УДК 622

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ НА СРЕЗ МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОБРАЗЦАХ БОЛЬШОГО РАЗМЕРА

Алькова Е.Л., Панишев С.В., Козлов Д.С., Максимов М.С.

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, e-mail: NeleAlc12@rambler.ru

В статье обоснована необходимость проведения экспериментальных исследований прочности вскрышных горных пород на срез на образцах большого размера однородной структуры. Необходимые размеры образца, предусматривающие геометрическое подобие образца и натуры, геометрическое подобие гранулометрических составов (на примере вскрышных пород Кангаласского буроугольного месторождения) составили: диаметр образца 350 мм, при высоте 175 мм. При объемном весе 1,6 г/см^3 вес такого образца составляет 26,9 кг. Изложен порядок исследований прочности на сдвиг при прямом срезе смерзшихся пород на больших образцах. Для испытания таких образцов в Институте горного дела Севера СО РАН разработана методика исследований и сконструирован специальный стенд. Представлены результаты испытаний на срез образцов однородного гранулометрического состава, имеющие научное и практическое значение для правильного выбора выемочного оборудования.

Ключевые слова: прочность смерзания, гранулометрический состав, прочность на срез, вскрышные породы, кусковатость, образцы породы, трудность экскавации

EXPERIMENTAL RESEARCH ON SHEAR STRENGTH OF FROZEN ROCKS ON LARGE SAMPLES

Alcova E.L., Panishev S.V., Kozlov D.S., Maksimov M.S.

Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: NeleAlc12@rambler.ru

In the article the necessity of experimental research strength of overburden rock shear on homogeneous samples of large size. The required sample size, providing the geometric similarity of the sample and the nature, the geometric similarity of particle size distribution (for example, overburden Kangalassky lignite deposits) were as follows: sample diameter of 350 mm, a height of 175 mm. When bulk density of 1,6 g/cm^3, the weight of the sample was 26,9 kg. The paper presents the procedure of research strength in direct shear slice of frozen rocks in large homogeneous samples. To test such samples, the Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences developed a method of research and designed a special stand. The results of tests on samples cut of a uniform particle size distribution, having scientific and practical importance for the proper selection of the excavation equipment.

Keywords: freezing strength, grading, particle size, shear strength, overburden, lumpiness, rock samples, the difficulty of excavation

В условиях месторождений криолитозоны после буровзрывной подготовки происходит смерзание горной массы в развале. Процесс смерзания протекает с различной интенсивностью в зависимости от периода года и соответствующих температурно-влажностных условий. Смерзание взорванных мерзлых пород сказывается на всех физических свойствах породы, при этом формируется особая скальная порода, имеющая в качестве цементирующего вещества лед, со своеобразной ледовой (криогенной) текстурой [1]. Прочность вторично смерзающихся взорванных пород значительно возрастает, что приводит к невозможности ее экскавации по силовым характеристикам оборудования, особенно для экскаваторов-драглайнов. При этом осложняется ведение горных работ вплоть до остановки, вследствие невозможности повторной буровзрывной подготовки.

В качестве физико-технической основы сопоставления пород по экскавируемости, зависящей от свойств и состояния пород, используется относительный показатель трудности экскавации породы $П_Э$ [7], позволяющий правильно обосновать тип выемочного оборудования.

Свойства взорванного многолетнемерзлого массива значительно изменяются в течение вскрышного сезона и зависят от периода ведения горных работ. В весенне-летний период порода в забое и поверхностном слое развала взорванной породы склонна к дезинтеграции, разрушается под воздействием инсоляции и рабочих органов выемочных машин, приобретая свойства мягких, плотных или полускальных грунтов. При этом взорванные мерзлые породы обладают как свойствами скального грунта, обладающего определенной кусковатостью, коэффициентом разрыхления,

так и свойствами плотного ненарушенного массива, прочность которого в значительной степени зависит от температурно-влажностного режима в нем.

Все горные породы подразделяют на сыпучие, мягкие, плотные, скальные, полускальные и на разрушенные, характеризующиеся различными физико-технологическими свойствами. Ряд этих свойств используется для расчета или определения различных параметров и показателей [9].

Методики определения показателя трудности экскавации смерзающейся взорванной горной массы не существует. Поэтому с учетом того, что значительный объем подготовки горных пород к выемке в северных регионах осуществляется путем взрывного рыхления, определение относительного показателя трудности экскавации смерзающихся взорванных вскрышных пород, характеризующихся соответствующими физико-техническим характеристикам, является важной и актуальной задачей.

Одной из составляющей показателя трудности экскавации является предел прочности на сдвиг. Достоверная оценка прочностных характеристик позволяет правильно выбрать выемочное оборудование и режимы его работы. В натурных условиях не предоставляется возможности получить сдвиговые характеристики смерзшихся взорванных вскрышных пород.

Деформация сдвига связана с перекашиванием некоторого объема. Но при увеличении касательных напряжений до некоторого предельного значения эта деформация завершается разрывом сплошности материала. Часто под сдвигом понимается прямой срез и эти понятия в горном деле отождествляются.

Лабораторные испытания грунтов на сдвиг при прямом срезе производятся в односрезных (а иногда и двухсрезных) приборах [8, 2, 3, 5]. В таких приборах происходит срез грунта по грунту (по поверхности смерзания) или пластины из того или иного материала по грунту. В натурных условиях для испытания на сдвиг монолитов грунтов применяют крупногабаритные установки типа СУ-2 и МСУ-1. Они дополняются лопастными испытаниями грунтов крыльчатками типа ЛСГ-2, СК-10 и др. [6].

Существующие методики и оборудование не позволяют оценить предел прочности смерзшегося массива на сдвиг. Для этого была разработана специальная методика исследований и разработан и сконструирован специальный стенд [1]. Методикой исследований предусматривается установление зависимости изменения прочности смерзшихся вскрышных пород на срез от гранулометрического состава, влажности, температуры и плотности упаковки, как на образцах однородного гранулометрического состава, так и на образцах, имитирующих смерзшийся массив взорванной горной массы, т.е. в образец добавляются включения в виде замороженных кубиков различного размера.

С точки зрения материаловедения образец, состоящий из песчаника средне- и мелкозернистого, можно назвать матрицей, состоящей из сплошной среды, а образец с включением – композиционный материал, состоящий из матрицы (или связующего) и включенных в нее элементов (или наполнитель).

В методике описан процесс изготовления смерзающегося образца с включениями, который состоит из двух этапов. Первый этап – приготовление включений кубической формы различного размера, в соответствии с заданием на эксперимент. Второй этап – изготовление самого образца для испытания на срез (сдвиг) путем перемешивания включений со связующим, т.е. песчаником. Включения и связующее состоят из взорванных вскрышных пород Кангаласского буроугольного месторождения, представляющих собой средне- и мелкозернистые песчаники.

В данной статье представлены результаты испытаний на сдвиг при прямом срезе образцов однородного гранулометрического состава. Принцип испытаний грунтов на сдвиг на разработанном стенде аналогичен испытаниям на других сдвиговых приборах. Характерной особенностью стенда является возможность проведения экспериментов на больших образцах, представляющих собой цилиндр диаметром 350 мм и высотой 175 мм.

Для оценки точности полученных показаний была выполнена калибровка гидросистемы стенда и манометра на сертифицированной машине UTS-250. Калибровка производилась по заданным значениям давления: 50, 100, 150, 200, 250 и 300 Бар, которые фиксировались по манометру стенда. Данные калибровки по двум сериям испытаний представлены в таблице.

Данные калибровки гидросистемы на UTS-250

Значение давления по манометру, Бар	50	100	150	200	250	300
Значение давления в МПа	5	10	15	20	25	30
Нагрузка на UTS-250, – 1 эксперимент, кН	38,52	78,71	118,05	156,56	196,26	234,79
Нагрузка на UTS-250, – 2 эксперимент, кН	39,12	77,97	117,54	156,68	196,03	235,05
Расчетная нагрузка, кН.	39,3	78,5	117,8	157,1	196,3	235,6
Погрешность экспериментальной нагрузки к расчетной, %	2,0/1,5	0,2/0,7	0,2/0,3	0,3/0,3	0,1/0,2	0,3/0,2

Расчетная нагрузка, развиваемая системой, определялась как

$$F = P \cdot S,$$

где P – давление в гидросистеме, МПа; S – площадь поперечного сечения поршня домкрата, мм^2.

$$S = \frac{\pi D^2}{4},$$

где D – диаметр поршня, равный 100 мм (рис. 1).

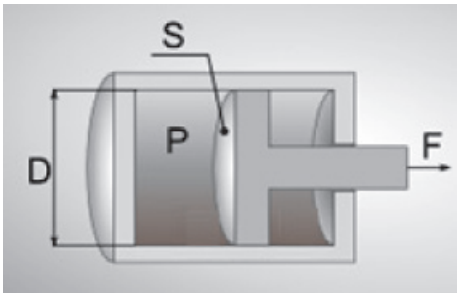

Рис. 1. Схема к определению расчетной нагрузки в гидросистеме

Тогда, например, при давлении в системе 5 МПа и площади поршня 7850 мм^2 расчетная нагрузка составила $F = 5 \cdot 7850 = 39250$ Н, что соответствует 39,3 кН.

На рис. 2 представлен поверочный график зависимости изменения расчетной нагрузки и нагрузки полученной при двух испытаниях, от давления в системе.

Полученные результаты имеют хорошую сходимость. Погрешность в расхождении расчетной нагрузки и полученной при испытании на UTS-250 составляет в среднем, 0,5 %, что является достаточной точностью для проведения эксперимента.

После проверки работы стенда проводились эксперименты с образцами однородного гранулометрического состава. Образцы с влажностью 5, 10, 15 % замораживались при температуре от –5 до –15 °С. Температура замораживания образца была выбрана в соответствии с колебаниями температуры массива многолетнемерзлых пород в течение года на Кангаласском буроугольном месторождении.

После замораживания разъемная гильза разбиралась, и подготовленный образец подвергался испытанию на сконструированном стенде. Уплотнение образцов обеспечивалось специальным устройством, состоящим из реечного пресса и динамометра.

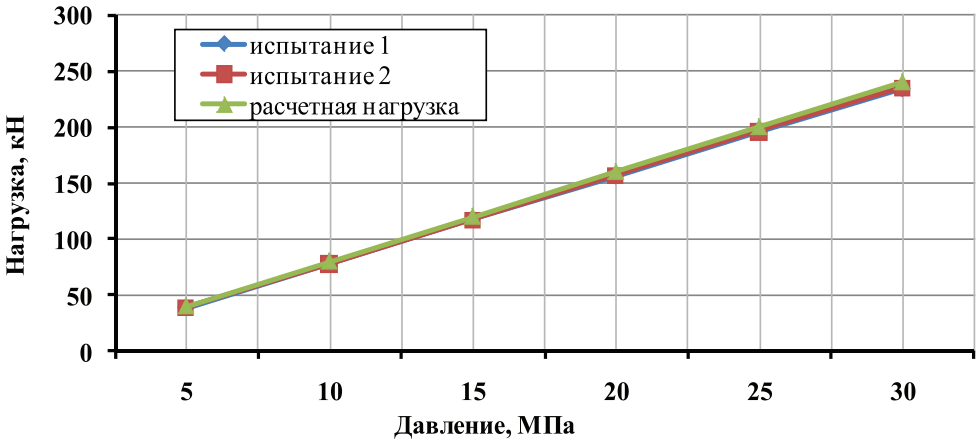

Рис. 2. Изменение нагрузки при задаваемом давлении в гидросистеме

В соответствии с методикой исследований были выполнены две серии испытаний на образцах однородного гранулометрического состава различного уплотнения, состоящих из песчаника:

– неуплотненного средне- и мелкозернистого;

– средне- и мелкозернистого с уплотнением нагрузкой 1,6 МПа.

Перед испытанием образца вычисляли плотность скелета исследуемого грунта, для этого взвешивали породу в образце и вычисляли объем образца. Плотность скелета исследуемого грунта составляла 1,5 г/см^3. При увеличении влажности с 5 до 15% плотность изменялась от 1,6 до 1,7 г/см^3. При уплотнении образца нагрузкой 1,6 МПа плотность увеличивалась с 1,72 до 1,89 г/см^3 в тех же диапазонах влажности.

Испытание образцов проводилось путем плавного увеличения сдвигающей нагрузки гидравлическим домкратом и считалось законченным, когда происходил мгновенный срыв части пород, находящейся в верхней кассете, по отношению к нижней, или когда общая деформация среза превышала 5 мм [4]. Величина разрушающей нагрузки регистрировалась по максимальному значению давления, зафиксированному с помощью измерительного комплекса «Мера». Поверхность среза нижней и верхней частей образца по окончании испытания тщательно обследовалась, фотографировалась, и производилось описание ее характерных особенностей (рис. 3).

Результаты лабораторных исследований прочности на срез показали, что неуплотненные образцы при влажности менее 5% даже при воздействии температуры –15°С не смерзаются. При увеличении влажности с 10 до 15% в диапазоне температур –5–15°С прочность изменяется от 0,07 до 0,32 МПа.

Рис. 3. Поверхность среза после испытания образца однородного гранулометрического состава

Для уплотненных образцов в этих же диапазонах температуры и влажности прочность на срез увеличивается в 4,7 раза с 0,35 до 1,65 МПа (рис. 4). По отношению к неуплотненным образцам прочность увеличивается в 5 раз.

В ходе проведения испытаний на срез образцов однородного гранулометрического состава, уплотненных нагрузкой 1,6 МПа, было отмечено что, разрушающее напряжение растет равномерно, и при достижении максимума происходит мгновенный отрыв верхней части породы, находящейся в подвижной обойме, с характерным хлопком (рис. 5). Отмеченные особенности наблюдались на всех интервалах температуры и влажности.

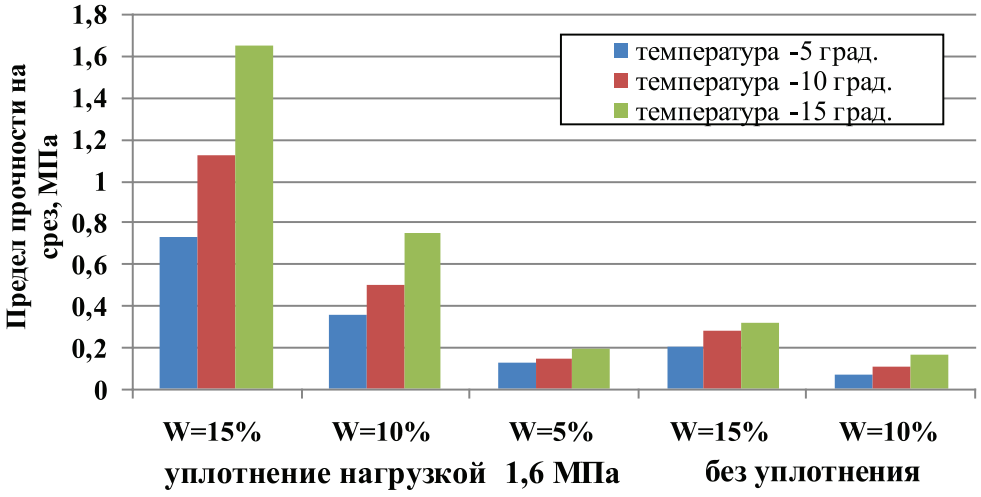

Рис. 4. Изменение прочности на срез образцов горных пород от влияющих факторов

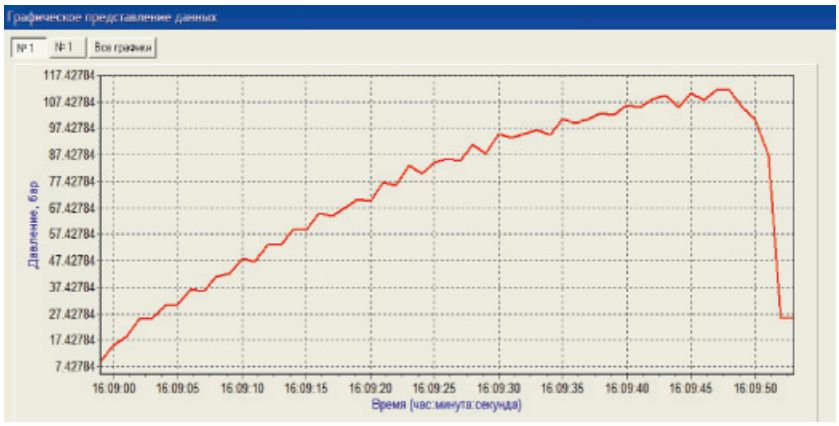

Рис. 5. Изменение давления в гидросистеме стенда при испытании уплотненного образца однородного гранулометрического состава

Выводы

Экспериментальными исследованиями на больших образцах диаметром 350 мм и высотой 175 мм установлены закономерности изменения прочности смерзшихся вскрышных пород на срез от температуры, влажности и плотности.

Отмечено, что неуплотненные образцы при влажности менее 5 % не смерзаются.

При увеличении влажности образца от 5 до 15% и понижении его температуры от –5 до –15°С прочность возрастает в 4,6 раза и достигает 0,32 МПа. С увеличением плотности до 1,89 г/см^3 прочность на срез увеличивается в 5 раз и достигает значения 1,65 МПа.

Полученные данные имеют научное и практическое значение для оценки сдвиговых характеристик смерзшихся взорванных вскрышных пород, что является основой правильного выбора выемочного оборудования и режимов его работы.

Список литературы

1. Алькова Е.Л., Панишев С.В. Методический подход к исследованию прочности смерзшихся вскрышных горных пород на сдвиг // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: http://www.science-education.ru/119-14576 (дата обращения: 21.09.2014).

2. ГОСТ 12248-2010 Межгосударственный стандарт (Грунты, методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости).

3. ГОСТ 21153.5-88 Породы горные. Метод определения предела прочности при срезе со сжатием.

4. ГОСТ 30416-96 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.

5. Ильницкая Е.И. Свойства горных пород и методы их определения: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1969. – 110 с.

6. Королев В.А. Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-геофизических и эколого-геологических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 352 с.

7. Ржевский В.В. Процессы горных работ: учебник. – М.: Недра, 1978. – 541 с.

8. Руководство по эксплуатации сдвигового прибора ВСВ-25М. Угличский экспериментальный ремонтно-механический завод.

9. Суриков В.В. Механика разрушения мерзлых грунтов. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. – 128 с.