

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕЛКОЙ И КРУПНОЙ ФРАКЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ ТРУДНОСТИ ЭКСКАВАЦИИ СМЕРЗАЮЩЕГОСЯ ВЗОРВАННОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Е. Л. Алькова<sup>1</sup>, С. В. Панишев<sup>1</sup>, М. С. Максимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

**Аннотация:** Приведены результаты лабораторных испытаний на срез образцов нарушенной структуры при различных состояниях взорванного массива в суровых климатических условиях Севера. Показано увеличение прочности пород с уменьшением доли включений и увеличением уплотняющей нагрузки. Отмечено изменение угла внутреннего трения и сцепления при различном содержании мелкой и крупной фракции. С учетом установленных зависимостей для заданных температуры и влажности породы установлено влияние содержания включений в связующем на показатель трудности экскавации. Выявлена некорректность использования расчетов показателя трудности экскавации по традиционной формуле для разрушенного массива, так как при смерзании взорванный массив с увеличением глубины развала набирает прочность, сопоставимую с однородным массивом. Величина показателя трудности экскавации, рассчитанная для таких условий по двум формулам (выемка из однородного массива и выемка разрушенного массива) имеет разрыв в два раза, что искажает действительную картину прочности взорванных пород, находящихся на глубине развала. Полученные данные являются основой для адаптации имеющихся представлений об оценке показателя трудности экскавации разрушенного взрывными работами массива в условиях месторождений криолитозоны.

**Ключевые слова:** смерзание, трудность экскавации, вскрышные породы, прочность на срез (сдвиг), содержание включений, взорванный массив, мерзлые горные породы.

**Для цитирования:** Алькова Е. Л., Панишев С. В., Максимов М. С. Исследование влияния содержания мелкой и крупной фракции на показатель трудности экскавации смерзающегося взорванного массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12–1. – С. 29–38. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_29.

## The influence of the weight percentage of the fine and coarse fractions on the excavability index of broken frozen rock mass

E. L. Alkova<sup>1</sup>, S. V. Panishev<sup>1</sup>, M. S. Maksimov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

**Abstract:** The shearing strength tests were carried out on structurally dislocated rock samples to simulate various conditions of broken rock mass in the severe climate of the North. It is

shown that strength of the samples grows with the decreasing weight percentage of inclusions and with the increasing compressive loading. The internal friction angle and cohesion change depending on the weight percentage of the fine and coarse fractions. With regard to the found relations, at the preset temperature and moisture content of rocks, the influence of the weight percentage of inclusions in the binder on the excavability index is determined. It is found to be incorrect to use the excavability index found from the traditional formula for rock fracture since broken rocks regelate and, with increasing depth of broken-rock disintegration by blasting, acquire strength comparable with uniform rock mass. The values of the excavability index calculated from the formulas for uniform and fractured rock mass differ by 2 times, which distorts realistic understanding of rock strength at the depth of broken-rock disintegration by blasting. The research findings are the framework for the adjustment of the current concept of the excavability index of broken rocks in mining in the permafrost zone.

**Key words:** regelation, excavability, overburden, shearing strength, weight percentage of inclusions, broken rock mass, frozen rocks.

**For citation:** Alkova E. L., Panishev S. V., Maksimov M. S. The influence of the weight percentage of the fine and coarse fractions on the excavability index of broken frozen rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):29–38. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_29.

---

## Введение

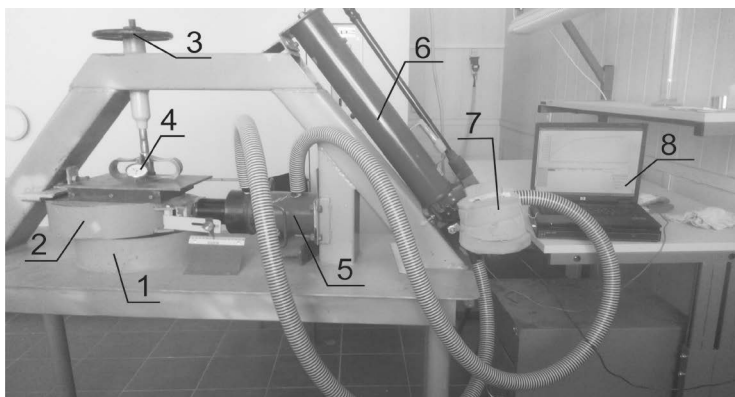
Породы, которые непрерывно находятся в мерзлом состоянии в течение трех и более лет, принято называть многолетнемерзлыми. Площадь распространения таких пород в России составляет 65%. Разработка полезных ископаемых происходит в сложных климатических и горно-технологических условиях.

Сложные горно-технологические условия разработки обусловлены тем, что многолетнемерзлые породы обладают особыми свойствами, которые возникают из-за наличия в них влаги, что при воздействии отрицательных температур приводит к смерзанию грунта и повышению его прочности. Подготовка к выемке горных пород производится с предварительным разрушением буровзрывным способом, при котором вода оттаивает, но через определенное время уже разрушенная горная масса вновь смерзается. Получается, что лед оказывает цементирующее действие, в результате чего разрушенный массив становится схожим с монолитным, так как происходит изменение прочностных свойств. Этому вопросу посвящен

ряд исследований [1–3], в частности и авторами данной статьи [4]. Изучение прочностных характеристик грунтов проводится также и для решения инженерных задач в различных отраслях промышленности, строительства и науки как в России, так и за рубежом [5–7].

Горная масса во взорванном массиве характеризуется основными показателями, которые также учитываются при определении показателя трудности экскавации, предложенного в свое время академиком В. В. Ржевским. В первую очередь это разрыхляемость, учитываемая через коэффициент разрыхления, во-вторых — это кусковатость взорванной горной массы, т.е. средний размер кусков разрушенной породы, а также плотность горной породы и сопротивление породы сдвигу. При расчете показателя трудности экскавации выемки пород из массива основные характеристики, влияющие на этот показатель, — это сопротивление породы сдвигу, сжатию, растяжению и плотность породы.

Знание этих характеристик весьма важно для прогнозирования свойств



*Рис. 1. Стенд для испытания смерзшихся вскрышных пород на срез: 1 – неподвижная срезная коробка; 2 – подвижная срезная коробка; 3 – винт для придания вертикальной нагрузки; 4 – динамометр; 5 – гидравлический домкрат; 6 – ручной насос; 7 – цифровой манометр; 8 – измерительный комплекс «Мера»*

*Fig. 1. Stand for testing frozen overburden for shear: 1 – fixed shear box; 2 – movable shear box; 3 – screw to give a vertical load; 4 – dynamometer; 5 – hydraulic jack; 6 – hand pump; 7 – digital pressure gauge; 8 – measuring complex “Measure”*

пород как разрушенных, так и монолитных и не только для определения трудности экскавации, но и для решения многих других задач, таких как устойчивость породных отвалов [8], основания ж.-д. насыпей [9], оптимизация работы драглайна [10] и т.д.

### **Оборудование и методы**

В ИГДС СО РАН выполнен комплекс исследований, позволивший установить взаимосвязь прочностных характеристик, угла внутреннего трения и сцепления при различных температурно-влажностных состояниях взорванного массива на показатель трудности экскавации [11]. Исследования проводились на лабораторном стенде для определения прочности на срез на образцах большого размера (350x175 мм), имитирующих взорванный массив (рис. 1).

В ходе ранее проведенных исследований было установлено, что при сдвиговой нагрузке сопротивление мерзлого грунта в значительной степени зависит от температуры смерзания породы

в образце, величины внешнего давления или уплотнения образца, а также от влажности породы и величины среднего размера куска.

На данном этапе исследований проводилось изучение влияния процентного количества включений в образцах на эти показатели. Размеры включений (включения – замороженные кубики из того же геоматериала, что и связующее), составляли 50x50x50 мм. Серия экспериментов выполнялась на образцах с влажностью 15% при температуре смерзания  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  при трех значениях уплотнения (без уплотнения, уплотнение нагрузкой в 1,6 МПа и 3,1 МПа).

Цель данного этапа исследований состояла в установлении взаимосвязей между параметрами прочности на срез, показателем трудности экскавации и процентным содержанием включений.

Накопленный экспериментальный материал по оценке прочностных свойств грунтов различными методами [12, 13] указывает на некоторые закономерности, которые описаны авторами

из Казахстана Р. К. Кульжигитовым и В. А. Козионовым [14]. В частности они установили:

«– основное влияние на прочность грунтов оказывают механические свойства мелко- и крупнообломочных включений и их относительное содержание;

- относительное расположение и форма материала включений оказывают меньшее влияние на прочность грунтов;

- для угла внутреннего трения грунта определяющим фактором является процентное содержание в грунте включений;

- при увеличении влажности наполнителя сцепление снижается зна-

чительно, а угол внутреннего трения грунта – незначительно;

- влияние крупности включений на прочность грунтов исследовано недостаточно, в большинстве случаев отмечается влияние крупности включений на угол внутреннего трения в пределах  $2...3^\circ$ ».

Результаты

Для достижения поставленной цели и подтверждения основных установленных ранее закономерностей, но уже применительно к условиям разработки взорванного массива в криолитозоне, исследовались опытные образцы различного состава: образцы однородной структуры и образцы нарушенной

Таблица 1

**Предел прочности на срез при варьировании количества включений и уплотнения образца**

*Shear strength when varying the number of inclusions and compaction of the sample*

Уплотнение нагрузки, МПа	Однородная структура	50% включений	70% включений
БУ	0,34	1	0,64
1,6	1,65	1,56	0,91
3,1	2,13	2	1,36

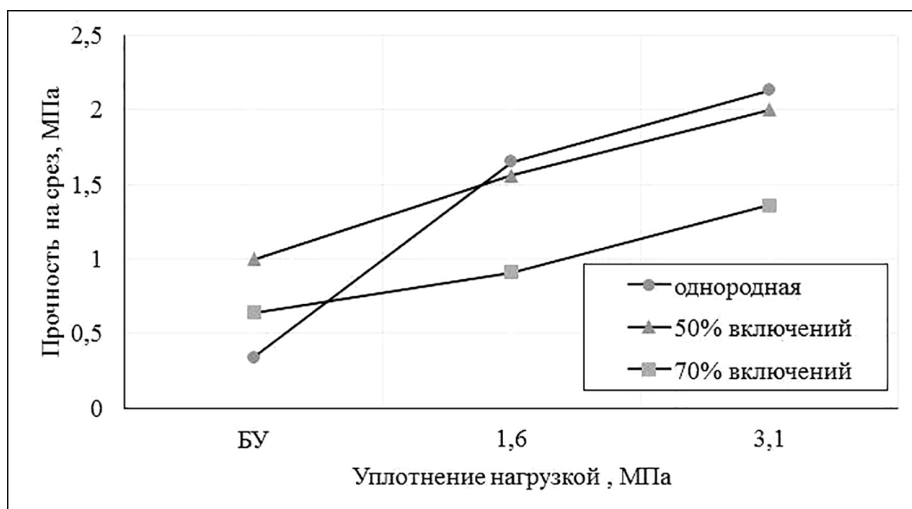


Рис. 2. Зависимость прочности на срез смерзающегося массива от процентного содержания включений

Fig. 2. Dependence of the strength of the freezing rock mass on the percentage of inclusions

структуры. В образцы, имитирующие разрушенный массив, были добавлены включения, представляющие собой смороженные кубики средним размером 50 мм. Объёмная доля включений составляла 50 и 70% от объема связующего. Образцы формировались в специально изготовленных кольцах путем укладывания песка вперемешку с включениями заданной температуры и влажности, включения распределялись по объему равномерно. Далее образцы подвергались различному уплотнению или не уплотнялись в зависимости от преследуемой цели и помещались в морозильную камеру для придания образцу необходимой температуры. Исследования готовых образцов проходило на лабораторном сдвиговом

стенде, специально изготовленном для этих целей. В результате были получены значения предела прочности на срез при различных состояниях взорванной породы, которые наглядно представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Проведенные исследования показали, что добавление включений в песчаную матрицу неуплотненного образца увеличивает его прочность на срез. Увеличение уплотнения породы в образце до 1,6 МПа приводит к резкому, почти пятикратному увеличению прочности образца однородной структуры, далее идет плавное увеличение. В образцах с содержанием включений 50–70% прочность повышается равномерно в 1,2–1,4 раза, и чем больше включений в образце, тем меньше прочность.

Таблица 2  
Прочностные характеристики исследуемых образцов  
Strength characteristics of the studied samples

	Однородная структура	50% включений	70% включений
Угол внутреннего трения	30,1	17,5	13
Сцепление	0,46	1,01	0,6

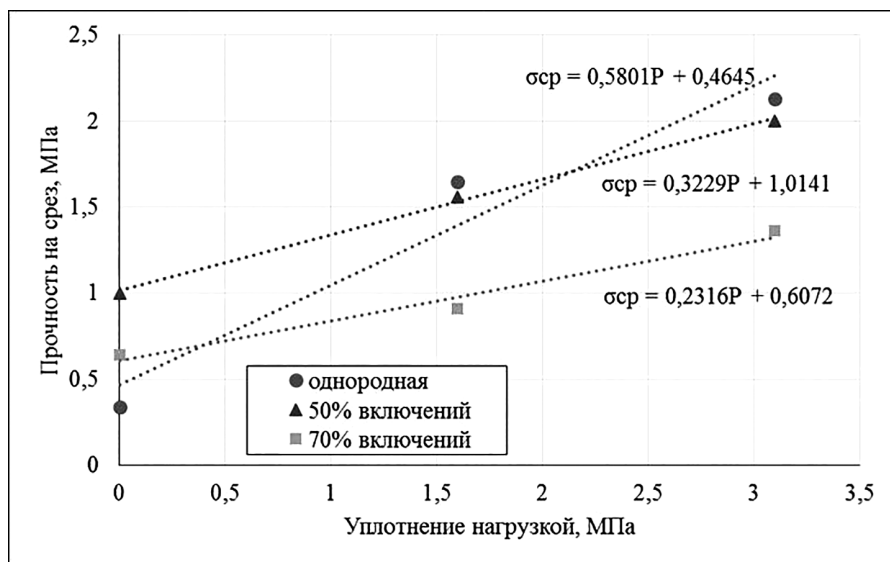


Рис. 3. Зависимость деформации сдвига от нагрузки  
Fig. 3. Dependence of shear deformation on load

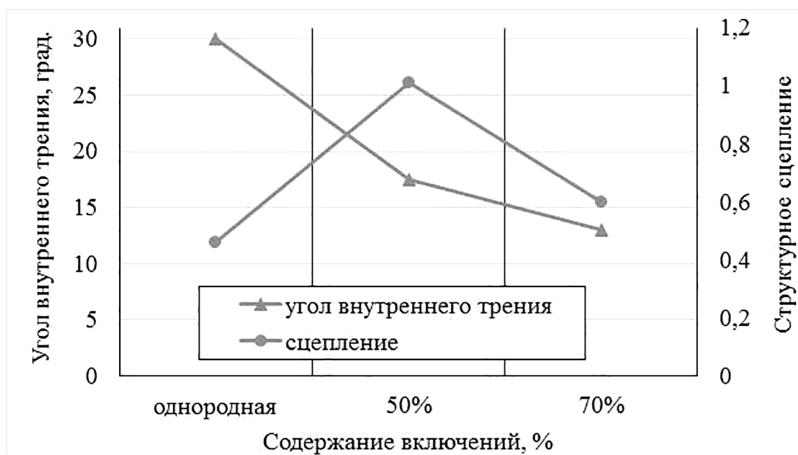


Рис. 4. Изменение угла внутреннего трения и структурного сцепления от процентного содержания включений

Fig. 4. Change in the angle of internal friction and structural adhesion from the percentage of inclusions

Угол внутреннего трения и структурное сцепление были определены графоаналитическим способом (рис. 3), полученные значения представлены в табл. 2.

Из механики грунтов известно, что включения при сдвиге деформируются на контактах со связующим и при вращательном движении. В замороженном образце вращательные движения не имеют такого выраженного влияния. Увеличение процентного содержания включений в нашем случае привело к снижению угла внутреннего трения. Сцепление при этом изменяется не значительно — в пределах 0,5 (рис. 4).

Традиционный подход к определению трудности экскавации, предложенный академиком В. В. Ржевским, основывается в том числе и на прочностных характеристиках пород, слагающих разрабатываемый массив. Показатель трудности экскавации для мягких, плотных и полускальных пород (выемка из массива) определяется по эмпирической формуле:

$$(P_э)' = 0,3\lambda(0,2\sigma_{сж} + \sigma_{сдв} + \sigma_{раст}) + 0,3\gamma, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — коэффициент структурного ослабления пород в массиве в направлении копания;  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_{сдв}$ ,  $\sigma_{раст}$  — пределы прочности соответственно при сжатии, сдвиге и растяжении, МПа;  $\gamma$  — плотность породы, кг/м<sup>3</sup>.

Для разрушенных пород относительный показатель трудности экскавации определяется из выражения:

$$(P_э)'' = 0,022 \left( A + 10 \frac{A}{K_p^9} \right), \quad (2)$$

где  $A = \gamma d_{ср} + 0,1\sigma_{сдв}$ ;  $k_p$  — коэффициент разрыхления породы в развале;  $\sigma_{сдв}$  — предел прочности на сдвиг, МПа;  $d_{ср}$  — средний размер кусков разрушенной породы в развале, см;  $\gamma$  — плотность породы в кг/дм<sup>3</sup>.

Для расчета трудности экскавации при выемке из массива (1) и разрушенных пород (2) с помощью формул были определены значения относительного показателя, представленные в табл. 3.

По итогам проведения лабораторных испытаний определено влияние на трудность экскавации различного содержания включений в связующем.

Таблица 3

**Показатель трудности экскавации при различном состоянии разрабатываемых пород**  
**An indicator of the difficulty of excavation with different conditions of the rocks being developed**

Уплотнение нагрузкой, МПа	однородный	50% включений	70% включений
БУ	6,7	5,18	4,88
1,6	10,3	5,8	5,34
3,1	13,05	5,83	5,66

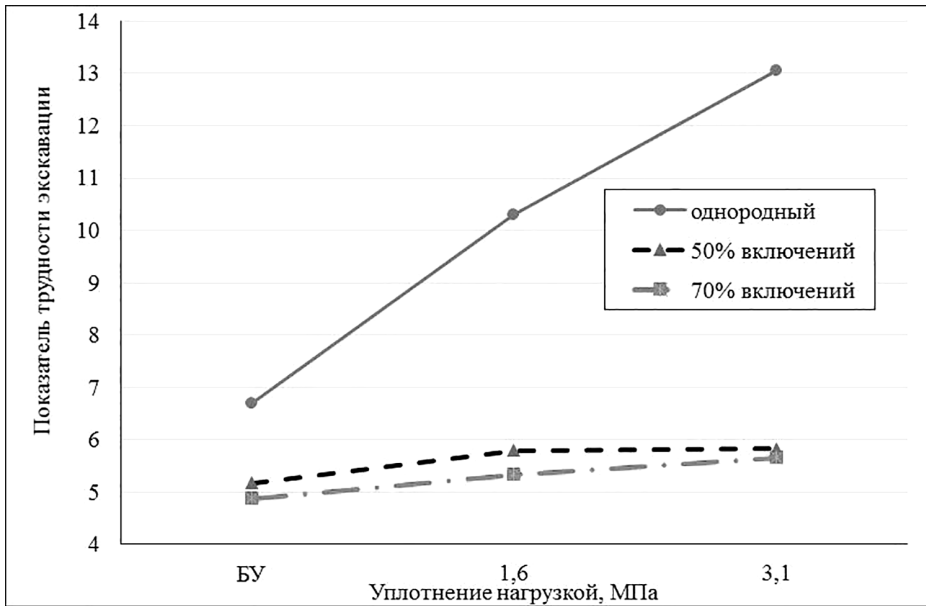


Рис. 5. График влияния содержания включений на показатель трудности экскавации при различной плотности пород

Fig. 5. Graph of the influence of the content of inclusions on the indicator of the difficulty of excavation at various compaction of rocks

Полученные зависимости показаны на рис. 5.

При снижении содержания включений показатель трудности экскавации увеличивается при всех параметрах нагрузки. Причем наибольшая разница наблюдается при уплотнении 1,6 МПа, а наименьшая при 3,1 МПа. Из этого следует, что на глубине развала взорванных пород 20 м, что соответствует давлению 3,1 МПа, содержание включений наименьшим образом сказыва-

ется на показателе трудности экскавации при данных параметрах породы. Под толщей породы разрушенные куски уплотняются, становясь однородной породой. Как было показано в табл. 1, прочность образцов однородной и нарушенной структуры с объемной долей включений 50% при уплотнении нагрузкой в 1,6 и 3,1 МПа близки по значениям. Расчет же показателя трудности экскавации проводится по двум различным формулам. Поэтому

имеется разрыв в показателях в 2 раза. Таким образом, наглядно показана некорректность расчетов относительного показателя трудности экскавации традиционными методами для смерзающегося взорванного массива.

### **Заключение**

Экспериментальными исследованиями на образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом горных пород, установлено, что величина содержания включений влияет на физико-механические и прочностные характеристики смерзающейся разрыхленной буровзрывными работами горной массы. При этом снижение количества включений ведет к увеличению

прочности такого массива и, как следствие, к увеличению трудности его экскавации. Для практического применения установленных закономерностей необходимо скорректировать имеющиеся формулы расчета показателя трудности экскавации с учетом особенностей поведения взорванного массива в условиях криолитозоны. Для этого необходимо провести дальнейшие исследования при других температурно-влажностных параметрах породы.

Эти данные впоследствии послужат основой для разработки специальной методики оценки показателя трудности экскавации разрушенного взрывными работами массива горных пород в условиях криолитозоны.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Соколов И. С. Методика определения прочностных свойств мерзлых грунтов статическим зондированием: автореф. дис. ... докт.техн.наук: 25.00.08 / Соколов Иван Сергеевич. — Москва, 2020. — 23 с.
2. Захаров Е. В. Влияние знакопеременных температурных воздействий на энергоемкость процесса дробления горных пород: автореф. дис. ... канд. техн.наук: 25.00.20 / Захаров Евгений Васильевич. — Якутск, 2012. — 120 с.
3. Ефимов В. М., Кравцова О. Н., Степанов А. В., Тимофеев А. В., Васильчук Ю. К., Таппырова Н. И. — Исследование влияния поверхностно-активных веществ на прочность мерзлых грунтов криолитозоны Республики Саха (Якутия) // Арктика и Антарктика. — 2017. — № 4. — С. 80–85. DOI: 10.7256/2453–8922.2017.4.25035 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=25035](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=25035)
4. Панишев С. В., Максимов М. С., Алькова Е. Л. Исследование прочностных характеристик мерзлых образцов однородной и нарушенной структуры // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 383–388. DOI 10.17513/use.36957
5. Yue Zhao, Abbas Taheria, Murat Karakusa, Zhongwei Chen, An Deng Effects of water content, water type and temperature on the rheological behaviour of slag-cement and fly ash-cement paste backfill // International Journal of Mining Science and Technology Volume 30, Issue 3, May 2020, Pages 271–278
6. Anvari S. M., Shooshpasha I., and Kutanaei S. S. Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand, J. of Rock Mech. and Geotech. Eng., 2017, Vol. 9, Issue 5. — P. 936–944.
7. Yang J. P. Chen W. Z. Yang D. S., Yuan J. Q. Numerical determination of strength and deformability of fractured rock mass by FEM modeling / J. P. Yang, W. Z. Chen, D. S. Yang, J. Q. Yuan // Computers and Geotechnics. — 2015. — № 64. —pp. 20–31.
8. Кожогоулов К. Ч. Прогнозирование устойчивости откосов и склонов на основе численного моделирования напряженно-деформированного состояния горных пород / К. Ч. Кожогоулов, В. И. Нифадьев, С. Ф. Усманов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2017. — т. 4. — № 3. — С.54–59.




9. Чжан А. А. Стабилизация температурного режима мерзлых грунтов тела основания железнодорожной насыпи с помощью теплоизоляции откосов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.08 / Чжан Андрей Антонович. — Якутск, 2020. — 23 с.

10. XIAO Shuangshuang, DING Xiaohua, MA Li, et al. Parameters optimization of dragline working platform based on nonlinear programming [J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(10):3076—3084. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2018.1462

11. Панишев С. В., Алькова Е. Л., Максимов М. С. К оценке показателя трудности экскавации смерзающегося взорванного массива горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. — № 3. — С. 31—36. DOI: 10.15372/FTPRI20190304

12. Могилевцева Д. И. Влияние формы, количества, состава и пространственного расположения включений на прочностные и деформационные характеристики геокомполита // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2012. — №4. — С. 371—375.

13. Рогальский Б. С., Войтюк Ю. П. Способы определения категории горных пород по трудности экскавации // Вестник Винницкого политехнического института. 2005. — №6 (63), — С. 180—186.

14. Кульжицтов Р. К., Козионов В. А. Влияние включений дресвы на прочность глинистых грунтов при одноплоскостном сдвиге // Наука и техника Казахстана. — 2007. — №3. — С. 57—63. 

## REFERENCES

1. Sokolov I. S. *Metodika opredeleniya prochnostnyh svojstv merzlyh gruntov staticheskim zondirovaniem* [Methodology for determining the strength properties of frozen soils by static sounding]: abstract of the thesis. ... Doctor of Engineering Sciences: 25.00.08. Sokolov Ivan Sergeevich. Moscow, 2020. 23 p. [In Russ].

2. Zakharov E. V. *Vliyanie znakoperemennyh temperaturnykh vozdeystvij na energoemkost' processa drobleniya gornyh porod* [Influence of alternating temperature effects on the energy consumption of the process of crushing rocks]: author. dis. ... Cand. technical sciences: 25.00.20. Zakharov Evgeny Vasilievich. Yakutsk, 2012. 120 p. [In Russ].

3. Efimov V. M., Kravtsova O. N., Stepanov A. V., Timofeev A. V., Vasilchuk Yu. K., Tappyrova N. I. Study of the effect of surfactants on the strength of frozen soils in the permafrost zone of the Republic of Sakha (Yakutia). *Arctic and Antarctica*. 2017. no. 4. P. 80–85. [In Russ]. DOI: 10.7256.2453—8922.2017.4.25035 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=25035](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=25035)

4. Panishev S. V., Maksimov M. S., Alkova E. L. Investigation of the strength characteristics of frozen samples of a homogeneous and disturbed structure. *Successes of modern natural science*. 2018. no. 11—2. pp. 383—388. [In Russ]. DOI 10.17513/use.36957

5. Yue Zhao, Abbas Taheria, Murat Karakusa, Zhongwei Chen, An Deng Effects of water content, water type and temperature on the rheological behaviour of slag-cement and fly ash-cement paste backfill. *International Journal of Mining Science and Technology*. Vol. 30, Issue 3, May 2020, pp. 271—278.

6. Anvari S. M., Shooshpasha I., and Kutanaei S. S. Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand, *J. of Rock Mech. and Geotech. Eng.*, 2017, Vol. 9, Issue 5. pp. 936—944.

7. Yang, J. P. Chen W. Z. Yang D. S., Yuan J. Q. Numerical determination of strength and deformability of fractured rock mass by FEM modeling. J. P. Yang, W. Z. Chen, D. S. Yang, J. Q. Yuan. *Computers and Geotechnics*. 2015. no. 64. pp. 20—31.

8. Kozhogulov K. Ch., Nifadiev V. I., Usmanov S. F. Forecasting the stability of slopes and slopes on the basis of numerical modeling of the stress-strain state of rocks. *Fundamental and Applied Problems of Mining Sciences*. 2017. vol. 4. no. 3. pp. 54—59. [In Russ].

9. Zhang A. A. *Stabilizaciya temperaturnogo rezhima merzlyh gruntov tela osnovaniya zhelezodorozhnoj nasypi s pomoshch'yu teploizolyacii otkosov* [Stabilization of the temperature regime of frozen soils of the body of the base of a railway embankment with the help of thermal insulation of slopes]: author. dis. ... Cand. technical sciences: 25.00.08. Zhang Andrey Antonovich. Yakutsk, 2020. 23 p. [In Russ].
10. XIAO Shuangshuang, DING Xiaohua, MA Li, et al. Parameters optimization of dragline working platform based on nonlinear programming [J]. *Journal of China Coal Society*, 2019, 44(10):3076–3084. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2018.1462
11. Panishev S. V., Alkova E. L., Maksimov M. S. To the assessment of the index of the excavation difficulty of a frozen blasted rock mass. *Physical and technical problems of the development of useful minerals*. 2019. no. 3. pp. 31–36. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20190304
12. Mogilevtseva D. I. Influence of the shape, quantity, composition and spatial arrangement of inclusions on the strength and deformation characteristics of the geocomposite. *Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2012. no. 4. pp. 371–375. [In Russ].
13. Rogalskiy BS, Voytyuk Yu. P. Methods for determining the category of rocks by the difficulty of excavation. *Bulletin of Vinnitsa Polytechnic Institute*. 2005. no. 6 (63), pp. 180–186.
14. Kulzhigitov R. K., Kozionov V. A. Influence of gress inclusions on the strength of clay soils under one-plane shear. *Science and Technology of Kazakhstan*. 2007. no. 3. pp. 57–63.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Алькова Елена Леонидовна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, nealealc12@rambler.ru;

*Панишев Сергей Викторович*<sup>1</sup> — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, bsdpsv@mail.ru;

*Максимов Михаил Саввич*<sup>1</sup> — мл. научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, mexes\_07@mail.ru;

<sup>1</sup> Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Alkova E. L.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Researcher of the Laboratory, nealealc12@rambler.ru;

*Panishev S. V.*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Leading researcher of the Laboratory, bsdpsv@mail.ru;

*Maksimov M. S.*<sup>1</sup>, Junior researcher of the Laboratory, mexes\_07@mail.ru;

<sup>1</sup> N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 18.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 18.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.

