Nourani, Mohsen Taheri Moghadder, Mohsen Safari. Classification and assessment of rock mass parameters in Choghart iron mine using P-wave velocity. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Available online 8 December 2016, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516302700>.

10. Jonny Rutqvist, Antonio P. Rinaldi, Frederic Cappa et al. Fault activation and induced seismicity in geological carbon storage – Lessons learned from recent modeling studies. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Volume 8, Issue 6, December 2016, Pages 789-804.

11. Zong-Xian Zhang. Failure of hanging roofs in sublevel caving by shock collision and stress superposition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Volume 8, Issue 6, December 2016, Pages 886-895.

12. Yaodong Jiang, Yixin Zhao, Hongwei Wang et al. A review of mechanism and prevention technologies of coal bumps in China. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Available online 24 October 2016, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516301925>.

13. L. Dormieux, E. Lemarchand, D. Kondo et al. Strength criterion of porous media: Application of homogenization techniques. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Available online 20 January 2017, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516300646>.

Поступило в редакцию 29.11.2019

Received 29 November 2019