

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЧНОСТИ СМЕРЗШИХСЯ ВСКРЫШНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА СДВИГ

Алькова Е.Л.¹, Панишев С.В.¹

¹Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, Россия (677980, г. Якутск, ГСП пр.Ленина, 43), e-mail: NeleAlc12@rambler.ru

В статье изложен методический подход к лабораторным исследованиям прочности смерзшихся вскрышных горных пород, отличающийся тем, что испытания пород на сдвиг производятся на искусственно созданных образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом при их различной влажности, температуре, плотности упаковки, времени смерзания и гранулометрическом составе. Для испытания таких образцов достаточно крупного размера в Институте горного дела Севера СО РАН сконструирован стенд. Конструкция сдвигового прибора обеспечивает горизонтальное сдвигающее усилие на образец до 56 тс. Разработанная методика для проведения испытаний на сдвиг позволяет оценить прочность смерзшихся пород различного гранулометрического состава, от влажности, температуры, времени смерзания и плотности упаковки, что может быть использовано при оценке трудности их экскавации в условиях вторичного смерзания. Такой подход представляет собой определенный вклад в развитие теории исследования физико-механических свойств горных пород.

Ключевые слова: методический подход, прочность смерзания, гранулометрия, сдвиг, вскрышные породы, кусковатость, образцы породы.

SYSTEMATIC APPROACH TO THE STUDY OF STRENGTH OF FROZEN OVERBURDEN ROCKS ON SHIFT

Alcova E.L.¹, Panishev S.V.¹

¹Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia (677980, Yakutsk, GSP Lenin ave., 43), e-mail: NeleAlc12@rambler.ru

The article describes the methodological approach to laboratory tests of strength of frozen overburden rock wherein the rock shear tests carried out on artificial samples are structurally comparable with exploded in their array of different humidity, temperature, density, packing, freezing time and particle size distribution. To test these samples, a sufficiently large size, the Institute of Mining of the North SB RAS designed stand. The design of the shear device provides horizontal shear force on the sample up to 56 ton. The developed method for testing the shear strength allows us to estimate of frozen overburden, various grain sizes, from the humidity, temperature and time of freezing and packing density that can be used for estimating the difficulty of excavation in a secondary freezing. This approach represents a contribution to the development of the theory of studying the physical and mechanical properties of rocks.

Keywords: Methodical approach, the strength of freezing, particle size, shift, overburden, lumpiness, rock samples.

Большое влияние на эффективность горно-добычных работ оказывает состояние взорванной горной массы. В условиях месторождений криолитозоны взорванная горная масса в забое экскаватора, несмотря на положительную температуру поверхностного слоя в весенне-осенний период года, внутри все-таки имеет отрицательную температуру, вследствие чего порода смерзается, что может привести к практической остановке ведения горных работ, так как перебуричь ее и снова взорвать обычно не представляется возможным.

Смерзание взорванных мерзлых пород сказывается на всех физических свойствах породы. Формируется особая скальная порода, имеющая в качестве цементирующего вещества лед со своеобразной ледовой (криогенной) текстурой.

Для осуществления процесса копания необходимо создать такое усилие выемочной машины, которое должно быть больше силы сопротивления копанию. Прочность вторичного

смерзания взорванных пород может оказаться выше усилий, создаваемых экскаваторами или другой техникой, и в этом случае взорванный массив может представлять собою почти непреодолимое препятствие для выемочного оборудования (особенно для экскаваторов-драглайнов). Удельное сопротивление копанию, в свою очередь, зависит от физико-технических показателей породы (влажности, температуры, гранулометрии, плотности, прочностных характеристик). В качестве физико-технической основы сопоставления пород по экскавируемости, зависящей только от свойств и состояния пород, используется относительный показатель трудности экскавации породы $\Pi_э$. Для расчета этого показателя необходимо знать предел прочности на сдвиг. В натуральных условиях не предоставляется возможности получить сдвиговые характеристики смерзшихся взорванных вскрышных пород, поэтому предусматривается проведение лабораторных испытаний на образцах.

В лабораторных условиях обычно сопротивление сдвигу по плоскости смерзания мерзлых пород исследовалось в основном на двух типах установок. Первый тип установок - это продавливание или выдергивание моделей фундамента, смороженного с породой, и второй тип представляет собой сдвиговые устройства различной конструкции, которые позволяют определять прочность смерзания в условиях различных нагрузок.

При этом существующие методики исследования пород на сдвиг предполагают образцы ненарушенного сложения природной влажности, нарушенного сложения с заданными значениями плотности и влажности, отобранные из уплотненного массива. Размеры образцов обычно не превышают 70 мм в диаметре и высотой 1/2, 1/3 диаметра. Сдвиг производится по фиксированной плоскости среза.

Отличительной чертой предлагаемого подхода исследования на сдвиг смерзшихся вскрышных пород являются исследования на образцах, структурно состоящих из отдельных неправильной формы с наполнителем, смороженных при различной температуре, влажности и плотности упаковки.

Цель исследований- установить зависимость изменения прочности смерзшихся вскрышных пород на сдвиг от гранулометрического состава, влажности, температуры и плотности упаковки.

Для определения прочностных характеристик грунтов используются такие приборы, которые в лабораторных условиях достаточно точно моделируют наблюдаемую в природе их деформацию сдвига.

Характерным видом деформации формоизменения грунта в природных условиях является – простой сдвиг. В лабораторной практике имеют большое распространение приборы одноплоскостного и двухплоскостного среза.

Испытание грунтов на сдвиг при прямом срезе производится в односрезных (а иногда и

двухсрезных) приборах. В таких приборах производится сдвиг грунта по грунту (по поверхности смерзания) или пластины из того или иного материала по грунту.

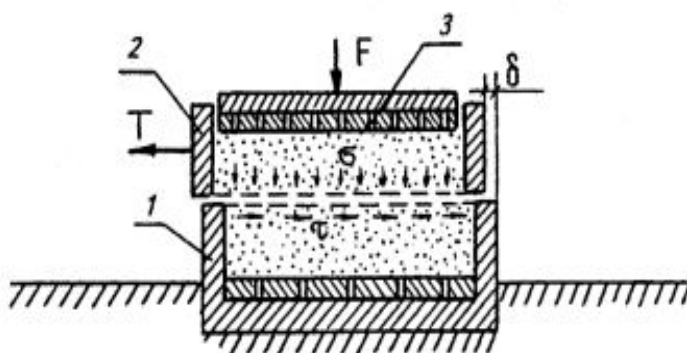


Рис. 1. Схема одноплоскостного сдвигового прибора: 1 – неподвижная обойма срезной коробки; 2 – подвижная обойма; 3 – верхний штамп.

Сущность прочностных испытаний грунтов на одноплоскостном приборе (рис.1) заключается в следующем: испытуемый образец породы помещается внутрь прибора, состоящего из подвижной верхней (2) и неподвижной нижней (1) обойм, между которыми имеется небольшой зазор. К образцу прикладывается вертикальная сжимающая нагрузка (F) через верхний штамп (3), а после прекращения осадок от этой нагрузки – горизонтальная сдвигающая сила (T). Увеличение последней производится постепенно, отдельными ступенями, с выдерживанием каждой ступени до затухания деформаций. В процессе испытаний происходит сдвиг по некоторой поверхности.

Отличием же предлагаемой методики исследований на сдвиг смерзшихся вскрышных пород является то, что исследуются монолитные образцы, не имеющие такой плоскости смерзания, содержащие включения неправильной формы и смороженные с наполнителем при различной температуре, влажности и плотности упаковки.

В Институте горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН разработан и сконструирован стенд для испытания смерзшихся пород на сдвиг (рис. 2). Принцип испытаний на стенде аналогичен испытаниям на других сдвиговых приборах. Испытания проводятся в срезной коробке, состоящей из подвижной и неподвижной обойм с внутренним диаметром 350 мм и высотой 175 мм. Для создания горизонтальной сдвигающей силы применяется гидравлический домкрат с гидравлическим возвратом штока марки ДУ50Г100 и ручной насос с распределителем (НРГ-7035 Р). Конструкция сдвигового прибора обеспечивает горизонтальное сдвигающее усилие на образец до 56 тс.

Отличие от других подобных приборов в том, что испытаниям подвергаются достаточно большие образцы смерзшихся пород, поэтому формированию образца уделяется особое внимание.



Рис. 2. Стенд для испытания смерзшихся вскрышных пород на сдвиг.

Известно, что прочностные свойства горных пород желательно определять на образцах большого размера. Если по какой-либо причине этого сделать нельзя, то минимальный образец должен выбираться таким, чтобы он обладал всеми свойствами породы, которую он представляет. Такой элементарный объем должен быть достаточным, чтобы наличие в нем всех характерных для данной породы структурных и текстурных элементов, а также их соотношения соответствовали наличию и соотношению их в достаточно больших объемах. Для большинства горных пород рекомендуется минимальный размер образца выбирать большим, чем 6-7 средних диаметров зерен породы [6].

По данным практики, исходя из кусковатости исследуемого взорванного массива Кангаласского угольного разреза, средний размер кусков составляет 300 мм. На основе положений теории подобия, предусматривающей геометрическое подобие образца и природы, геометрическое подобие гранулометрических составов, равенство объемных весов, геометрический масштаб принимается 1:1000. Поэтому при формировании образца принимается средний размер кусков 30 мм. Наименьший диаметр исследуемого образца, исходя из 7 средних диаметров зерен, составляет 210 мм.

В работах В.Н. Тайбашева [5 и др.] установлено, что при длительных испытаниях прочность кубика супесчаного гравия с галькой размером 200×200×200 мм практически соответствует прочности образца неограниченно большого размера.

Исходя из расчетов исследуемый образец имеет размеры: 350 мм в диаметре и 175 мм в высоту. Выбранный размер образца для лабораторных испытаний соответствует всем перечисленным параметрам (диаметр исследуемого образца более 7 средних диаметров зерен).

Известно, что на процесс вторичного смерзания оказывает влияние давление, с которым куски горной массы прижимаются друг к другу во взорванном развале, температура

пород, температура и влажность воздуха, время смерзания [2; 4]. Также на прочность смерзания влияют физико-механические свойства пород, в частности влажность и гранулометрический состав. Поэтому при исследованиях принимаются три параметра нормального давления: без уплотнения, 1,6 МПа и 3,1 МПа, что соответствует давлению на поверхности развала, на глубине 10 и 20 м.

Подготовка образца состоит из двух этапов. Первый этап – подготовка гранулометрического состава образца, т.е. отдельностей (кусков) неправильной формы. Второй этап – изготовление образца для испытания на сдвиг путем перемешивания отдельностей с наполнителем из песчаника в различном соотношении. Гранулометрический состав образца и его наполнитель состоят из взорванных вскрышных пород Кангаласского месторождения, представляющих собой средне- и мелкозернистые песчаники.

1 этап. В специально изготовленную разъемную цилиндрическую форму (гильзу), объемом, соизмеримым с объемом испытуемого образца, помещается перемешанная до однородного состояния порода (средне- и мелкозернистый песчаник) соответствующей влажности (согласно заданию на эксперимент). Порода уплотняется до состояния нормального напряжения, существующего в ненарушенном массиве Кангаласского месторождения, которое соответствует 0,03 МПа. Гильза с породой устанавливается в климатическую камеру БСК-60/100 и замораживается до заданной температуры. Смороживание производится при температурах: -5, -10, -15 °С. Выдерживание образца в холодильной установке длится до тех пор, пока температура в центре образца, с установленным в нем термодатчиком, не уравнивается с заданной. При различной влажности образца время смороживания будет различно и устанавливается экспериментально. Далее в эксперименте принимается максимальное время смороживания образца с учетом всех влияющих факторов.

Замороженный образец вынимается из формы, разбивается и просеивается на ситах требуемого размера: 20, 30, 40 мм. Работы проводятся в морозильной камере, для предотвращения оттаивания.

2 этап. Отсортированные мерзлые куски неправильной формы выдерживаются при комнатной температуре до появления конденсата на поверхности для лучшего сцепления с наполнителем. Экспериментально установлено, что время для появления конденсата составляет не более 5 мин, так как далее идет разрушение граней отдельностей.

Затем работы производятся в морозильной камере. Наполнитель, пески мелко- и среднезернистые в талом состоянии (положительной температуры заданной влажности) а также подготовленные куски неправильной формы перемешиваются в отдельно подготовленной таре и укладываются в разъемную гильзу сначала без уплотнения, следующая группа испытаний проводится в уплотненном состоянии согласно заданию эксперимента.

Наполнитель берется в различном соотношении (10, 20, 30%) и различной влажности (10, 15, 20%).

При условии уплотнения образец помещают в прибор, который состоит из реечного пресса и динамометра со стрелочным индикатором. Уплотнение производится с усилием, соответствующим условию в задании на проведение эксперимента.

Далее форма с образцом устанавливается в климатическую камеру БСК-60/100, где производится замораживание до заданной отрицательной температуры (-5, -10, -15°C). Во избежание потери влажности в климатической камере форма оборачивается в полиэтиленовую пленку, т.к. замораживание в климатической камере происходит за счет напорного воздушного охлаждения. По истечении времени образцы извлекают из формы, и проверяется однородность уплотнения образцов путем акустических замеров с помощью прибора A-line 32D или «Прочность-1», предназначенных для регистрации и измерения параметров сигналов акустической и электромагнитной эмиссии. Проверка однородности образцов заключается в измерении скорости прохождения волн в образце [1; 3]. Если полученные результаты измерений каждого образца одинаковые или имеют незначительные расхождения (не больше 10% при степени надежности 0,95 по ГОСТ – 21153.7-75), то их можно считать однородно уплотненными образцами. При этом все результаты проверяются по статистической обработке данных исследований.

Работы по подготовке образца выполняются в морозильной камере, в шерстяных перчатках. Перемещение образца от климатической камеры до сдвигового прибора производят на тележке в термоупаковке.

Подготовленный таким образом испытуемый образец укладывается в нижнюю неподвижную кассету-обойму срезной коробки и закрывается верхней подвижной обоймой. Сверху на образец через динамометр регулировочным винтом прикладывается усилие в 1 кН для исключения смещения образца в вертикальной плоскости и создания одинаковых условий эксперимента.

Испытание образца проводится при плавном увеличении величины сдвигающей нагрузки. Испытание следует считать законченным, если при приложении сдвигающей нагрузки происходит мгновенный срыв одной части пород, находящейся в верхней кассете, по отношению к находящейся в нижней кассете или общая деформация сдвига превысит 5 мм. Значения сопротивления сдвигу фиксируются по цифровому манометру МА100Ц.

Первая серия опытов проводится с образцом, изготовленным из наполнителя естественной влажности без включения отдельностей неправильной формы и без уплотнения. В последующих сериях эксперимент проводится с отдельностями и наполнителем заданной влажности (10, 15, 20%), и образец нагружается согласно заданным параметрам с варьируемыми параметрами гранулометрического состава, температуры и плотности

упаковки.

В ходе эксперимента по полученным данным строятся графики изменения прочности смерзшихся взорванных пород на сдвиг в зависимости от гранулометрического состава, влажности, температуры, времени смерзания и плотности упаковки.

Представленный методический подход для лабораторных исследований прочности смерзшихся вскрышных горных пород отличается тем, что испытания пород на сдвиг производятся на искусственно созданных образцах, структурно сопоставимых с взорванным массивом при их различной влажности, температуре, плотности упаковки, времени смерзания и гранулометрическом составе.

Заключение. Разработанная методика позволит оценить прочность смерзшихся вскрышных пород различного гранулометрического состава в зависимости от влажности, температуры, времени смерзания и плотности упаковки, что может послужить в дальнейшем основой при оценке трудности их экскавации, выборе типа, модели выемочной машины и разработке мероприятий борьбы с повторным смерзанием взорванной горной массы.

Список литературы

1. ГОСТ 21153.7-75 Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн.
2. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С. Свойства горных пород и методы их определения. - М.: Недра, 1969. – 392 с.
3. Регистратор формы импульсов электромагнитной эмиссии для контроля качества диэлектрических материалов «Прочность-1».
4. Скуба Л.П. Исследование влияния физико-географических факторов на эффективность освоения месторождений Севера и Дальнего Востока (на примере Нерюнгринского угольного месторождения): дис. ... докт. тех. наук. – М., 2000. – 445 с.
5. Тайбашев В.Н. Физико-механические свойства мерзлых крупнообломочных пород. – Магадан: ВНИИ-1, 1973. – 156 с.
6. Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. - М.: Недра, 1982. - 296 с.

Рецензенты:

Курилко А.С., д.т.н., зам. директора по научной работе ИГДС СО РАН, г. Якутск;
Заровняев Б.Н., д.т.н., профессор, директор Горного института СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск.