© С.В. Панишев, С.А. Ермаков, М.В. Каймонов, М.С. Максимов, Д.С. Козлов, 2014

УДК 622.876

С.В. Панишев, С.А. Ермаков, М.В. Каймонов, М.С. Максимов, Д.С. Козлов

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТИ СМЕРЗШИХСЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА СДВИГ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ТЕМПЕРАТУРЫ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА[*]

Для проведения лабораторных исследований по определению прочности смерзания мерзлых пород разработана методика, включающая способ и устройство. Основным отличием данной методики от известных является то, что в процессе испытаний производится смораживание мерзлых образцов горных пород, поверхности которых по плоскости смерзания предварительно подвергаются тепловой обработке, фиксируемой глубиной протаявшего слоя. Методикой исследований предусматривается определение прочности смерзания при варьировании параметров основных влияющих факторов: температуры и влажности образцов пород, температуры смораживания, величины растепленного слоя (контактной зоны смораживания), нормального давления между образцами.

Ключевые слова: мерзлые породы, прочность смерзания, смерзание сыпучих геоматериалов, смораживание мерзлых образцов.

При отработке месторождений полезных ископаемых открытым способом в условиях распространения многолетней мерзлоты особую актуальность приобретает проблема вторичного смерзания минерального сырья, при этом не только усложняется ведение горных работ, но и ухудшаются технико-экономические показатели предприятия [1, 2]. А учитывая, что в связи с завершением строительства Амуро-Якутской железной дороги в ближайшее будущее Правительством Российской Федерации планируется вовлечение в хозяйственный оборот страны огромных территорий Восточной Сибири, вопросы смерзания сыпучих геоматериалов в процессе их добычи, транспортировки и хранения возникнут с новой остротой.

Анализ проведенных ранее исследований показал, что наиболее детально изучено влияние на прочность смерзания таких факторов как температура и влажность пород. Все авторы склоняются к единому мнению, что прочность смерзания увеличивается с увеличением влажности и с понижением температуры. Кроме того, в различной мере на прочность оказывают влияние температура и влажность воздуха, теплофизические свойства пород, гранулометрический состав, приконтактный слой, приложенное давление, размер частиц, их ориентация и упаковка, а также наличие примесей (пузырьков воздуха, солей или органического вещества) в водно-ледяной среде.

Гранулометрический состав является одним из важных факторов, определяющих как физические, так и механические свойства грунта. Форма и размеры минеральных частиц мерзлых грунтов существенно влияют на их

[*] Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 12–05-98520-р_восток_а

свойства. Дисперсность минеральных частиц грунтов влияет, главным образом, на протекание в них физико-химических поверхностных явлений, интенсивность которых зависит и от удельной поверхности частиц. От формы и геометрических размеров минеральных частиц мерзлого грунта зависит его пористость. С уменьшением размеров частиц грунта соответственно уменьшаются размеры пор, однако удельный объем пористости грунта возрастает. Так для крупнозернистых песков объем пор составляет около 20% объема всего грунта, в то же время в глинистых грунтах пористость достигает 60% от объема грунта. Следовательно, от размеров минеральных частиц грунта зависит его влагоемкость, льдистость, плотность упаковки и как следствие, прочностные свойства мерзлого грунта.

При ведении взрывных работ высота развала может достигать 15–20 метров, что обуславливает различные давления в верхней и нижней части развала. Более плотная упаковка частиц и кусков породы будет в нижней части развала за счет нагрузки вышележащего породного массива. Поэтому при исследовании влияния гранулометрического состава пород на прочность смерзания следует учитывать плотность упаковки пород [3].

Для проведения лабораторных исследований по определению прочности смерзания мерзлых пород разработана методика, включающая способ и устройство. Основным отличием данной методики от известных является то, что в процессе испытаний производится смораживание мерзлых образцов горных пород, поверхности которых по плоскости смерзания предварительно подвергаются тепловой обработке, фиксируемой глубиной протаявшего слоя.

Методикой исследований предусматривается определение прочности смерзания при варьировании параметров основных влияющих факторов: температуры и влажности образцов пород, температуры смораживания, величины растепленного слоя (контактной зоны смораживания), нормального давления между образцами.

Устройство для определения прочности смерзшихся пород на сдвиг состоит из кассеты для смораживания и испытания образцов (рис. 1), приспособления для передачи образцам нормального по отношению к плоскости смерзания давления (рис. 2), и матрицы (рис. 3) [4].

Кассета для смораживания и испытания образцов включает в себя корпус *1*, жестко связанный с опорной плитой *2*. Две шпильки *3* с втулками *4* и гайками *5* соединяют опорную плиту *2* кассеты с боковым штампом *6*. Между опорной плитой *2* кассеты и боковым штампом *6* располагаются два образца горной породы *7*, *8*, третий образец выполнен в виде муляжа *9*, который изготавливается из фторопластового материала (рис. 1).

Для нагружения образцов предусмотрено приспособление для передачи образцам нормального по отношению к плоскости смерзания давления (рис. 2), которое состоит из корпуса приспособления для передачи образцам нормального по отношению

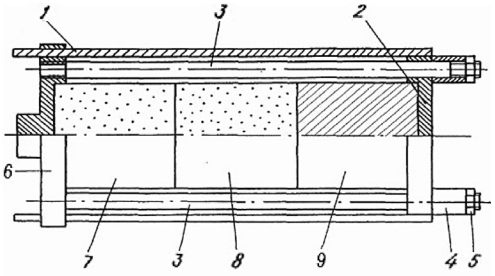

Рис. 1. Кассета для смораживания образцов: 1 – корпус; 2 – опорная плита; 3 – шпильки; 4 – втулки; 5 – гайки; 6 – боковой штамп; 7, 8 – образцы горной породы; 9 – муляж

к плоскости смерзания давления *1*, в котором располагается кассета для смораживания и испытания образцов *2*. Нагружение образцов осуществляется винтом нагружения *5* через динамометр *3* со стрелочным индикатором *4* и боковой штамп кассеты для смораживания. Упорная плита *6* приспособления крепится к его корпусу стопорами *7*.

При испытаниях образцов на сдвиг кассета со смороженными образцами горной породы располагается на матрице (рис. 3).

Конструктивно матрица состоит из основания *1*, на котором располагаются два ползуна *2*. Для закрепления кассеты на матрице последняя снабжена фиксаторами образцов *3*, которые посредством прижимных пластин *4*, винтов *5* и стопоров фиксаторов *6* образцов притягивают образцы к ползунам матрицы. При испытаниях образцов на сдвиг требуется, чтобы ползуны матрицы устанавливались точно по плоскостям смерзания образцов. Для выполнения этого требования в конструкции матрицы предусмотрен регулировочный винт *7* с микрометрической правой и левой резьбой, проходящий через ползуны матрицы, снабженные такой же резьбой, и установленный в опорах регулировочного винта, закрепленных на основании матрицы. Регулировочный винт позволяет устанавливать ползуны матрицы по плоскостям смерзания образцов, которые передвигаются на основании матрицы по направляющим ползунов. Между образцом и муляжом *12* располагается фторопластовая пластина *11* для предотвращения трения во время испытаний.

Образцы пород кубической формы (50х50х50 мм) изготавливаются и замораживаются в специальной форме, рассчитанной на 15 образцов одновременно. Конструктивно форма для изготовления образцов выполнена разъемной, что позволяет легко извлекать готовые образцы мерзлых пород для проведения экспериментов. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов производятся согласно ГОСТ 12071–84.

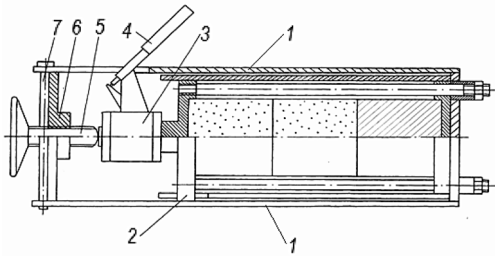

Рис. 2. Приспособление для передачи образцам нормального давления: 1 – корпус; 2 – кассета для смораживания образцов; 3 – динамометр; 4 – стрелочный индикатор; 5 – винт нагружения; 6 – упорная плита; 7 – стопор упорной плиты

Для оценки влияния плотности упаковки на прочность смерзшихся пород на сдвиг испытания проводятся:

- без уплотнения образцов породы;
- с уплотнением образцов породы.

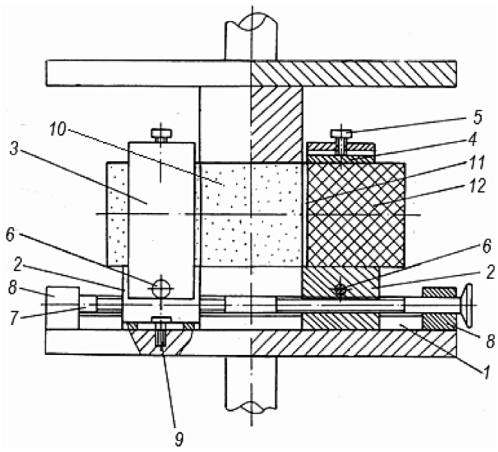

Рис. 3. Матрица с фиксаторами образцов в испытательной машине UTS-250: 1 – основание; 2 – ползуны; 3 – фиксатор образцов; 4 – прижимные пластины; 5 – винт нагружения; 6 – стопор фиксаторов; 7 – регулировочный винт; 8 – опора регулировочного винта; 9 – направляющие ползунов; 10 – смороженные образцы; 11 – фторопластовая пластина 12 – муляж

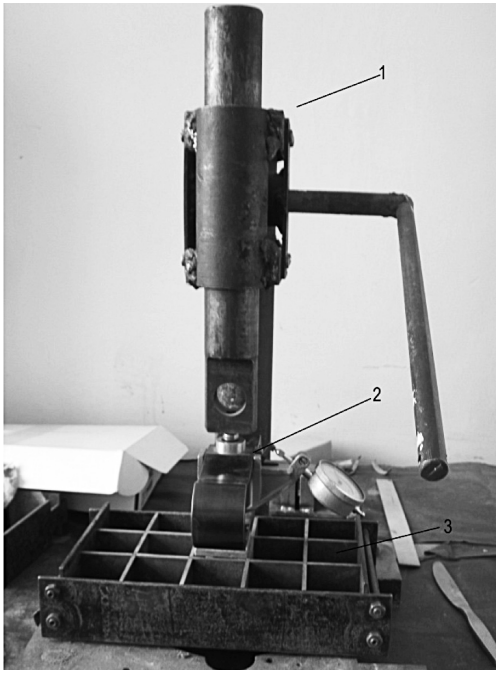

Рис. 4. Установка для уплотнения образцов горной породы: 1 – реечный пресс; 2 – динамометр; 3 – форма для приготовления образцов

Для уплотнения образцов горной породы в форме, используется устройство (рис. 4), которое состоит из реечного прессаи динамометра со стрелочным индикатором. Порода в каждой ячейке уплотняется с усилием в 1 кН.

Далее форму с образцами помещают в климатическую камеру БСК-60/100, где производится замораживание образцов до заданной отрицательной температуры. Замораживание образцов производится при температурах: -5 °С; -10 °С; -15 °С; -20 °С.

Во избежание потери влажности в климатической камере форма оборачивается в полиэтиленовую пленку, т.к. замораживание в климатической камере происходит за счет напорного воздушного охлаждения. Время замораживания составляет по экспериментальным данным не менее 7–8 ч. Образцы извлекают из формы, проверяются грани образцов на соответствие размерам 50х50х50 мм. Предварительные испытания смороженных образцов на сдвиг выявили значительный разброс получаемых результатов (рис. 5), обусловленный различной степенью однородности подготовленных образцов. Поэтому предложено производить контроль однородности уплотнения путем акустических замеров с помощью прибора A-line 32D предназначенного для регистрации и измерения параметров сигналов акустической эмиссии. Проверка однородности заключается в измерении скорости прохождения волн в образце. Если полученные результаты измерений каждого образца имеют незначительные расхождения (не больше 10% при степени надежности 0,95 по ГОСТ21153.7–75), то их можно считать однородно уплотненными. Проверенные образцы нумеруются и сразу помещаются в климатическую камеру.

Перед установкой в кассеты двух образцов, их контактируемые поверхности обрабатываются тепловым потоком. Время обработки тепловым потоком составляет 5–10 с. при 90–100 °С обогревателя с расстояния 10 см. Глубину растепления замеряют с помощью прибора с иглой и стрелочным индикатором. После этого образцы горной породы размещают в кассетах для их смораживания между собой. Гайки предварительно затягивают. Данные обработки тепловым потоком заносятся в журнал.

Собранную кассету помещают в приспособление для передачи образцам мерзлой горной породы нормального по отношению к плоскости смерзания давления, где производят нагружение образцов заданным давлением.

В кассете, для сохранения, приложенного к образцам давления, затягивают гайки, при этом контроль усилия

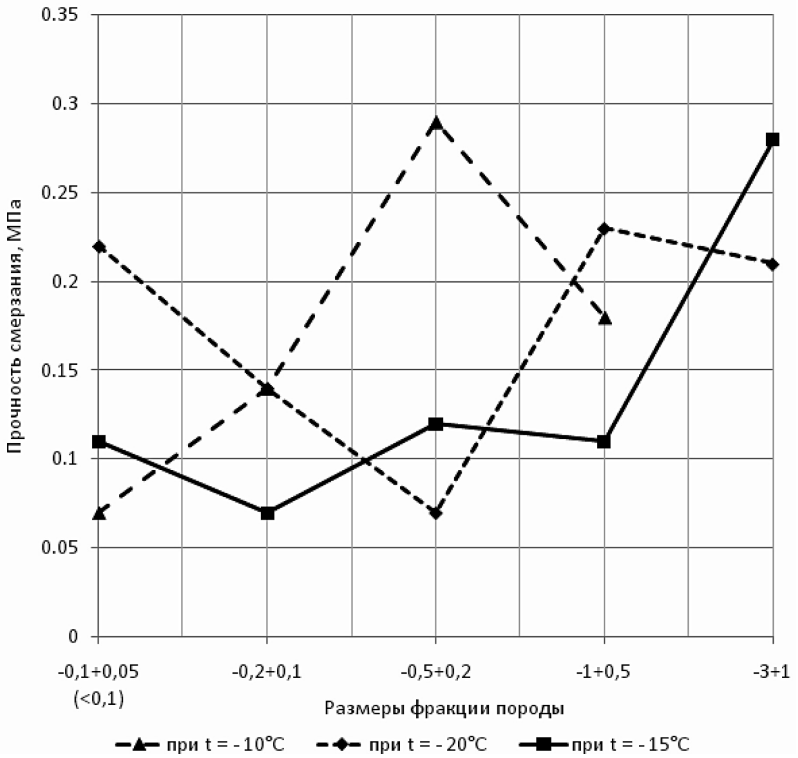

Рис. 5. Прочность смерзания пород различного гранулометрического состава при температурах смораживания t: -10°C, -15°C, -20°C

затягивания гаек осуществляют по стрелочному индикатору. После этого кассету извлекают из приспособления и помещают в климатическую камеру БСК-60/100, обернутой в полиэтиленовую пленку во избежание потери влажности образцов. Контроль температуры осуществляется по выведенному из климатической камеры датчику. Время смораживания по экспериментальным данным составляет не менее 4 ч.

После этого смороженные между собой образцы извлекают из кассеты и укладывают на ползуны матрицы (рис. 3), при необходимости ползуны матрицы регулировочным винтом устанавливают по плоскостям смерзания образцов.

Далее в матрице производятся испытания на сдвиг, с использованием испытательной машины UTS-250. По результатам испытаний выдается график разрушающей нагрузки, при которой происходит сдвиг по плоскости смерзания. После испытания определяется влажность образцов согласно ГОСТ 5180–84. Дальнейшие исследования ведутся в той же последовательности со следующими сериями образцов. Во избежание температурного перепада в образцах породы, их подготовку и испытание необходимо проводить в помещении с отрицательной или нулевой температурой.

Выводы

1. Сконструировано, изготовлено и опробовано устройство (патент РФ № 2075242) для моделирования процесса смерзаемости и измерения разрушающих сдвиговых нагрузок.

2. Разработана методика исследований процесса смерзаемости горных пород в лабораторных условиях с использованием испытательной машины UTS-250.

3. Разработанная методика позволяет оценить прочность смерзания образцов горных пород во взаимосвязи с основными влияющими факторами: температура и влажность образцов пород, температура смораживания, величина растепленного слоя (контактной зоны смораживания), нормальное давление между образцами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Панишев С.В., Ермаков С.А.* Влияние температурного режима на эффективность разработки вскрышных пород месторождений криолитозоны // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. 2013. № 2. С. 132–138.

2. *Панишев С.В., Ермаков С.А., Каймонов М.В.* Исследование влияния температурного режима взорванных многолетнемерзлых пород Кангаласского месторождения на производительность драглайна // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 7. С. 146–150.

3. *Панишев С.В., Ермаков С.А., Алькова Е.Л.* О влиянии гранулометрии взорванного массива многолетнемерзлых пород на производительность драглайна // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 9. С. 93–98.

4. *Пат. РФ* № 2075242, МПК G01N33/24, E02D1/00. Способ определения прочности смерзания мерзлых горных пород с различными материалами и устройство для его осуществления. Петров С.Н., Стручков О.А.; заявитель и патентообладатель ИГДС СО РАН. – Заявка: № 94010059/33; заявл. 14.03.1994; опубл. 10.03.1997. ИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Панишев Сергей Викторович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru,
Ермаков Сергей Александрович – кандидат технических наук, зав. лабораторией открытых горных работ, e-mail: s.a.ermakov@igds.ysn.ru,
Каймонов Михаил Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail:gtf@igds.ysn.ru,
Максимов Михаил Саввич – инженер, e-mail: mexes_07@mail.ru,
Козлов Денис Сергеевич – ведущий инженер, e-mail: dan-xw@mail.ru,
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

UDC 622.876

PROCEDURE FOR LABORATORY ADFREEZING STRENGTH TEST OF FROZEN ROCKS DEPENDING ON THEIR TEMPERATURE AND GRAIN-SIZE COMPOSITION

Panishev S.V., Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, e-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru,
Ermakov S.A., Candidate of Engineering Sciences, Head of Laboratory, e-mail: s.a.ermakov@igds.ysn.ru,
Kajmonov M.V., Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, e-mail:gtf@igds.ysn.ru,
Maksimov M.S., Engineer, e-mail: mexes_07@mail.ru,
Kozlov D.S., Leading Engineer, e-mail: dan-xw@mail.ru,
N.V. Chersky Institute of Mining of the North, SB RAS.

For the laboratory adfreezing strength testing of frozen rocks, the procedure, method and equipment have been developed. The main difference of the procedure from the known techniques is that frozen rock specimens are preliminary frozen to one another: the adfreezing interface is pre-heated and the defrosted layer thickness is measured before the tests. The test procedure allows for the adfreezing strength estimation at varied influence parameters: temperature and moisture of rock specimens, adfreezing temperature, defrosted layer thickness (adfreezing interface) and normal pressure in-between specimens.

Key words: *frozen rocks, adfreezing strength, freezing of granular geomaterials, adfreezing of frozen specimens.*

REFERENCES

1. Panishev S.V., Ermakov S.A. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*, 2013, no 2, pp. 132–138.
2. Panishev S.V., Ermakov S.A., Kajmonov M.V. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2010, no 7, pp. 146–150.
3. Panishev S.V., Ermakov S.A., Al'kova E.L. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2011, no 9, pp. 93–98.
4. Petrov S.N., Struchkov O.A. *Patent RU2075242*, 14.03.1994.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

УЧЕТ ЗАТРАТ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ ПО ЕДИНИЦАМ ОБОРУДОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «РАЗРЕЗ ТУГНУЙСКИЙ»)

Трофимова Ирина Дмитриевна – начальник планово-экономического отдела ОАО «Разрез Тугнуйский»,
Федоркевич Татьяна Ивановна – заместитель директора по экономике и финансам ОАО «Разрез Тугнуйский», e-mail: fedorkevichti@suek.ru.

Рассмотрен проект по учету затрат по каждой единице оборудования, включающий в себя полное описание алгоритма, при использовании которого можно получить данные по каждой единице оборудования для наиболее эффективной их эксплуатации, а также использование полученных данных для принятия решений, как в производственной сфере, так и экономической. В рамках проекта рассмотрены способы, получения информации о фактических показателях единиц оборудования по каждой производственной единице используя программы, которые уже работают на предприятиях.

Ключевые слова: компания ОАО «СУЭК», учет затрат, единица оборудования, управление ресурсами предприятия.

COST ACCOUNTING IN THE MANUFACTURING PROCESS OF THE UNIT EQUIPMENT (ON AN EXAMPLE OF OPEN SOCIETY «CUT TUGNUJSKIJ»)

Trofimova I.D., Head of Planning and Economic Department of «Cut Tugnuisky»,
Fedorkevich T.I., Deputy Director for Economy and Finance of «Cut Tugnuisky».

Considered a draft cost accounting for each unit of equipment, including a complete description of the algorithm by which it can obtain data on each piece of equipment for the most efficient exploitation and utilization of the data obtained for decisions in the sphere of production and economic. The project examined ways information on actual performance pieces of equipment for each production unit using the programs that are already working in enterprises.

Key words: Company «SUEK», cost accounting, piece of equipment, enterprise resource planning.