

Паньков Иван Леонидович

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Разработка месторождений
полезных ископаемых»,
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29
Тел. +7 (342) 2-198-438,
e-mail: ivpan@mi-perm.ru

Морозов Иван Александрович

студент горно-нефтяного факультета,
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д. 29
Тел. +79194528453,
e-mail: ivan.morozov.perm@yandex.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ МЕЖДУ
ТОРЦАМИ ОБРАЗЦОВ РАЗЛИЧНОЙ
ВЫСОТЫ И ПЛИТАМИ ПРЕССА
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
СОЛЯНЫХ ПОРОД**

Аннотация:

Определен характер влияния коэффициента трения между торцами образца и плитами пресса на значения предела прочности, разрушающей деформации, удельной энергоёмкости деформирования, модуля спада соляных пород, получаемые при сжатии образцов различной высоты. Полученные результаты предназначены для совершенствования методики испытания горных пород на одноосное сжатие.

Ключевые слова:

одноосное сжатие, торцевые условия, коэффициент трения, предел прочности, разрушающая деформация, удельная энергоёмкость деформирования, модуль спада

Pankov Ivan Leonidovich

Candidate of Engineering Sciences,
The Permian National Research
Polytechnic University, assistant professor
614990, Permian krai,
Komsomolsky prospect, 29
Tel. +7 (342) 2-198-438,
e-mail: ivpan@mi-perm.ru

Morozov Ivan Aleksandrovich

The Permian National Research
Polytechnic University, student
614990, Permian krai,
Komsomolsky prospect, 29
Tel. +79194528453,
e-mail: ivan.morozov.perm@yandex.ru

**RESEARCHING THE INFLUENCE OF
FRICTION RATIO BETWEEN SAMPLES
OF VARIOUS HEIGHT AND PRESS
PLATES ON THE VALUES OF SALT
ROCKS' MECHANICAL PROPERTIES**

Annotation:

The influence pattern of friction ratio between samples and press plates on ultimate strength, breaking strain, specific power intensity of deforming and salt rocks modulus fall obtained during compression tests on samples of various heights is defined. The results obtained are intended for improvement the methodology of rock salt uniaxial compression tests.

Key words:

uniaxial compression, butt conditions, friction ratio, ultimate strength, breaking strain, specific power intensity of deforming, modulus of fall.

Для обеспечения безопасности ведения горных работ на всех стадиях горного производства необходимым условием является наличие объективной информации о свойствах пород, базирующейся на современных экспериментальных и теоретических методах их определения [1]. Важнейшим условием безопасного ведения горных работ является соответствие параметров системы разработки горно-геологическим условиям конкретных отрабатываемых участков. При расчете параметров системы разработки одним из основных показателей устойчивости горных выработок является предел прочности на одноосное сжатие. Несмотря на то что ГОСТ 21153.2-84 [2] регламентирует условия проведения лабораторных испытаний по определению предела прочности, при массовых испытаниях горных пород не всегда есть возможность провести эксперимент в соответствии с установленными требованиями.

Как известно, значение предела прочности, получаемое при одноосном сжатии, значительно зависит от величин сил трения между торцами образца и плитами пресса [3, 4, 5, 6]: с возрастанием силы трения фиксируется увеличение значения предела прочности, при этом интенсивность ее влияния на получаемое значение показателя с увеличением высоты образца снижается. Наблюдаемый факт упрочнения образца объясняется формированием неоднородного напряженного состояния его приконтактных зон и выражается в образовании «конусов трения». В свою очередь снижение трения ведет к столбчатому разрушению образца за счет прорастания субвертикальных трещин без образования «конусов трения» [3, 5].

Несмотря на существенное влияние трения на характер деформирования и разрушения, ни в одной из указанных работ не приводятся значения зависимости влияния коэффициента трения на определяемые механические показатели. Таким образом, для совершенствования методики испытания горных пород актуальными являются исследования, направленные на изучение влияния коэффициента трения на механические показатели пород при сжатии.

Исследование влияния коэффициента трения между торцами и плитами пресса на механические показатели пород при сжатии образцов различной высоты проводилось на примере 49 образцов тонко-среднеслоистой каменной соли Усть-Яйвинского участка Верхнекамского калийного месторождения.

Коэффициенты трения определялись на универсальном испытательном комплексе «MTS 816» на образцах высотой 30 мм и диаметром 100 мм для контактов «соль-фторопласт», «соль-металл», «соль-абразивный материал» (абразивный материал - шкурка марки 12-Н СФЖ У1С). С этой целью образец фиксировался в нижней матрице испытательной установки с помощью раствора гипса, а к верхней матрице жестко крепились испытываемые материалы: абразивный материал, лист фторопласта, специально изготовленная металлическая пластина. Каждый образец проходил серию экспериментов при разных величинах вертикальной нагрузки: от 2,4 до 55,2 МПа с шагом 4,8 МПа. Схема нагружения образца, помещенного в испытательную установку, приведена на рис. 1.

По результатам испытаний для каждого образца строилась зависимость силы трения $F_{тр}$, возникающей между испытываемым материалом и торцом образца, от перемещения h нижней матрицы установки с помещенным в нее образцом относительно верхней матрицы (рис. 2).

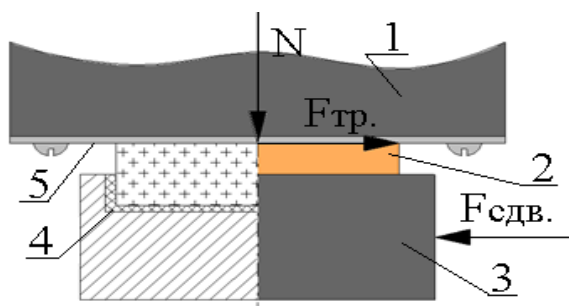


Рис. 1 – Схема нагружения образца при испытании на «трение»:

1 – верхняя матрица; 2 – образец каменной соли;
3 – нижняя матрица; 4 – слой гипса;
5 – пластина с прикрепленным испытываемым материалом.

N – вертикальная сила,

$F_{тр}$ – сила трения между образцом и испытываемым материалом,

$F_{сдв}$ – сдвиговая сила

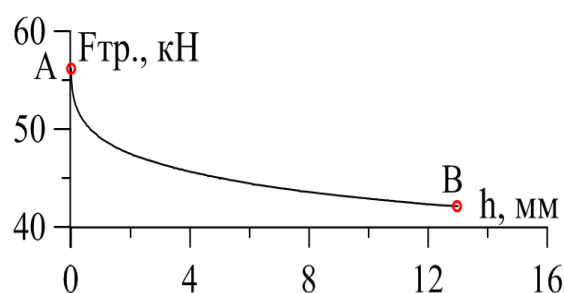


Рис. 2 – Зависимость силы трения $F_{тр}$ от перемещения h одного из образцов относительно верхней матрицы установки: А и В – точки, соответствующие силам трения покоя и скольжения

Определение коэффициента трения покоя, соответствующего пиковому значению силы трения, и коэффициента трения скольжения, определяющего величину силы трения скольжения, оказывающей сопротивление движению в процессе перемещения образца по испытываемому материалу, осуществлялось согласно закону Амонтона [7, 8]:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N},$$

где μ – коэффициент трения покоя (скольжения); N – вертикальная сила, действующая на образец в испытательной установке; – сила трения между образцом и испытываемым материалом, которая определялась в точках А и В (рис.2), соответствующих силе (коэффициенту) трения покоя (точка А) и силе (коэффициенту) трения скольжения (точка В).

Искомые значения коэффициентов трения покоя и скольжения (табл. 1) определялись как средние значения по трем образцам для каждого типа контакта.

Таблица 1

Значения коэффициентов трения различных типов контактов

Контакт	Коэффициент трения покоя	Коэффициент трения скольжения
«Соль-абразивный материал»	0,50 ±0,1	0,33 ±0,09
«Соль-металл»	0,30 ±0,03	0,23 ±0,03
«Соль-фторопласт»	0,05 ±0,01	0,01 ±0,004

Испытания на сжатие проводились на образцах диаметром 100 мм и отношением высоты к диаметру 0,75; 1,00; 1,25; 1,50 на испытательной установке «ТониНорм 2041» при определенных ранее торцевых условиях.

На рис. 3а, 3б, 3в представлены фотографии образцов, испытанных на сжатие, с отношением высоты к диаметру, равным 1. На рис. 3, а представлен образец, испытанный при контакте «соль-абразивный материал». В данном случае на торцах наблюдалось образование ярко выраженных «конусов трения» (рис. 3, а). При испытании образца, контактирующего с металлом, также наблюдалось образование «конусов трения» (рис. 3, б), но с менее четкой границей. Рис. 3, в соответствует столбчатому разрушению образца, испытанному при контакте «соль-фторопласт», без образования «конусов трения» за счет прорастания субвертикальных трещин. Полученные типы разрушения соответствуют данным [3, 5, 6].

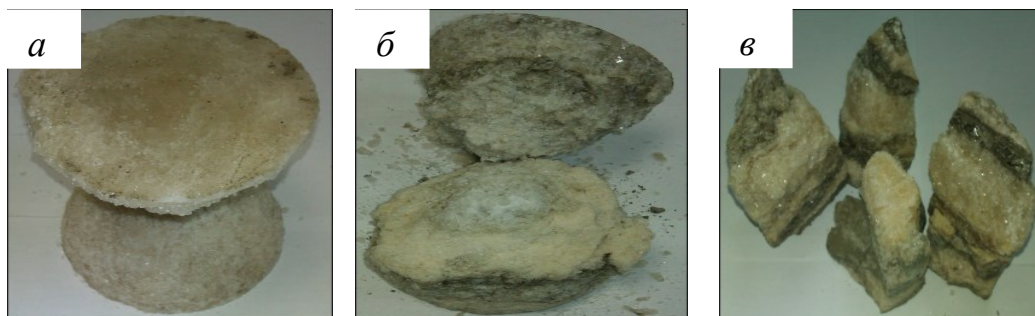


Рис. 3 – Разрушение образцов каменной соли с отношением высоты к диаметру 1 при различных торцевых условиях:

а – сжатие по абразивному материалу; б – сжатие по металлу; в – сжатие по фторопласту

По результатам экспериментов на сжатие каждого образца строилась полная диаграмма деформирования (рис. 4), и по методике, описанной в [4], определялся следующий комплекс механических показателей: предел прочности, разрушающая деформация, предел упругости, упругая деформация, секущий модуль деформации (тангенс угла наклона прямой, проходящей через начало координат и точку на диаграмме деформирования, соответствующую пределу прочности), касательный модуль деформации (тангенс угла наклона линейной части диаграммы деформирования, соответствующей упругой области), модуль упругости, модуль спада (тангенс угла наклона линейной части диаграммы деформирования, соответствующей запредельной области деформирования), удельная энергоемкость деформирования.

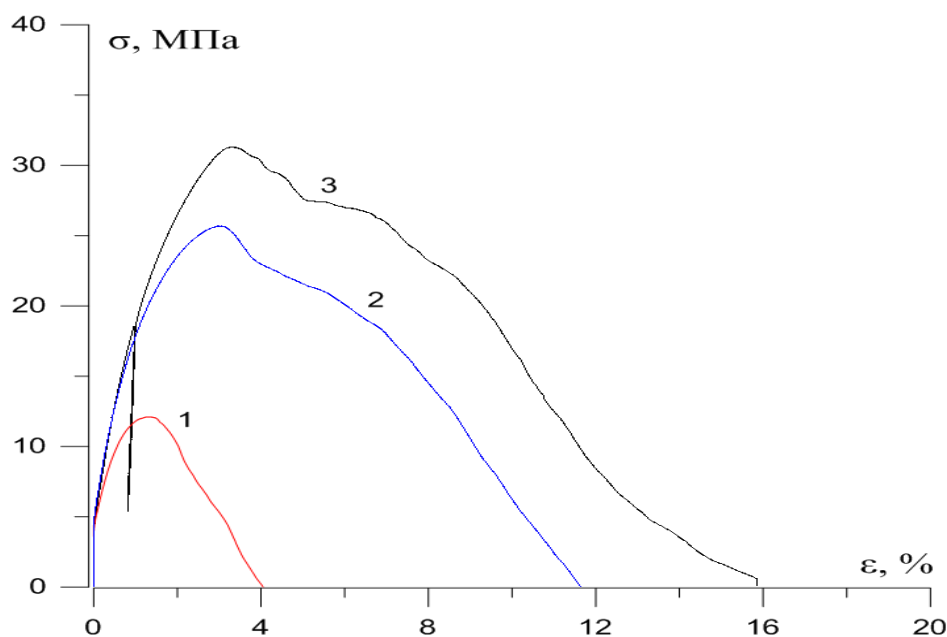


Рис. 4 – Характерные диаграммы деформирования, полученные при сжатии образцов каменной соли с отношением высоты к диаметру 1 для торцевых условий:

1 – «соль-фторопласт»; 2 – «соль-металл»; 3 – «соль-абразивный материал»

Для анализа полученных данных экспериментальных исследований построены качественные зависимости влияния коэффициента трения покоя между торцами образца и плитами пресса при сжатии образцов каменной соли различной высоты на предел прочности (рис. 5, а), разрушающую деформацию (рис. 5, б), удельную энергоемкость деформирования (рис. 5, в), модуль спада (рис. 5, г).

На рис. 5, а видно, что при отношении высоты к диаметру образца 0,75 и увеличении коэффициента трения покоя с 0,1 до 0,5 происходит рост значения предела прочности с 22 до 36 МПа. При этом разрушающая деформация возрастает с 3 до 7% (рис. 5, б), удельная энергоемкость деформирования – с 0,5 до 4,5 МДж/м³ (рис. 5, в). Увеличение отношения высоты к диаметру с 0,75 до 1,50 ведет к снижению влияния коэффициента трения на значения предела прочности, разрушающей деформации и удельной энергоемкости деформирования. Так для образцов с отношением высоты к диаметру 1,50 увеличение коэффициента трения с 0,1 до 0,5 влечет за собой рост значения предела прочности с 20 до 24 МПа (рис. 5, а), разрушающей деформации – с 2 до 3% (рис. 5, б), удельной энергоемкости деформирования – с 0,5 до 1,0 МДж/м³ (рис. 5, в). При увеличении отношения высоты к диаметру образца с 0,75 до 1,50 наблюдается рост модуля спада: при отношении высоты к диаметру 0,75 модуль спада с увеличением коэффициента трения с 0,1 до 0,5 изменяется с 0,8 до 0,4 ГПа, а при отношении высоты к диаметру 1,50 – с 1,6 до 0,8 ГПа (рис. 5, г).

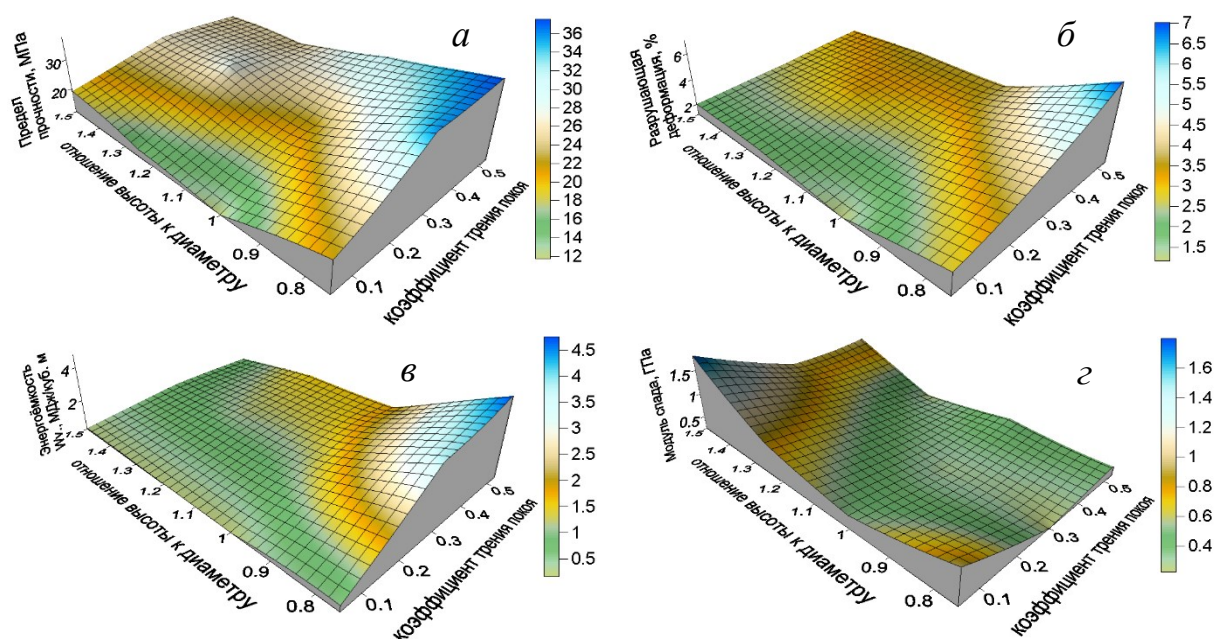


Рис. 5 – Характер изменения *а* – предела прочности; *б* – разрушающей деформации; *в* – удельной энергоемкости деформирования; *г* – модуля спада при сжатии каменной соли в зависимости от коэффициента трения покоя и высоты образца

В ходе экспериментальных исследований по изучению влияния торцевых условий на механические показатели соляных пород при сжатии образцов различной высоты определены коэффициенты трения контактов: «соль-абразивный материал», «соль-металл», «соль-фторопласт»; проведены экспериментальные исследования по сжатию образцов соляных пород при определенных ранее контактных условиях; определен характер влияния торцевых условий и высоты образца на предел прочности, разрушающую деформацию, удельную энергоемкость деформирования, модуль спада.

Установлено, что с ростом высоты образца и уменьшением коэффициента трения между его торцами и плитами пресса наблюдается снижение предела прочности, уменьшение удельной энергоемкости деформирования и разрушающей деформации. При этом фиксируется увеличение модуля спада.

Также необходимо отметить, что наиболее полно условия одноосного сжатия обеспечиваются при контакте «соль-фторопласт», о чем свидетельствует столбчатое разрушение высоких образцов при данном контакте за счет прорастания субвертикальных трещин.

В рамках дальнейших исследований планируется провести серию дополнительных испытаний с целью повышения статистической значимости экспериментальных данных и определения функциональных зависимостей вида

$$P_0 = f\left(P, \frac{h}{d}, \mu\right), \quad (1)$$

где P_0 – значение механического показателя, соответствующее одноосному сжатию, которое определяется как функция f от значения механического показателя P , полученного при лабораторных испытаниях на сжатие в условиях, несоответствующих условиям одноосного сжатия («одноосное сжатие» с высокими значениями коэффициентов трения на контактах), отношения высоты к диаметру образца $\frac{h}{d}$ и коэффициента трения покоя μ между торцами образца и плитами пресса.

При оценке устойчивости соляного массива ведущую роль играют прочностные характеристики, получаемые на образцах в лабораторных условиях.

В настоящее время зависимости, применяемые для расчета значений механических показателей соляных пород, в явном виде не содержат коэффициентов трения [9]. Зависимости вида (1) позволят более точно определять показатели соляных пород, что в свою очередь повысит точность оценки устойчивости элементов системы разработки.

Литература

1. Барях А.А. Фундаментальные основы мониторинга безопасности освоения георесурсов в сложных горно-геологических условиях / А.А. Барях// «Дни наук о Земле на Урале». Круглый стол «Горно-металлургический комплекс Урала – современные проблемы и пути их решения»: материалы всероссийской научной конференции с международным участием – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2012. –160 с.
2. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии.– М.: Изд-во стандартов, 1985. –10 с.
3. Проскуряков Н.М. Физико-механические свойства соляных пород / Н.М. Проскуряков, Р.С. Пермяков, А.К.Черников. – Л.: Недра, 1973.–271 с.
4. Барях А.А.Физико-механические свойства соляных пород Верхнекамского калийного месторождения: учеб. пособие / А.А. Барях, В.А. Асанов, И.Л. Паньков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008.– 199 с.
5. Баклашов И.В. Геомеханика: учебник для вузов: в 2 т. / И.В.Баклашов. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – Т. 1. Основы геомеханики.– 208 с.
6. Карташов Ю.М. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М.Карташов и др. – М.: Недра, 1979.– 269 с.
7. Пенкин Н.С. Основы трибологии и триботехники: учеб. пособие / Н.С. Пенкин, А.Н. Пенкин, В.М. Сербин. – М.: Машиностроение, 2008.– 206 с.
8. Тагильцев С.Н. Базовые понятия геомеханики – трение и деформация / С.Н. Тагильцев // Геомеханика в горном деле: доклады научно-технической конференции 12 - 14 октября 2011 г. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012.–261 с.
9. Указания по защите рудников от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных горных разработок в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей.– Л.: ВНИИГ, 2004. –88с.