© А.П. Винокуров, 2007

УДК 622'1:551.34(002)

А.П. Винокуров

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕРЗАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

Семинар № 4

Для горнодобывающих предприятий, расположенных в области распространения многолетней мерзлоты актуальным вопросом является решение проблем смерзаемости горных пород, как в массиве после буровзрывной подготовки, так и при их транспортировке.

Например, вскрышные породы разреза "Кангаласский", расположенного на территории Республики Саха (Якутия) склонны к вторичному смерзанию после взрывного разрушения и как показала практика работы разреза, взорванные породы по истечению определенного времени смерзаются. Этот процесс начинается сразу после взрыва, при этом его продолжительность, за которую развал горной массы набирает прочность, при которой его дальнейшая разработка невозможна, зависит от времени года.

Главными факторами, обуславливающими процесс вторичного смерзания пород, являются отрицательная температура пород и влажность на поверхности кусков горной массы. Кроме того, в различной мере оказывают влияние температура и влажность воздуха, теплофизические свойства пород, а также размеры кусков горной массы. Исследованиями установлено, что ледяные образцы смерзаются при температуре лишь на 0,0005 - 0,001 ниже 0 ^{0}С [1].

При промерзании влажных пород, соприкасающихся с элементами строительных или других конструкций, а также с природными камнями или мерзлыми породами по контакту возникает особого рода сцепление, получившее в научной литературе название смерзания. Прочность смерзания определяется прочностью контакта мерзлый грунт (материал) и приконтактного слоя породы.

Исследования процесса смерзания пород с различными материалами были начаты в нашей стране в 30-х годах Н.А. Цытовичем и Н.С. Вологдиной, а в дальнейшем, изучением этого процесса путем испытаний на сдвиг занимались и многие другие авторы, в результате которых были получены данные о прочности смерзания мерзлых грунтов с различными материалами.

Прочность смерзания мерзлых пород при сдвиге определялась как в натурных, так и в лабораторных условиях. В лабораторных условиях сопротивление сдвигу по плоскости смерзания мерзлых пород с различными материалами исследовалось, в основном, на двух типах установок. Первый тип установок предусматривает продавливание или выдергивание модели фундамента, смороженного с породой (Н.А. Цытович, А.А. Пчелинцев, И.Н. Вотяков и др.) [2-4]. Второй тип представлен сдвиговыми приборами различной конструкции, позволяющими определять прочность смерзания при различных нагрузках. Для определения прочности смерзания используются сдвиговые приборы типа ВСВ, ГГП-30 и другие. Однако все эти

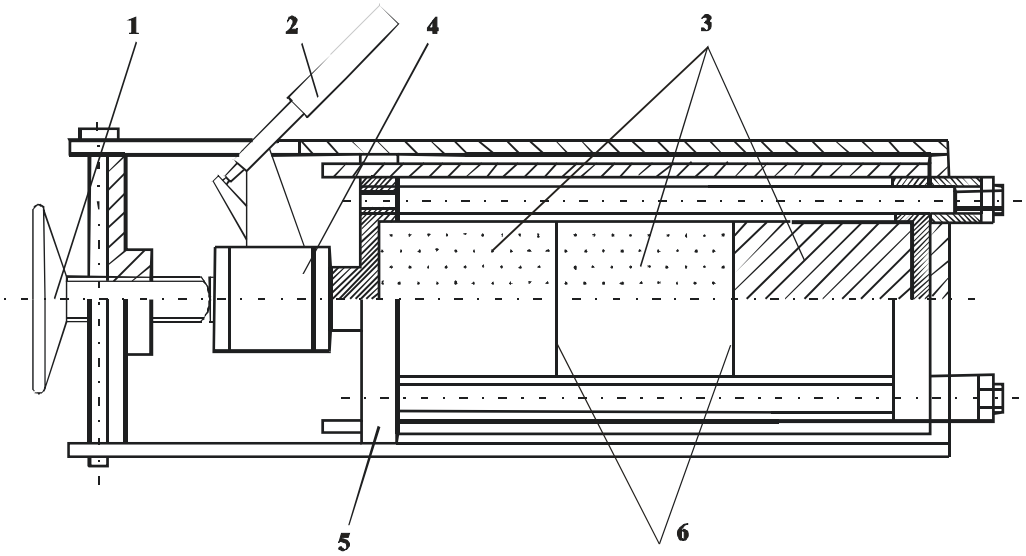

Рис. 1. Приспособление для передачи образцам горной породы нормального к плоскости смерзания давления: *1* - винт нагружения, *2* - стрелочный индикатор, *3* - образцы породы, *4* - динамометр, *5* - кассета, *6* - плоскости смораживания

приборы предназначены для испытаний немерзлых дисперсных пород, поэтому рядом авторов были разработаны сдвиговые приборы специально для определения прочности смерзания пород с материалами в мерзлом состоянии, например прибор конструкции Ю.Я. Велли и В.М. Карпова [5] и конструкции А.В. Садовского и С.Э. Городецкого [6].

Выполненный анализ показал, что известные методы и средства для изучения прочности смерзания не позволяют исследовать процесс вторичного смерзания мерзлых пород между собой, когда температура на поверхности образцов отлична от температуры в центре образца.

Проведенные исследования процесса вторичного смерзания взорванных многолетнемерзлых горных пород в натурных условиях на Кангаласском разрезе позволили только в первом приближении определить время вторичного смерзания пород, которое определялось как интервал времени, по истечении которого температура в развале горной массы стабилизировалась [7]. При этом, непосредственно не определялась прочность вторичного смерзания взорванных пород, а оценивалось влияние процесса смерзания пород на производительность шагающего экскаватора за различные периоды времени в течение года.

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.

Способ определения прочности смерзания мерзлых пород и устройство для его осуществления защищены патентом № 2075242. Данное устройство позволяет моделировать процесс

Физико-механические свойства песчаника

№	Наименование показателя	Ед, изм.	Песчаник
1	Коэффициент крепости (талое состояние) по М. М. Протодьяконову	-	0.53 - 2.8
2	Объёмный вес	г/см^3	1.72 – 2.10
3	Удельный вес	г/см^3	2.56 – 2.90
4	Угол естественного откоса	град	27 – 35
5	Угол внутреннего трения	град	6 – 29
6	Коэф. внутреннего трения	-	0.13 – 0.56
7	Пористость	%	18.1 – 38.34
8	Коэффициент пористости	-	0.22 – 0.622
9	Сцепление	-	0.05 – 0.39
10	Сдвиг при нагрузке: 1 кг	-	0.5 – 0.65
	3 кг		0.58
	5 кг		1.0 – 2.9
11	Коэффициент фильтрации	-	0.95 – 3.24

смерзаемости и измерять разрушающие сдвиговые нагрузки. Устройство (рис. 1) состоит из кассеты, приспособления для смораживания образцов, и матрицы для испытаний на сдвиг на испытательной машине.

Нагружение образцов мерзлой горной породы осуществляется с использованием приспособления для передачи образцам нормального по отношению к плоскости смерзания давления (рис. 1), в котором располагается кассета для смораживания образцов мерзлой горной породы. При этом нагружение образцов осуществляется винтом через динамометр со стрелочным индикатором.

Испытания смороженных образцов горной породы на сдвиг производятся в матрице, путем выдавливания среднего из трех образцов на испытательной машине UTS testsysteme-250. Исследования проводились на среднезернистых песчаниках вскрышной толщи разреза "Кангаласский", основные свойства которых представлены в таблице.

Породы относятся к категории слабольдистых, твердомерзлых грунтов. По данным ВНИМИ механическая прочность пород в талом состоянии в 1.5–4.5 раза меньше прочности мерзлых пород. Породы характеризуются средней прочностью на сжатие в талом состоянии – 35 кг/см^2, на растяжение – 5 кг/см^2 , сцеплением – 6,7 кг/см^2. В мерзлом состоянии прочность увеличивается почти в 2 раза и составляет: при сжатии – 67 кг/см^2, растяжении – 7 кг/см^2, сцеплении – 10-11 кг/см^2.

Следует отметить что на угольных месторождениях Якутии: Эльгинском, Олонгринском, Нерюнгринском Чульманском и др, вскрышные породы представлены однотипными средне и мелкозернистыми песчаниками, и составляют основной объём вскрыши со сходными физико-механическими характеристиками.

В результате выполненных экспериментальных исследований получены зависимости и установлено влияние всех исследуемых факторов на прочность смерзания (рис. 2-5).

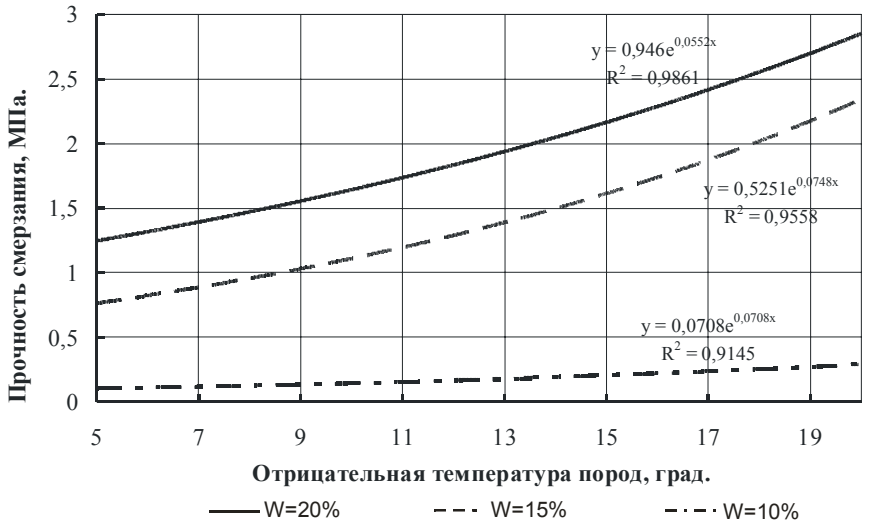

Рис. 2. Зависимости прочности смерзания от температуры пород

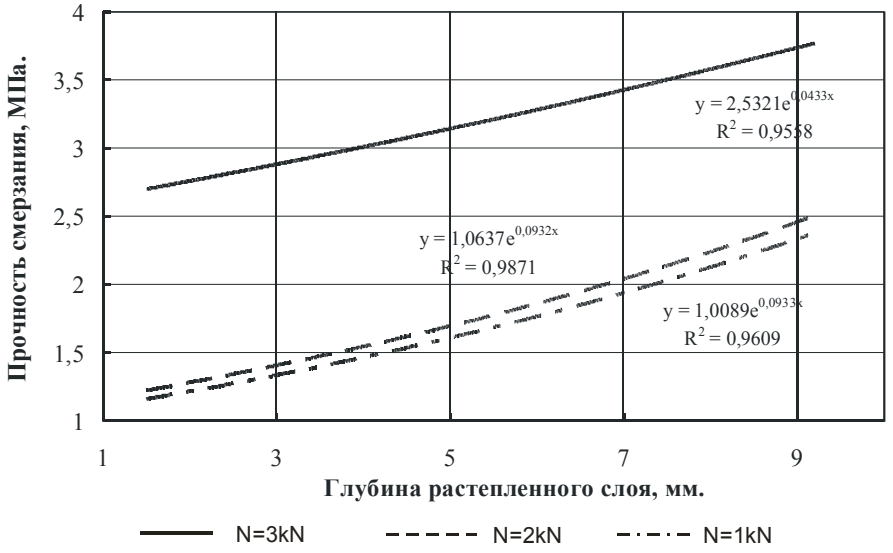

Рис. 3. Зависимости прочности смерзания от глубины растепленного слоя

При изменение температуры сморaживания с -5 ^{0}C до -20 ^{0}C для пород влажностью 10 %, 15 % и 20 % прочность возрастает в 2,2-3,1 раза. Установлено, что наибольший рост прочности смерзания происходит при температуре -20 ^{0}C и влажности пород 20 % (рис. 2). Данная закономерность получена при глубине рас-тепленного слоя образца 1,5 мм и усилии нормального давления 1kN. Анализ графиков (рис. 3) показывает, что при увеличении глубины растепленного слоя в 6 раз 1,5 до 9,2 мм

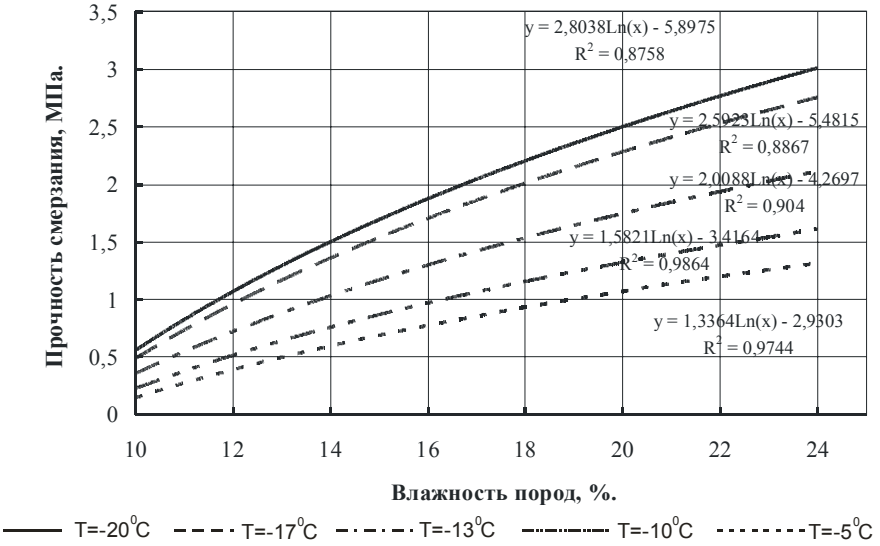

Рис. 4. Зависимости прочности смерзания от влажности пород

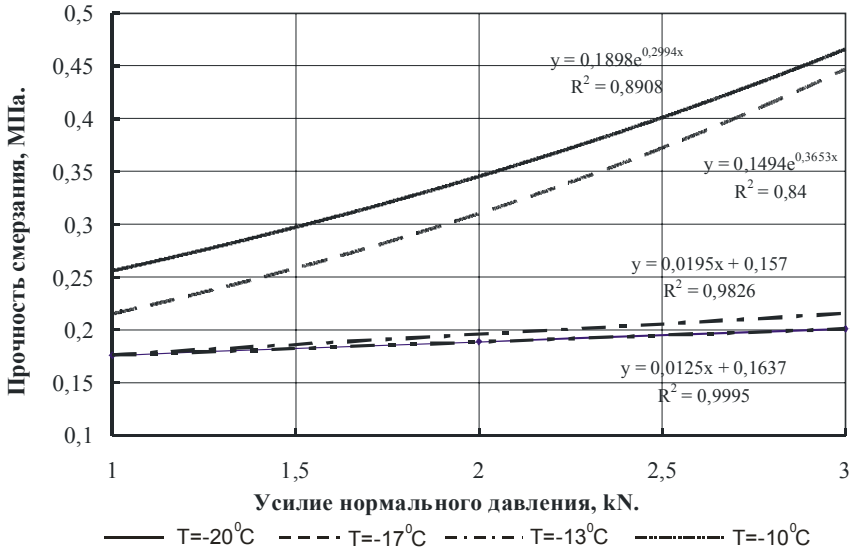

Рис. 5. Зависимости прочности смерзания от усилия нормального давления

для различных величин усилия нормального давления прочность возрастает в 1,4-2,1 раза.

При повышении влажности пород с 10 % до 24 % прочность смерзания возрастает в 8-11 раз, при этом с понижением температуры с -5 ^{0}C до -20 ^{0}C прочность смерзания возрастает всего в 2-3 раза. Наибольших значений (до 3 МПа) прочность смерзания достигает при влажности 24 % и температуре -20 ^{0}C.

Установлено изменение прочности смерзания горных пород при увели-

чении усилия нормального давления между смораживаемыми образцами в диапазоне температуры породы -10 ^{0}C - -20 ^{0}C. При изменении усилия нормального давления с 1 kN до 3 kN прочность возрастает в 1,15-1,8 раза (рис. 5). При этом максимальное значение (0,46 МПа) достигается при температуре -20 ^{0}C.

В результате исследований установлен характер изменения прочности от факторов её определяющих. Так с увеличением отрицательных температур прочность смерзания возрастает в 3,1 раза, и в 2,5 раза с ростом усилия нормального давления между образцами. Значительный рост прочности смерзания в 8-11 раз установлен при увеличении влажности горных пород, а с глубиной растепленного слоя прочность возрастает в 2,1 раза.

По результатам статистического анализа получены соответствующие корреляционные зависимости. Все корреляции имеют линейную зависимость с достоверностью 95 %:

$$P_{см} = 0,13320 \cdot W - 0,5214$$

$$P_{см} = 0,46438 \cdot N + 0,69670$$

$$P_{см} = -0,0664 \cdot T + 2,2884$$

$$P_{см} = 0,35758 \cdot H_{сл} + 0,53118$$

Выполнен регрессионный анализ с помощью системы STATICTICA 6.0. Коэффициенты регрессии для всех переменных положительные. Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$P_{см} = 0,13998 \cdot W_{пор} + 0,12724 \cdot H_{сл} + \\ +0,32712 \cdot N + 0,0342 \cdot T_{пор} - 2,77615$$

Определены основные факторы, в большей степени влияющие на прочность смерзания, это влажность горных пород и глубина растепленного слоя на контакте между кусками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарев Э.А., Файко Л.И.* О теплофизических критериях процесса смерзания // Физика льда и льдотехника. - Якутск: ЯФ СО АН СССР,1974. - С. 152-157.
2. *Цытович Н.А.* Некоторые опыты по определению сил смерзания.//Записки горного института; Ленинг.отд.Всесоюзного института сооружений. - Л., 1932 - Бюлл. N25
3. *Вотяков И.Н.* Физико-механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов Якутии. Новосибирск; Наука, 1975. 176 с.
4. *Пчелинцев А.М.* Лабораторные исследования примерзания грунтов к различным поверхностям. // Науч.труды ордена Труд.Крас.знамени НИИ оснований и подземных сооружений.- М.: Стройиздат, 1974.- Вып.64.-С. 152-157.
5. Ершов, Э.Д. Лабораторные методы исследования мерзлых пород. - М.: Изд-во МГУ, 1985. – 350 с.
6. *Садовский А.В.* Определение прочности смерзания грунта с бетоном методом плоского сдвига.// Труды Северного Отделения НИИоснований, - М., 1967. Вып. 3.
7. *Панишев С.В.* Обоснование рациональных параметров бестранспортной системы разработки многолетнемерзлых вскрышных пород. - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. – 88 с.

ГИАБ

Коротко об авторах

Винокуров А.П. – Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, г. Якутск.