

Научная статья
УДК 662.831

М.А. Ворожцова¹, И.Л. Паньков²

M.A. Vorozhtsova¹, I.L. Pankov²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

²Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²Mining Institute Ural Branch RAS, Perm, Russian Federation

**ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ ДЕСТРУКТИВНОГО СЛОЯ
СОЛЯНЫХ ПОРОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ
НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ**

**ASSESSMENT OF THE THICKNESS OF THE DESTRUCTIVE
LAYER OF SALT ROCKS ACCORDING TO THE RESULTS
OF UNIAXIAL COMPRESSION TESTS**

Представлены результаты изучения физико-механических показателей соляных горных пород на сжатие при испытании образцов на электромеханическом оборудовании. Предложена методика оценки толщины деструктивного слоя, возникающего при изготовлении образцов горных пород, основанная на обработке скорректированной диаграммы деформирования.

Ключевые слова: деструктивный слой, диаграмма деформирования, зона поджатия, абсолютная деформация

The paper presents the results of the study of physico-mechanical indicators of salt rocks in compression when testing samples on electromechanical equipment. A method of estimating the thickness of destructive layer arising during rock samples manufacturing based on the processing of the corrected deformation diagram is proposed.

Keywords: destructive layer, deformation diagram, compression zone, absolute strain

Условия безопасной отработки месторождений полезных ископаемых подразумевает наличие объективной информации о физико-механических свойствах горных пород, используемых при выборе параметров системы разработки. Это крайне актуально при ведении подготовительных и очистных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС), условия отработки которого осложняются наличием водонасыщенных горизонтов, залегающих выше отрабатываемых продуктивных пластов и создающих опасность

затопления калийного рудника. С целью исключения возможности появления в водозащитной толще водопроводящих трещин на ВКМКС применяется камерная система разработки с поддержанием налегающей толщи междукамерной толщи междукамерными целиками, размеры которых выбирают исходя из физико-механических свойств горных пород, определяемых в лабораторных условиях в соответствии с действующими стандартами [1–3].

Лабораторные испытания проводились в режиме одноосного нагружения на электромеханическом прессе Zwick/Z250 с предельной нагрузкой 250 кН (рис. 1), позволяющей проводить испытания с определенной скоростью деформирования (1 мм/мин). По результатам эксперимента строились полные диаграммы деформирования в координатах «осевая относительная деформация – осевое сжимающее напряжение», используемые для определения следующих прочностных и деформационных показателей: прочность на сжатие ($\sigma_{сж}$), разрушающая деформация ($\epsilon_{пр}$), модуль деформации (секущий) на пределе прочности ($D_{пр}$), модуль деформации (касательный) на пределе упругости (D_y), модуль спада (касательный), определенный на наиболее крутом участке запредельной ветви диаграммы деформирования (M_c), полная энергоемкость (W) [4].



Рис. 1. Лабораторное оборудование для проведения испытаний на одноосное сжатие (электромеханический пресс Zwick/Z250)

Одной из характерных особенностей испытываемых образцов горных пород является наличие деструктивного (нарушенного) поверхностного слоя, образующегося при их изготовлении, толщина которого зависит от таких

факторов, как используемый режущий инструмент, прочностная связь между зернами кристаллов, а также размеры самих зерен. В работах [5, 6] указывалось, что именно толщина данного слоя в образцах квазипластичных пород определяет величину масштабного эффекта второго рода. Схематичное изображение деструктивного слоя образца горной породы приведено на рис. 2 [7].

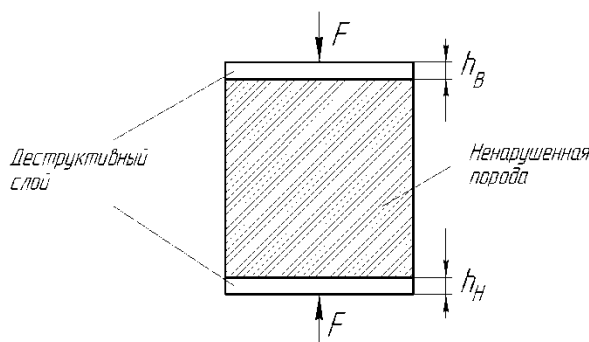


Рис. 2. Схематичное изображение верхнего и нижнего деструктивных слоев, образующихся при изготовлении образца горной породы

При рассмотрении диаграмм деформирования, строящихся в координатах «абсолютная осевая деформация – осевое усилие», как правило, наблюдается «зона поджатия» (рис. 3, а, кривая AB), являющаяся результатом деформирования деструктивного поверхностного слоя.

Соответственно, при исключении «зоны поджатия» (отрезок AD) диаграмма деформирования будет смещаться влево на величину, равную суммарной толщине верхнего и нижнего деструктивных слоев испытываемого образца:

$$h = h_B + h_H, \quad (1)$$

где h_B – толщина деструктивного слоя верхней грани образца; h_H – толщина деструктивного слоя нижней грани образца.

Для исключения «зоны поджатия» на линейном участке диаграммы выделяют отрезок BC (рис. 3, а), тангенс угла которого равен начальной жесткости, соответствующей касательному модулю деформации, определяемому по методике, изложенной в работе [4]. Экстраполяция отрезка BC до пересечения с осью деформаций приводит к новой диаграмме деформирования, показанной на рис. 3, б. При этом суммарную толщину деструктивных слоев можно выразить через разность между абсолютными деформациями максимального усилия исходной и обработанной кривых нагружения:

$$h = u_{пр}^{nc} - u_{пр}^{об}, \quad (2)$$

где $u_{пр}^{нс}$ – абсолютная деформация максимального усилия исходной диаграммы деформирования с «зоной поджатия»; $u_{пр}^{об}$ – абсолютная деформация максимального усилия обработанной диаграммы деформирования без «зоны поджатия».

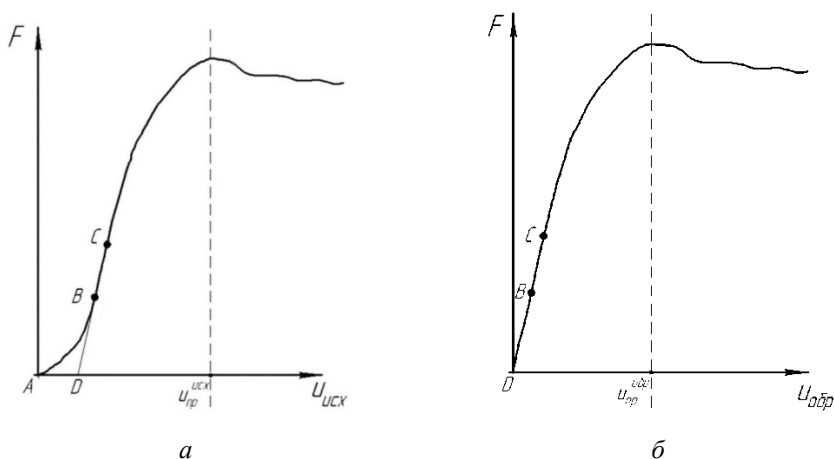


Рис. 3. К схеме оценки толщины деструктивного слоя, основанной на обработке исходной диаграммы с «зоной поджатия» (а) и переходе к диаграмме без «зоны поджатия» (б)

Алгоритм определения абсолютных деформаций по формуле (2) реализован в программе «Обработка», предназначенной для получения комплекса прочностных и деформационных показателей по результатам испытаний горных пород на сжатие (рис. 4).

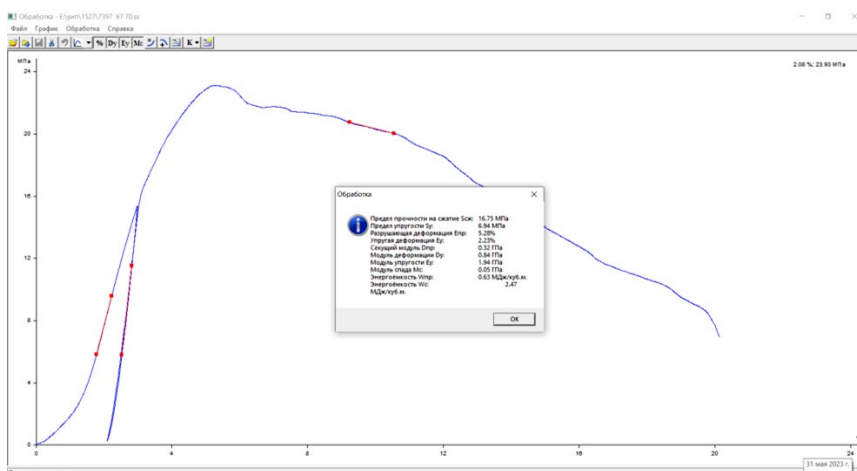


Рис. 4. Интерфейс программы «Обработка»

Совместное определение физико-механических показателей и толщины деструктивного слоя проводилось для образцов горных пород из скважин шахтного поля рудника БКПРУ-4 (№1527а, 1528а, 1529а, 1530а, 1531а, 1532а, 1533а, 1534а, 1535а). В качестве примера в таблице приведены результаты обработки по скважине №1527а.

Результаты определения физико-механических показателей и толщины деструктивного слоя образцов скважины №1527а

Номер обр.	Порода	$\sigma_{сж}$, МПа	$\varepsilon_{пр}$, %	$D_{пр}$, ГПа	D_y , ГПа	M_c , ГПа	W , МДж/м ³	h , мм
1	Кам. соль	21,19	3,06	0,75	2,07	0,23	2,13	0,08
2	Сильв. пестр.	16,03	2,86	0,43	1,35	0,08	2,38	0,45
3	Сильв. пестр.	18,05	3,69	0,39	1,13	0,19	1,98	0,49
4	Сильв. пестр.	16,75	3,22	0,40	1,34	0,05	3,08	0,48
5	Сильв. пестр.	16,76	2,84	0,51	1,44	0,08	2,26	0,21
6	Сильв. полос.	15,84	2,62	0,47	1,56	0,16	2,26	0,39
7	Сильв. полос.	18,31	3,27	0,46	1,45	0,16	2,55	0,36
8	Сильв. красн.	23,70	3,11	0,61	2,09	0,07	3,03	0,38
9	Сильв. красн.	23,04	2,67	0,70	2,38	0,23	2,92	0,30
10	Сильв. красн.	20,15	3,53	0,50	1,56	0,08	4,30	0,25
11	Сильв. красн.	20,91	2,45	0,69	1,98	0,36	2,74	0,29
12	Сильв. красн.	20,72	3,34	0,59	2,03	0,04	4,68	0,08
13	Сильв. красн.	25,12	3,56	0,64	2,95	0,08	4,87	0,17
14	Кам. соль замещ.	20,69	4,26	0,40	1,60	0,42	2,07	0,43

На рис. 5 приведены интервалы изменения толщины деструктивного слоя по исследуемым скважинам рудника БКПРУ-4.

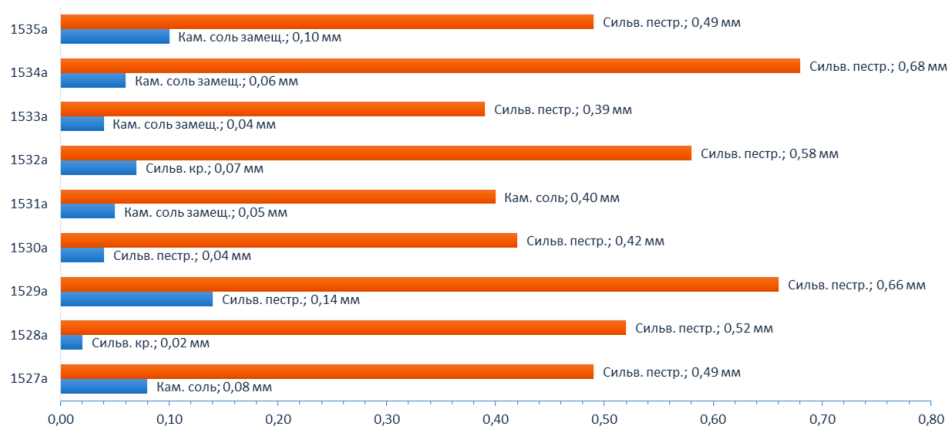


Рис. 5. Интервалы изменения толщины деструктивного слоя по исследуемым скважинам

Установлено, что суммарная толщина деструктивного слоя варьируется от 0,02 до 0,68 мм. При этом наибольшие значения толщины слоя наблюдаются для образцов пестрого сильвинита, что подтверждает преимущественное влияние размеров зерна на формирование поврежденности изготавливаемых образцов.

Проведенные исследования направлены на уточнение методических аспектов обработки результатов экспериментального определения физико-механических свойств горных пород с целью повышения безопасности ведения горных работ в условиях ВКМКС.

Список литературы

1. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
2. ГОСТ 28985–91. Породы горные. Методы определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 19 с.
3. ГОСТ 21153.3-85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 14 с.
4. Барях А.А., Асанов В.А., Паньков И.Л. Физико-механические свойства соляных пород Верхнекамского калийного месторождения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 199 с.
5. Pankov I., Asanov V., Belyukov N. Mechanism of Scale Effect in Saliferous Rock under Compression // Symposium of the International Society for Rock Mechanics (EUROCK 2017), Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 191. – P. 918–924.
6. Паньков И.Л. Теоретическое описание проявлений поверхностного масштабного эффекта в квазипластичных породах // Горное эхо. – Пермь, 2019. – № 1. – С. 49–53.
7. Безматерных М.Д., Паньков И.Л. Учет собственных деформаций электромеханического оборудования при изучении деформационных свойств горных пород на сжатие // Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магниевых солей: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., 14–15 мая 2018 года, г. Пермь. – Пермь, 2018. – С. 133–138.

Об авторах

Ворожцова Мария Александровна – студентка гр. ФПГН-19-1с, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Паньков Иван Леонидович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории физических процессов освоения георесурсов, Горный институт УрО РАН, e-mail: ivpan@mi-perm.ru.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (регистрационный номер 122012000403-1), а также гранта РФФИ № 20-45-596011.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Получена: 24.05.2023

Одобрена: 24.06.2023

Принята к публикации: 01.09.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Ворожцова, М.А. Оценка толщины деструктивного слоя соляных пород по результатам испытаний на одноосное сжатие / М.А. Ворожцова, И.Л. Паньков // *Master's Journal*. – 2023. – № 1. – Art. № 01.

Please cite this article in English as: Vorozhtsova M.A., Pankov I.L. Assessment of the thickness of the destructive layer of salt rocks according to the results of uniaxial compression tests. *Master's Journal*, 2023, no. 1, art. no. 01.