

ность результатов. Кроме того, в них не учитывается местоположение глинистого материала по высоте, что также оказывает существенное влияние на несущую способность.

Таким образом, регулярными инструментальными измерениями на поверхности и в очистных выработках установлено, что методика расчёта параметров системы разработки требует уточнения для корректного её использования в условиях юго-восточной части месторождения и достоверного определения безопасных параметров ведения горных работ на всех рудниках ВКМКС.

*Исследование выполнено в рамках Программы ФНИ,  
проект № 0422-2019-0148-С-01*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ватутин В.Г. Анализ соотношения вертикальной и горизонтальной конвергенции горных выработок соляных месторождений // Контроль, прогнозирование и управление состоянием пород в калийных рудниках: сб науч. тр. ВНИИГ. – Л.: 1985. – С. 87-93.
2. Baryakh A.A., Evseev A.V., Lomakin I.S., Tsayukov A.A. Operational control of rib pillar stability // Eurasian mining. – 2020. – №2 – DOI: 10.17580/em.2020.02.02.
3. Evseev A., Asanov V., Lomakin I., Tsayukov A. Experimental and theoretical studies of undermined strata deformation during room and pillar mining. // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: International European Rock Mechanics Symposium. EUROCK 2018 / Taylor & Francis Group. – St.-Peterbourg, 2018. – V. 1. – P. 985-990.
4. Евсеев А.В., Ударцев А.А. Методика определения нормативной скорости поперечного деформирования междукамерных целиков в лабораторных условиях // Горное эхо. – 2019. – № 3 (76). – С. 31-34. DOI: 10.7242/echo.2019.3.8.
5. Evseev A., Baryakh A., Butirin P. Remote Instrumental Monitoring of Interchamber Pillar Stability // ISRM European Rock Mechanics Symposium Eurock. – 2017. – V. 191. – P. 962-966. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.267.
6. 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.

УДК 622.02+622.2

DOI:10.7242/echo.2020.4.8

## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛЗУЧЕСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ СТУПЕНЧАТОГО РАСТЯЖЕНИЯ

В.С. Кузьминых

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Проведены испытания образцов соляных пород Верхнекамского месторождения калийных солей в режиме ступенчатого растяжения. Испытания проводились на универсальной электромеханической машине Zwick Z050 при нагрузках 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 и 1,2 МПа с длительностью каждой ступени 24 часа. По результатам испытаний получены кривые деформирования и семейства кривых ползучести при ступенчатом растяжении.

**Ключевые слова:** соляная порода, кривые ползучести, растяжение, диаграмма деформирования.

Одной из достаточно сложных проблем геомеханики при решении вопросов обеспечения безопасных условий ведения подземных горных работ на месторождениях полезных ископаемых является учет фактора времени на устойчивость и деформируе-

мость пород приконтурного массива [1]. Эта проблема является достаточно актуальной для Верхнекамского месторождения калийных солей, горно-геологические условия которого предполагают применение камерной системы разработки. При этом ее несущие элементы находятся в различных напряженных состояниях и характеризуются большими сроками службы [2, 3]. В связи с тем, что безопасность ведения горных работ в значительной степени определяется состоянием пород кровли выработок, находящихся под действием растягивающих вертикальных нагрузок, актуальными являются исследования, направленные на изучение особенностей ползучести соляных пород под действием растягивающих напряжений.

Исследования на ползучесть проводились в режиме ступенчатого растяжения на трех образцах соляных пород прямоугольной формы (длина 250 мм, сечение 50×50 мм), изготовленных из породных монолитов. Эксперименты проводились на универсальной электромеханической машине Zwick Z050 (максимальное усилие 50 кН), позволяющей поддерживать режим ползучести с одновременным измерением деформаций (рис. 1).

Для исключения концевых эффектов, связанных с низкой контактной прочностью солей, перед испытанием проводилась подготовка образца, заключающаяся в его цементации в специальных металлических матрицах. Для создания прочного контакта «образец – матрица» использовался магнезиальный цемент, затворенный на растворе бишофита [4]. Для придания необходимой прочности цементу образец выдерживался не менее 2-3 суток. Фиксация матриц осуществлялась в специальных клиновых зажимах испытательной машины (рис. 2). Измерение продольных (осевых) деформаций осуществлялось на поверхности образца с помощью трех специальных выносных датчиков консольного типа (точность измерений 0,0005 мм), располагаемых по схеме равностороннего треугольника, что позволяло компенсировать перекосы в различных плоскостях, а так же увеличить базу измерения. Контакт «датчик – образец» осуществлялся с помощью пластин, закрепленных на поверхности образца (рис. 2).



Рис. 1. Испытательная машина «Zwick Z050»

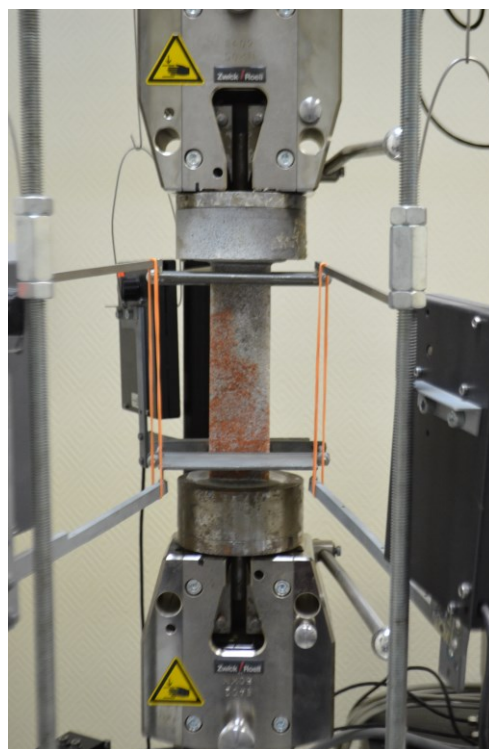


Рис. 2. Испытание образца на ползучесть при растяжении

Испытание каждого образца выполнялось по схеме ступенчатого нагружения (рис. 3) с возможностью получения кривой ползучести на каждой ступени. Уровень нагрузки ( $\sigma$ ) составлял 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 и 1,2 МПа. Длительность ( $t$ ) каждой ступени составляла 24 часа.

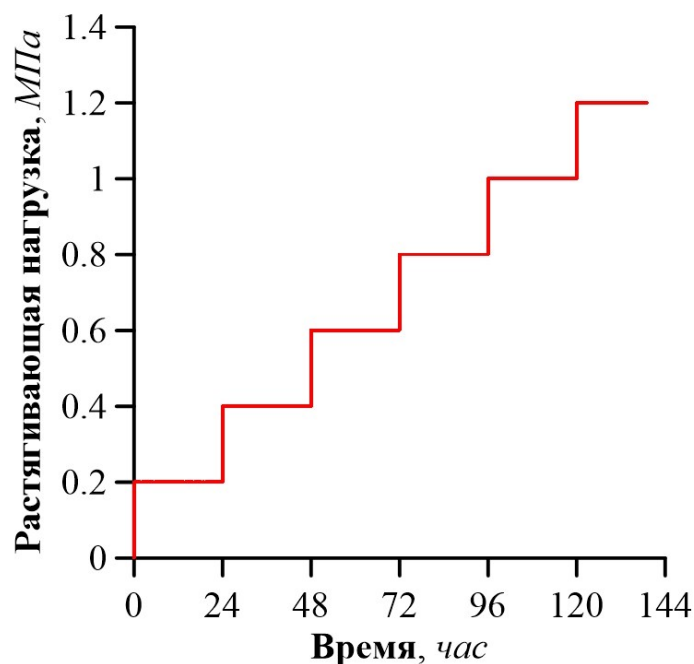


Рис. 3. Схема нагружения при проведении испытаний

Полученные результаты представлялись в виде кривых ползучести в координатах «относительная деформация растяжения – время испытания» (рис. 4, 5). На каждой ступени определялась мгновенная деформация ( $\varepsilon_m$ ) и деформация ползучести ( $\varepsilon_n$ ). Результаты определения мгновенной деформации и деформации ползучести соляных пород в условиях ступенчатого растяжения приведены в табл. 1.

Полученные результаты позволили выявить, что за время эксперимента при растягивающей нагрузке 0,2 МПа деформация ползучести изменяется в интервале  $(-0,01 \div 0,15) \cdot 10^{-3}$ , при нагрузке в 0,4 МПа изменяется в интервале  $(0,02 \div 0,04) \cdot 10^{-3}$ , при нагрузке в 0,6 МПа –  $(0,03 \div 0,04) \cdot 10^{-3}$ , при нагрузке в 0,8 МПа –  $(0,02 \div 0,06) \cdot 10^{-3}$ , при нагрузке в 1,0 МПа –  $(0,03 \div 0,08) \cdot 10^{-3}$ , при нагрузке в 1,2 МПа –  $(0,05 \div 0,13) \cdot 10^{-3}$ . Мгновенные деформации при напряжении 0,2 МПа изменяются в интервале  $(0,44 \div 0,7) \cdot 10^{-3}$ ; при нагрузке 0,4 МПа –  $(0,11 \div 0,18) \cdot 10^{-3}$ ; при нагрузке 0,6 МПа –  $(0,10 \div 0,12) \cdot 10^{-3}$ ; при нагрузке 0,8 МПа –  $(0,08 \div 0,11) \cdot 10^{-3}$ ; при нагрузке 1,0 МПа –  $(0,08 \div 0,10) \cdot 10^{-3}$ ; при нагрузке 1,2 МПа –  $(0,0 \div 0,07) \cdot 10^{-3}$ .

При испытании образца № 3 на низком уровне нагрузки (0,2 МПа) первоначально наблюдалось явление «обратной» ползучести (рис. 5), связанной, по всей видимости, с эффектом упругого последствия. Установлено, что общая деформация образцов соляных пород, при которой происходило разрушение, близка к постоянной величине и составляет  $1,26 \cdot 10^{-3}$  (обр. № 1),  $1,30 \cdot 10^{-3}$  (обр. № 2) и  $1,46 \cdot 10^{-3}$  (обр. № 3).

Характер изменения деформаций ползучести от мгновенных деформаций при ступенчатом растяжении образцов соляных пород показан на рис. 6, из которого видно, что с увеличением суммарной мгновенной деформации растет аналогичный показатель деформации ползучести для всех испытанных образцов. Наиболее интенсивный рост деформаций ползучести наблюдается при испытании образца № 3.

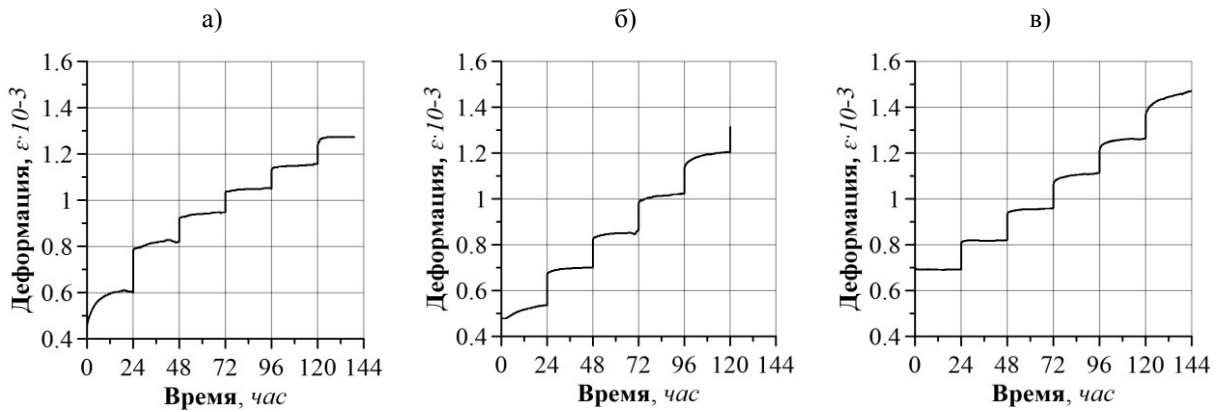


Рис. 4. Вид кривых деформирования во времени соляных пород со ступеньками ползучести при ступенчатом растяжении:  
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

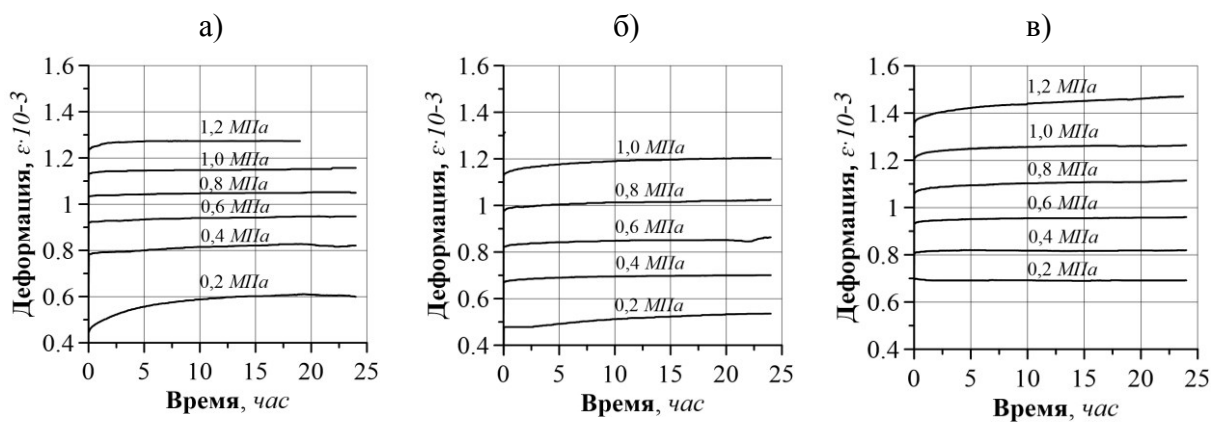
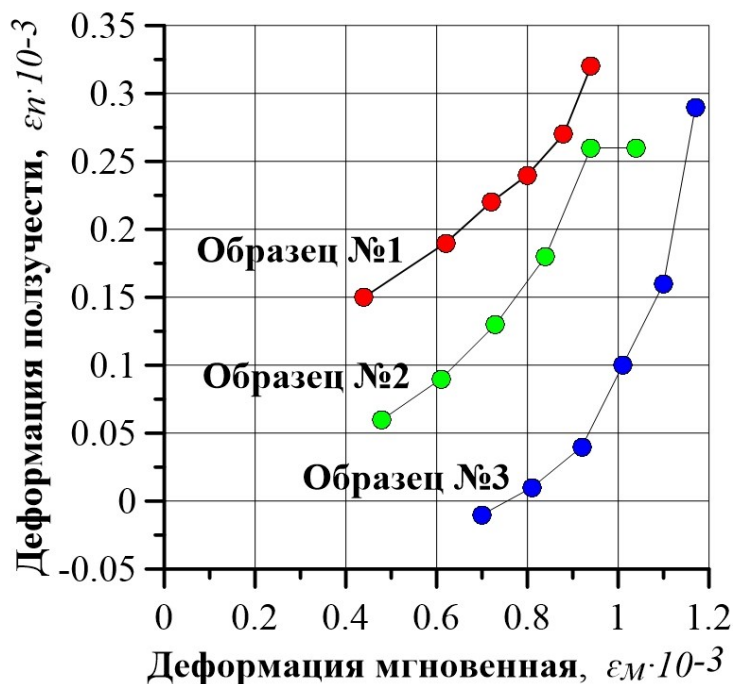


Рис. 5. Семейства кривых ползучести при ступенчатом растяжении:  
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

Таблица 1

**Результаты определения мгновенной деформации и деформации ползучести соляных пород в условиях ступенчатого растяжения**

$\sigma$ , МПа	$t$ , ч	Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3	
		$\epsilon_m$ , $\epsilon \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_n$ , $\epsilon \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_m$ , $\epsilon \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_n$ , $\epsilon \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_m$ , $\epsilon \cdot 10^{-3}$	$\epsilon_n$ , $\epsilon \cdot 10^{-3}$
0,2	24	0,44	0,15	0,48	0,06	0,70	-0,01
0,4	48	0,18	0,04	0,13	0,03	0,11	0,02
0,6	72	0,1	0,03	0,12	0,04	0,11	0,03
0,8	96	0,08	0,02	0,11	0,05	0,09	0,06
1,0	120	0,08	0,03	0,1	0,08	0,09	0,06
1,2	144	0,06	0,05	0,1	0,0	0,07	0,13
Суммарная деформация		0,94	0,32	1,04	0,26	1,17	0,29



**Рис. 6.** Характер изменения деформаций ползучести от мгновенных деформаций при ступенчатом растяжении образцов соляных пород

В результате проведенных испытаний у образцов выявлена тенденция уменьшения мгновенной деформации и увеличения деформации ползучести на каждой ступени возрастания растягивающей нагрузки.

Из-за ограничения по времени испытаний на каждой стадии эксперимента (24 часа) полученные результаты включали области неустановившейся и начало установившейся ползучести. В этой связи дальнейшее развитие данных исследований должно быть направлено на увеличение времени испытаний с целью регистраций всех стадий ползучести, включая стадию прогрессирующей ползучести.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта №19-45-590004 и программы ФНИ (проект № 0422-2019-0148-С-01, регистрационный номер темы НИОКТР: АААА-А18-118040690032-2).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карташов Ю.М., Матвеев Б.В., Михеев Г.В., Фадеев А.Б. Прочность и деформируемость горных пород. – М.: Недра, 1979. – 269 с.: ил.
2. Барях А.А., Константинова С.А., Асанов В.А. Деформирование соляных пород / ГИ УрО РАН; [отв. ред. Н.С. Булычев]. – Екатеринбург, 1996. – 204 с.: ил.
3. Проскуряков Н.М., Пермяков Р.С., Черников А.К. Физико-механические свойства соляных пород. – Л.: Недра, 1973. – 271 с.: ил.
4. Паньков И.Л., Гараева Ю.И. Исследование механических свойств соляных пород при растяжении // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2011. – № 9. – С. 154-157.