

УДК 622.831

В.А. Асанов, И.Л. Паньков, Н.Л. Бельтюков

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА
В СОЛЯНЫХ ПОРОДАХ ПРИ СЛОЖНОМ
НАПРЯЖЁННОМ СОСТОЯНИИ ***

Приведены результаты исследований масштабного эффекта структурно-нарушенных образцов соляных пород при сдвиговых испытаниях. Установленные закономерности влияния размеров образцов на основные деформационные и прочностные параметры показали, что в соляных породах масштабный эффект носит неявный характер.

Ключевые слова: соляные породы, масштабный эффект, глинистый контакт, сдвиг, прочность.

Геомеханическая оценка устойчивости элементов камерной системы разработки, применяемой на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС), базируется на прочностных и деформационных параметрах, полученных при испытаниях образцов на сжатие. Согласно нормативным документам [1], экстраполяция результатов лабораторных исследований на новый пространственный уровень должна проводиться с учетом влияния масштабного эффекта. Вместе с тем, на сегодняшний день масштабный эффект в соляных породах изучен недостаточно – в большинстве опубликованных работ основное внимание уделяется изменению прочности в зависимости от размеров исследуемого образца при одноосном сжатии [2, 3, 4], и, фактически, вопрос влияния размеров образца на механические характеристики в сложном напряженном состоянии ос-

тается неисследованным.

Актуальность проведения данных исследований обусловлена тем, что массив горных пород ВКМКС имеет слоистое строение и представляет собой чередование соляных слоев и слабых глинистых прослоев (контактов), по которым, как правило, происходит разрушение приконтурных пород в режиме сдвига. В рамках изучения данного вопроса были проведены экспериментальные исследования деформирования образцов соляных пород с глинистыми контактами различных размеров при сложном нагружении.

Изучение прочностных и деформационных свойств глинистых контактов выполнялось на сервогидравлическом испытательном комплексе «MTS-816» (рис. 1), позволяющем проводить испытания глинистого прослоя в режиме «сдвиг со сжатием» (рис. 2). Особенностью испытательного комплекса является возможность

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 09-05-00837-а), а также в рамках программы поддержки научных проектов молодых учёных Уральского отделения РАН (проект № 10-5-НП-490).



Рис. 1. Испытательный комплекс «MTS-816»

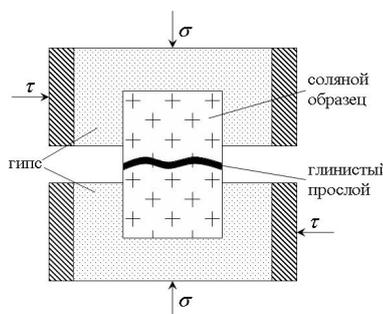


Рис. 2. Схема испытания образцов

проводить эксперимент на достаточно представительных образцах соляных пород с линейными размерами до 20 см.

Используемое экспериментальное оборудование имеет следующие технические характеристики: вертикальное усилие в режиме сжатия – 496 кН; усилие в режиме растяжения – 291 кН; максимальное сдвиговое усилие – 261 кН. Контроль горизонтальных смещений по контакту осуществлялся с помощью двух индуктивных датчиков перемещения LVDT, с точностью измерения 0,001 мм. Вертикальные смещения (дилатансия) и перекос образца контролировались четырьмя аналогичными датчиками, расположенными по углам матрицы. Результаты эксперимента фиксировались в автоматическом режиме в памяти персонального компьютера. Одним из достоинств испытательных комплексов MTS является поставляемое в комплекте с оборудованием универсальное программное обеспечение MultiPurpose TestWare, позво-

ляющее изменять условия эксперимента в достаточно широком диапазоне.

Для проведения исследований из монолитов сильвинитовых пород были изготовлены образцы различных линейных размеров (высотой 15 см и поперечным сечением 15x15, 10x10 и 7x7 см) со структурными нарушениями (глинистыми контактами). Образцы имели относительно ровный глинистый прослой толщиной, в среднем, 2-6 мм. Для сопоставления результатов параллельно изготавливались аналогичные образцы без нарушений сплошности (однородные по строению).

При подготовке к эксперименту образец устанавливался в специальных матрицах с последующей фиксацией его с помощью раствора гипса, при этом ориентация контакта была параллельна горизонтальной плоскости сдвигового прибора (рис. 2). Быстрое схватывание гипса исключило возможность растворения соли и увлажнения глинистого контакта.

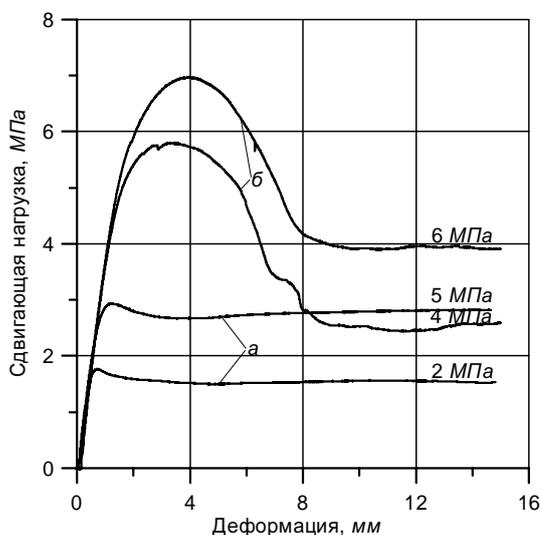


Рис. 3. Типичные диаграммы деформирования образцов соляных пород: а – с глинистым прослоем, б – без глинистого прослоя

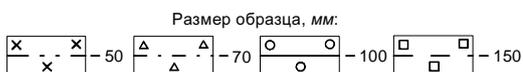
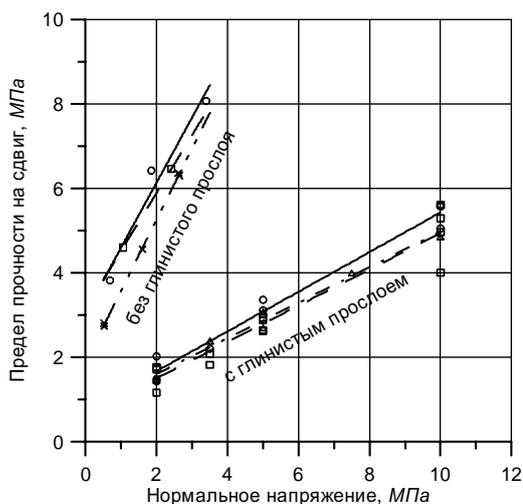


Рис. 4. Паспорта прочности образцов соляных пород различных линейных размеров, включающих глинистый прослой, и цельных образцов

Подготовленный образец выдерживался не менее суток для достижения гипсом необходимой прочности. Матрицы с образцом устанавливались в сдвиговой прибор, где осуществлялось его нагружение.

В начале эксперимента проводилось поджатие в направлении, перпендикулярном плоскости контакта, а затем сдвиговой нагрузкой образец доводился до разрушения. Испытания выполнялись в режиме заданных сдвиговых деформаций со скоростью 1 мм/мин на следующих уровнях вертикального поджатия: 0,5; 2,0; 3,5; 5,0 и 10,0 МПа. В процессе испытания фиксировались величины вертикальной и сдвиговой нагрузки, а также вертикального и горизонтального смещения. Для каждого уровня вертикальной нагрузки испытывалось не менее трёх образцов по каждому из исследуемых размеров.

По результатам испытаний строились диаграммы деформирования (зависимости сдвигового напряжения от деформации сдвига, рис. 3). По данным диаграммам определялись деформационные и прочностные параметры согласно методике [3], а также строились паспорта прочности (зависимости предельного сдвигающего напряжения от нормального напряжения) образцов различных линейных размеров (рис. 4). По паспортам прочности определялись механические характеристики соляных пород (табл. 1): коэффициент сцепления (C), тангенс угла внутреннего трения ($tg\phi$).

Анализ паспортов прочности выявил, что механические характеристики образцов с глинистым контактом в несколько раз ниже, чем характеристики соляных образцов без контакта (табл. 1). Это говорит о том,

Механические характеристики соляных пород

Наличие структурных нарушений в образце	Линейный размер образца, мм	C, МПа	tgφ
с глинистым прослоем	70	0,76	0,42
	100	0,87	0,46
	150	0,64	0,43
без глинистого прослоя	50	1,89	1,69
	100	3,06	1,54
	150	3,15	1,37

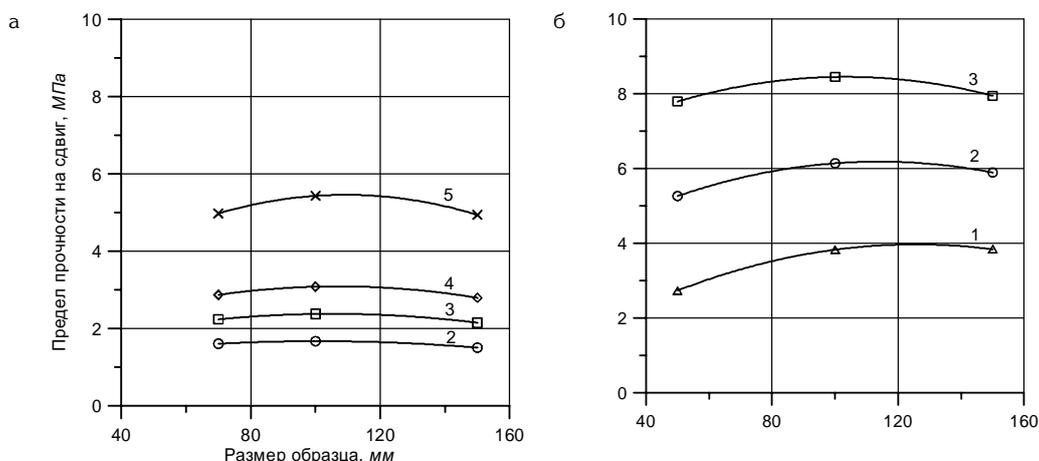


Рис. 5. Зависимости предела прочности на сдвиг от размеров образцов при разных уровнях вертикального поджатия: 1 – 0,5 МПа; 2 – 2 МПа; 3 – 3,5 МПа; 4 – 5 МПа; 5 – 10 МПа; а – образцы с глинистым прослоем; б – образцы без глинистого прослоя

что глинистые прослои существенно уменьшают прочностные свойства вмещающих пород и являются наиболее слабым звеном соляного массива. При различных уровнях нормального напряжения были построены зависимости предела прочности на сдвиг от размеров для образцов с глинистым прослоем (рис. 5, а) и без глинистого прослоя (рис. 5, б).

Анализ результатов исследований показал, что при увеличении размеров образцов соляных пород от 50 до 100 мм отмечается повышение предела прочности на сдвиг, а при дальнейшем увеличении размеров от 100 до 150 мм – небольшое понижение для всех уровней вертикального под-

жатия (рис. 5). При этом, в образцах с глинистым контактом масштабный эффект проявляется менее отчётливо.

Таким образом, в результате проведённого комплекса исследований были получены корреляционные закономерности изменения прочностных показателей слоистых соляных пород от структурных особенностей их строения, размеров испытуемых образцов и условий приложения нагрузки. Установленные зависимости деформационно-прочностных параметров от размеров образцов выражены слабо, что говорит о незначительности масштабного эффекта при сдвиговых испытаниях. Скорее всего, это обусловлено тем, что структурная

неоднородность оказывает более сильное влияние на механические параметры слоистых соляных пород, чем действие масштабного эффекта. Для уточнения влияния масштабного

эффекта на прочностные и деформационные характеристики необходимо проведение исследований на образцах более представительных размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей.* С.-Петербург. – 2008.

2. *Проскураков Н.М., Пермьяков Р.С., Черников А.К.* Физико-механические свойства соляных пород. – Л., Недра, 1973. – 271 с.

3. *Барях А.А., Асанов В.А., Паньков И.Л.* Физико-механические свойства соля-

ных пород Верхнекамского калийного месторождения: учебное пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 199 с.

4. *Барях А.А., Асанов В.А., Паньков И.Л., Токсаров В.Н., Кирисюк М.А.* Изучение масштабного эффекта в соляных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень, выпуск 10. – М.: Изд-во МГГУ, 2010. – С. 141-143. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Асанов В.А. — доктор технических наук, профессор, ava@mi-remt.ru;

Паньков И.Л., Бельтюков Н.Л. –

Горный институт УрО РАН.



Что нужно было сделать двум шахтерам из маленького шахтерского городка на острове Тасмания, где далеко не каждому австралийцу удалось побывать, чтобы американские рок-звезды посвятили им инструментальную балладу, чтобы у американских музыкантов вдруг проснулся интерес к географии и горному делу? Им понадобилось... обмануть смерть. Видимо, Бикэнсфилд Голд Майн на сегодняшний день является самой известной за рубежом австралийской шахтой. За несколько лет до трагедии со счастливым исходом в Чили, когда удалось спасти из-под завала 33 шахтера, и катастрофы в Новой Зеландии, когда на угольной шахте погибли 29 горняков, весь мир пристально следил за спасением двух австралийских шахтеров из Тасмании – Тодда Расселла и Брэнта Уэбба. Они оказались заваленными в результате вывала кровли на глубине около одного километра. Их третий товарищ, – Лорри Найт, – погиб на месте.

Мне довелось побывать на руднике Бикэнсфилд. Запомнился очень долгий и неприятный перелет от Сиднея – сначала до Мельбурна, потом от Мельбурна до Лэнсэстона, небольшого регионального центра на Севере Тасмании. Над Бассовым проливом, отделяющим Тасманию от Австралии, небольшой самолет попал в грозу. Гроза, да еще ночью, в маленьком самолете вещь неприятная, поэтому по прибытии в Лэнсэстон я сразу лег спать – утром нужно было идти под землю.

Бикэнсфилд – это маленький шахтерский городок неподалеку от Лэнсэстона. А шахта Бикэнсфилд была на то время одной из старейших действующих шахт на территории Австралии. Старые здания из красного кирпича олицетворяли саму австралийскую историю, всецело зависевшую от горного дела. И вот, переодевшись в шахтерскую робу, я начинаю с ней соприкасаться...



Продолжение с. 172