

8. При проходке КБС необходимо проводить контроль деформационных процессов.

9. Максимальная ширина хода комбайна ($a_m^{\text{комб.}}$) типа «Урал-20Р», используемого для формирования трапециевидного свода и проходки КБС (рис. 3-5), меньше величины устойчивого пролета кровли камер (a_{om}) на пласте каменной соли ($a_m^{\text{комб.}} = 5,5 \text{ м} < a_{om} = 8,0 \text{ м}$), поэтому крепление кровли КБС не обязательно. Вместе с тем, окончательно необходимость анкерного крепления определяется проектом, исходя из конкретных горно-геологических условий (наличие соляных и глинистых прослоев, их мощность) и результатов инструментальных наблюдений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта №19-45-590004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения / Уральский филиал ВНИИГ. – М.: Недра, 1992. – 468 с.
2. Борзаковский Б.А., Папулов Л.М. Закладочные работы на Верхнекамский калийных рудниках: Справ. – М.: Недра, 1994. – 234 с.
3. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей: утв. ПАО «Уралкалий», ЗАО «Верхнекамская калийная компания», ООО «ЕвроХим-Усольский Калийный комбинат». – введ. в действие 30.03.2017 в ред. 2014 г. – Пермь; Березники, 2014. – 130 с.
4. Исходные данные для разработки типового проекта на добычу закладочного материала из подстилающей каменной соли камерами большого сечения / ОАО Галургия, дог. соглашение № 704/98; рук. Мараков В.Е. – Пермь, 1998. – 18 стр.
5. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия». – Новосибирск: Наука, 2011. – 487 с.
6. Рекомендации по расчету устойчивых пролетов очистных выработок на калийных месторождениях / ВНИИГ. – Л., 1982. – 152 с.
7. Барях А.А., Шумихина А.Ю., Токсаров В.Н., Лобанов С.Ю., Евсеев А.В. Критерии и особенности разрушения слоистой кровли камер при разработке Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный журнал. – 2011. – № 11. – С.15-19.

УДК 622.02

DOI: 10.7242/echo.2019.1.11

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА В КВАЗИПЛАСТИЧНЫХ ПОРОДАХ

И.Л. ПАНЬКОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: На основе анализа результатов экспериментальных исследований по сжатию соляных образцов различного размера выявлены влияющие факторы, участвующие в формировании поверхностного масштабного эффекта, присущего квазипластичным горным породам. Для проведения оценки степени воздействия влияющих факторов на проявления масштабного эффекта разработан метод построения теоретических диаграмм деформирования, учитывающий размеры образцов, а также толщину деструктивного слоя, образующегося при их изготовлении.

Ключевые слова: образцы квазипластичных пород, поверхностный масштабный эффект, деструктивный слой.

Одной из задач, возникающих при геомеханическом обосновании безопасных условий ведения горных работ на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей, является перенос результатов экспериментального определения физико-

механических показателей горных пород, полученных в лабораторных условиях на натуральный (шахтный) уровень. В рамках решения данной задачи одним из основных вопросов являются проявления масштабного эффекта при сжатии квазипластичных соляных пород, заключающиеся в изменении прочностных, деформационных и энергоемкостных показателей с увеличением размера образца.

В работе [1] приведены экспериментальные зависимости относительного изменения (нормированные коэффициенты) предела прочности, разрушающей деформации, модулей деформирования и спада, а также энергоемкости разрушения (деформирования) при сжатии кубических образцов сильвинита и каменной соли с размером ребра, изменяющимся от 30 до 300 мм. Анализ полученных результатов позволил выявить, что для квазипластичных соляных пород основным является масштабный эффект второго рода (поверхностный масштабный эффект), механизм проявлений которого основан на влиянии деструктивного высокопластичного поверхностного слоя (рис. 1), образующегося при изготовлении образцов.

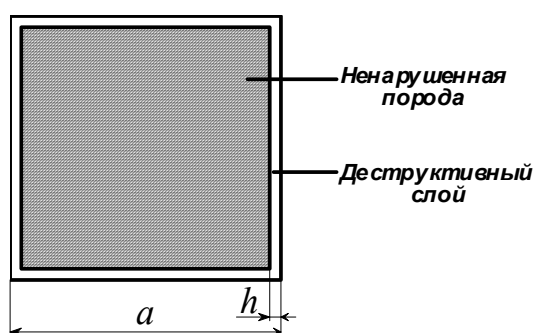


Рис. 1. Схема поперечного сечения образца горной породы с деструктивным слоем

Установлено, что формирование поверхностного масштабного эффекта основано на совместном влиянии следующих факторов:

- появление дополнительной деформации образца за счет уплотнения деструктивного слоя (деформационный фактор);
- снижение действующей нагрузки на образец, обусловленное уменьшением площади поперечного сечения внутренней ненарушенной части породного образца (силовой фактор);
- изменение энергоемкости разрушения образца за счет появления дополнительной работы, затрачиваемой на развитие дефектов, инициируемых нарушениями деструктивного слоя (энергетический фактор).

Для описания проявлений поверхностного масштабного эффекта в квазипластичных породах предлагается использовать метод построения теоретических диаграмм деформирования [2], модифицированный с учетом влияния вышеприведенных факторов.

Согласно предлагаемому подходу зависимость «напряжение - деформация» при сжатии описывается уравнением:

$$\sigma = E \cdot \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon + m_1} \cdot m_2 \cdot \left(1 - \frac{1}{W \cdot m_3} \cdot \int_0^\varepsilon \sigma d\varepsilon\right)^n, \quad (1)$$

где σ , ε – напряжение и деформация одноосного сжатия; $\int_0^\varepsilon \sigma d\varepsilon$ – работа деформирования; E , W – модуль деформации и энергоемкость разрушения ненарушенной породы в ее естественном состоянии; n – параметр функции повреждаемости (параметр пластичности); m_1 – коэффициент, учитывающий деформационный фактор; m_2 – коэффициент, учитывающий силовой фактор; m_3 – коэффициент, учитывающий энергетический фактор.

Влияние толщины деструктивного слоя на коэффициенты m_1 , m_2 , m_3 учитывалось с помощью формул:

$$m_1 = \frac{2h}{a}, \quad (2)$$

$$m_2 = \frac{S_{нен}}{S} = \frac{(a-2h)^2}{a^2}, \quad (3)$$

$$m_3 = 1 + b \cdot \left(\frac{V_{сл}}{V}\right) \cdot \left(\frac{V_{нен}}{V}\right) = 1 + b \cdot \left(\frac{a^3 - (a-2h)^3}{a^3}\right) \cdot \left(\frac{(a-2h)^3}{a^3}\right), \quad (4)$$

где a – размер образца; h – толщина деструктивного слоя; S – площадь поперечного сечения образца; $S_{нен}$ – площадь поперечного сечения внутренней ненарушенной части образца; V – объем образца; $V_{нен}$ – объем внутренней ненарушенной части образца; $V_{сл}$ – объем деструктивного слоя; b – коэффициент деструкции.

Формулы (1) – (4) использовались для численного расчета теоретических диаграмм деформирования кубических образцов квазипластичных пород с размером ребра $a = 30 \div 300$ мм, а также толщиной деструктивного слоя $h = 1$ мм и $h = 2$ мм. Для расчета использовались следующие характеристики породы: $E = 5$ ГПа, $W = 1$ МДж/м³, $n = 7$, $b = 6$. Полученные диаграммы приведены на рис. 2.

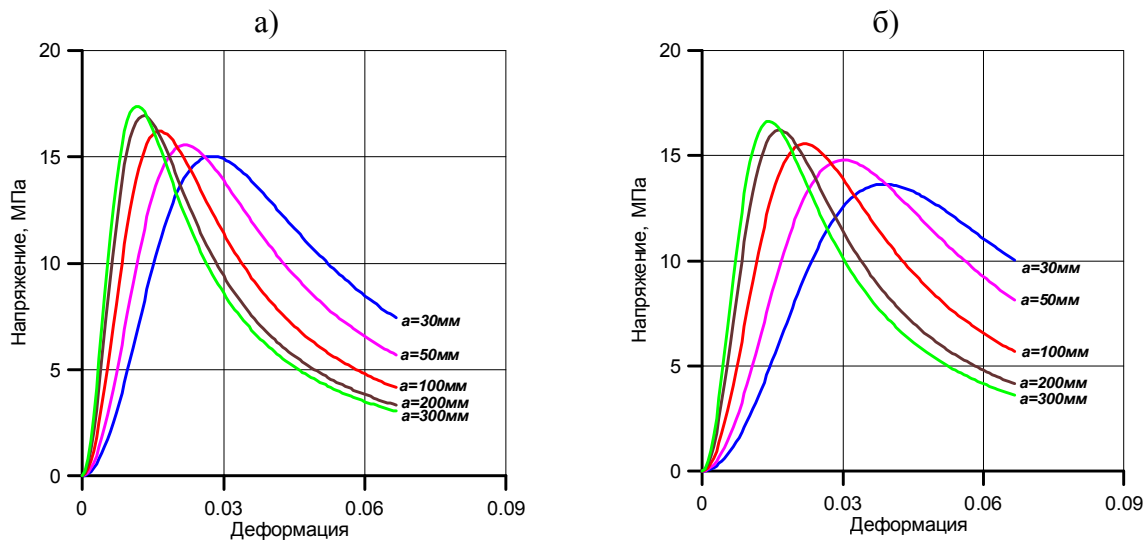


Рис. 2. Характер изменения диаграмм деформирования образцов квазипластичных пород с увеличением их размеров при различной толщине деструктивного слоя: $a - h = 1$ мм; $b - h = 2$ мм

По теоретическим диаграммам получены зависимости проявлений масштабного эффекта квазипластичных пород, характеризующие изменения нормированных механических показателей от размера образца (рис. 3). Также на рис. 3 приведены экспериментальные данные, полученные при сжатии образцов соляных пород.

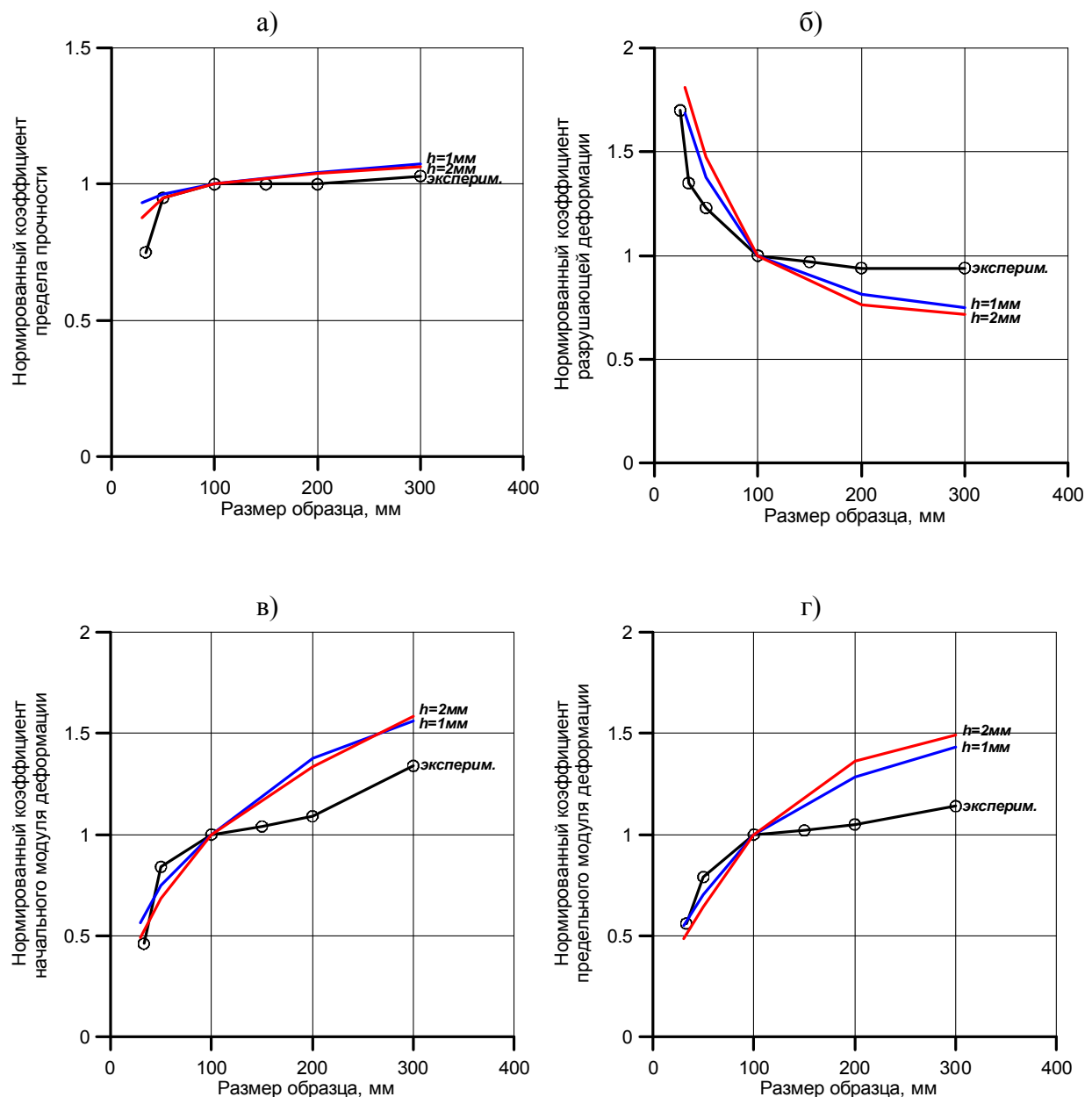
Анализ полученных результатов показал, что с увеличением размера образца наблюдается возрастание предела прочности, начального и предельного модулей деформации, а также модуля спада. Для разрушающей деформации и энергоемкости разрушения наблюдается уменьшение. При этом установлено, что согласно предлагаемому подходу изменение большинства механических показателей обусловлено наложением вышеприведенных влияющих факторов, усиливающих или ослабляющих проявления масштабного эффекта. Исключение составляет энергоемкость разрушения, зависящая только от энергетического фактора. Оценочные результаты определения степени воздействия влияющих

факторов на изменение механических показателей при увеличении размера образца приведены в табл. 1.

Наибольшая степень воздействия влияющих факторов отмечается для начального и предельного модулей деформации, а также модуля спада, основное увеличение которых связано с действием деформационного фактора. При этом дополнительный вклад в увеличение рассматриваемых показателей вносит силовой фактор, а вклад энергетического фактора равен нулю.

Установлено, что основное влияние на разрушающую деформацию оказывает деформационный фактор, а дополнительное – энергетический, при этом силовой фактор не оказывает влияния на изменение данного параметра.

Основным фактором, обуславливающим рост предела прочности при увеличении размера образца, является деформационный, а дополнительным – силовой. В тоже время, наложение энергетического фактора оказывает снижающее воздействие, приводящее, в конечном итоге, к значительной стабилизации прочностного показателя.



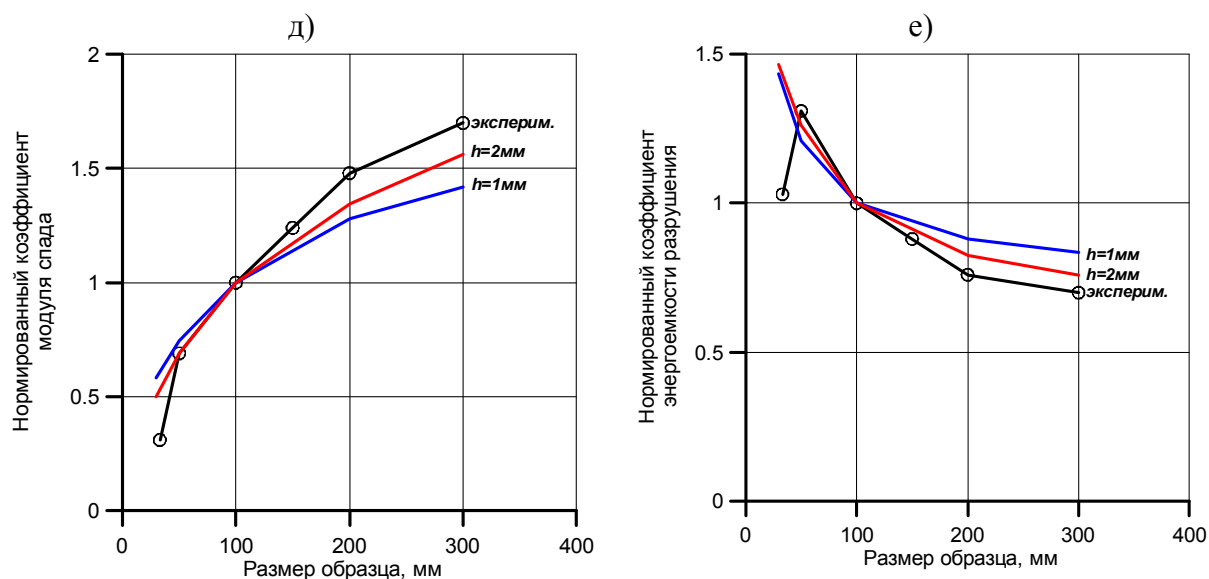


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и теоретических данных проявлений поверхностного масштабного эффекта квазипластичных пород: а – предел прочности; б – разрушающая деформация; в – начальный модуль деформации; г – предельный модуль деформации; д – модуль спада; е – энергоемкость разрушения

Таблица 1

Результаты оценки степени воздействия влияющих факторов на проявления масштабного эффекта*

Влияющий фактор	Механические показатели					
	Предел прочности	Разрушающая деформация	Начальный модуль	Предельный модуль	Модуль спада	Энергоемкость разрушения
Деформационный	++	--	+++	+++	+++	0
Силовой	+	0	+	+	+	0
Энергетический	-	-	0	0	0	--

* «+ + + (- - -)» – высокая степень воздействия на увеличение (уменьшение) механического показателя;

«+ + (- -)» – средняя степень воздействия на увеличение (уменьшение) механического показателя;

«+ (-)» – низкая степень воздействия на увеличение (уменьшение) механического показателя;

«0» – отсутствие влияния на изменение механического показателя.

Используемая в предлагаемом подходе идеология дает возможность экстраполировать значения механических показателей, полученных в лабораторных условиях на шахтный уровень, что позволяет существенно повысить достоверность геомеханических оценок безопасных условий ведения горных работ в массивах квазипластичных пород.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта №19-45-590004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паньков И.Л., Асанов В.А. Изучение механизма масштабного эффекта при сжатии квазипластичных соляных пород / Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2015. – № 2. – С. 273-278.
2. Паньков И.Л., Асанов В.А., Гурко И.В. Моделирование поведения горных пород под нагрузкой на основе энергетических представлений о накоплении повреждений // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. междунар. конф. / ИГД СО РАН. – Новосибирск, 2004. – С. 55-60.