

К ВОПРОСУ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНАХ ТРЕЩИН РАЗРУШЕНИЯ ГИПСА ПО ДАННЫМ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

DISTRIBUTION OF STRESS IN THE AREAS OF FRACTURE CRACKS OF GYPSUM BASED ON THERMAL RADIATION DATA

СЕРЕДИН В.В.

Заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ), д.г.-м.н., профессор, г. Пермь, seredin@nedra.perm.ru

ХРУЛЁВ А.С.

Инженер-геолог ООО НИПППД «Недра», г. Пермь, nedra@nedra.perm.ru

SEREDIN V.V.

Head of the Department of Engineering Geology and Mineral Resources Protection of the Geology Faculty of Perm State National Research University, Perm, seredin@nedra.perm.ru

KHRULEV A.S.

Geological engineer of the «Nedra» LLC research, design and production company for nature conservation activities, Perm, nedra@nedra.perm.ru

Ключевые слова:

магистральная трещина разрушения; напряженное состояние материала; температура; горные породы.

Key words:

main fracture crack; stressed state of material; temperature; rocks.

Аннотация

В любом материале, в том числе в горных породах, имеются дефекты. При нагружении тела вокруг дефекта возникает концентрация напряжений, которая вызывает рост и распространение трещин. Этот процесс приводит к формированию магистральной трещины разрушения горной породы. С физической точки зрения нагрузки (внешние напряжения) на горную породу должны реализоваться в ней в виде акустической эмиссии и тепла. Экспериментально установлено, что температура материала в зоне магистральной трещины разрушения контролируется определенным видом напряженного состояния (сжатием/растяжением). В условиях одноосного растяжения наблюдаются минимальные значения температуры, а в условиях одноосного сжатия температура закономерно увеличивается. На основании выявленных закономерностей разработан способ определения напряженного состояния гипса.

Abstract

Any material including rocks contains defects. When a body is loaded, stress concentration occurs around a defect. It causes growth and propagation of cracks. This process leads to formation of the main fracture (destruction) crack. From the physical point of view, loads (external stresses) on rock should realize themselves in the rock in the form of acoustic emission and heat. It was experimentally established that the temperature of material in the area of the main fracture crack is controlled by a special stressed state type (compression/tension). The minimal temperature values are observed in the conditions of uniaxial tension, and the temperature regularly increases in the conditions of uniaxial compression. A method of determination of the stressed state of gypsum was developed on the basis of the revealed regularities.

В любом материале, в том числе в гипсе, содержатся дефекты. При нагружении тела вокруг дефекта возникает концентрация напряжений, которая вызывает рост и распространение трещин. Этот процесс приводит к формированию магистральной трещины разрушения горных пород [11].

В работе [11] выдвинута гипотеза о том, что разрушение горных пород протекает в два этапа: первоначально формируется магистральная трещина разрыва, затем происходит сдвиг горной породы по этой трещине. В результате этих процессов в зоне магистральной трещины разрыва формируется песок трения, материал изменяет свое фазовое состояние (из твердого переходит в жидкое), меняется минеральный состав материнской породы, появляются новые минералы. С физической точки зрения внешние напряжения (нагрузки) на горную породу должны реализоваться в ней в виде акустической эмиссии [2] и тепла [1, 6].

Целью данного исследования является разработка метода оценки напряженного состояния гипса по данным теплового излучения.

Для решения поставленной задачи были проведены исследования по выявлению взаимосвязи между видом напряженного состояния гипса и температурой на его поверхности [6].

На рисунках 1, 2 и 3 приведены термограммы образцов гипса при их испытаниях в условиях одноосного растяжения, сжатия и объемного напряженного состояния.

Результаты исследований [6] представлены в таблице. Из нее видно, что при нагружении материалов до разрушения в зоне магистральной трещины разрушения наблюдается увеличение температуры (Δt) исследуемых материалов. При этом в условиях одноосного растяжения значения Δt меньше, чем при одноосном сжатии [6] и объемном напряженном состоянии.

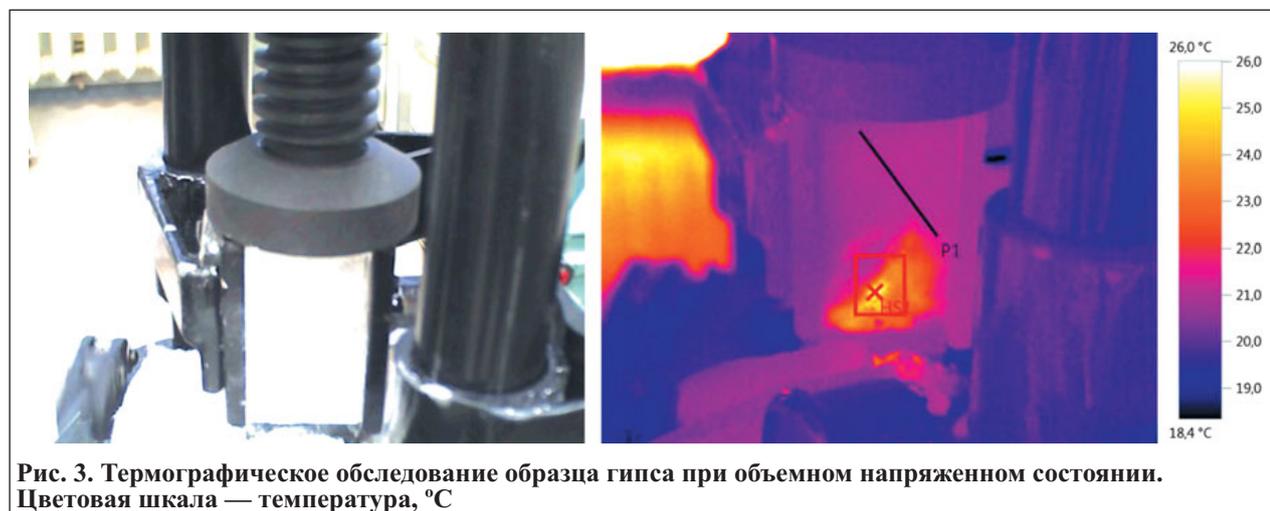
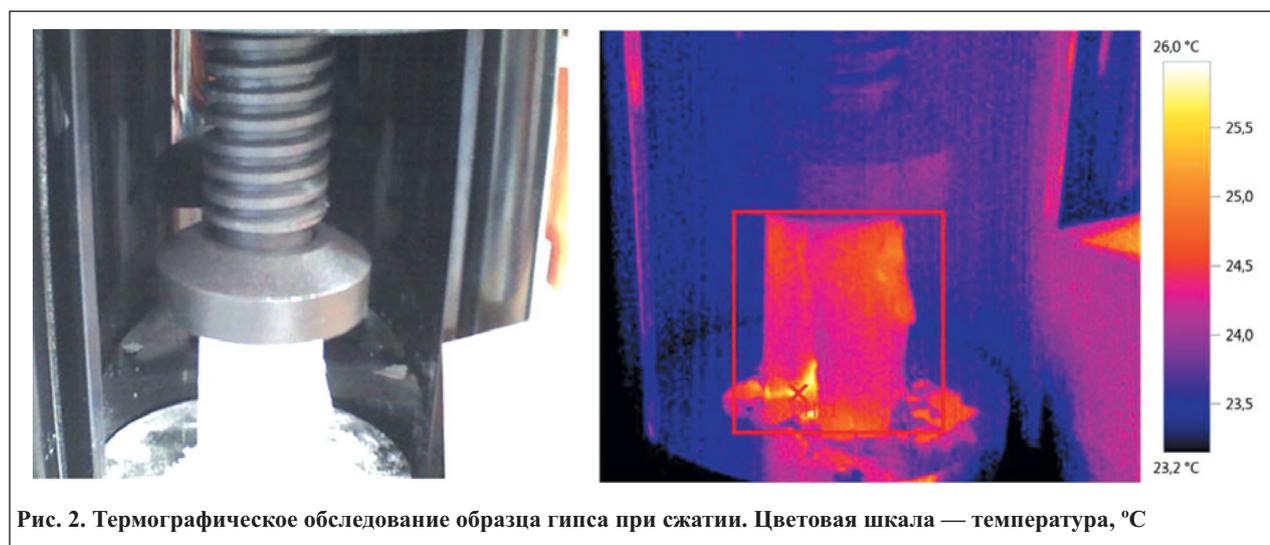
Таким образом, в качестве критерия для оценки напряженного состояния материалов теоретически можно использовать увеличение температуры материала в зоне магистральной трещины разрушения (Δt).



Метод оценки напряженного состояния материала включал в себя следующие операции.

1. Были изготовлены образцы из исследуемого материала (строительного гипса) по методике, изложенной в работе [6]. Образцы испытывались на од-

ноосное растяжение (с определением средней прочности на растяжение σ_p), одноосное сжатие (с определением средней прочности на сжатие σ_c) и в условиях *объемного напряженного состояния* [6]. Исследования выполнялись в стабилometре при боковых



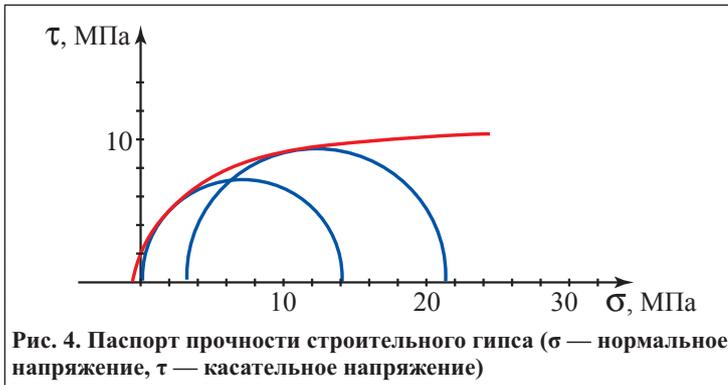


Рис. 4. Паспорт прочности строительного гипса (σ — нормальное напряжение, τ — касательное напряжение)

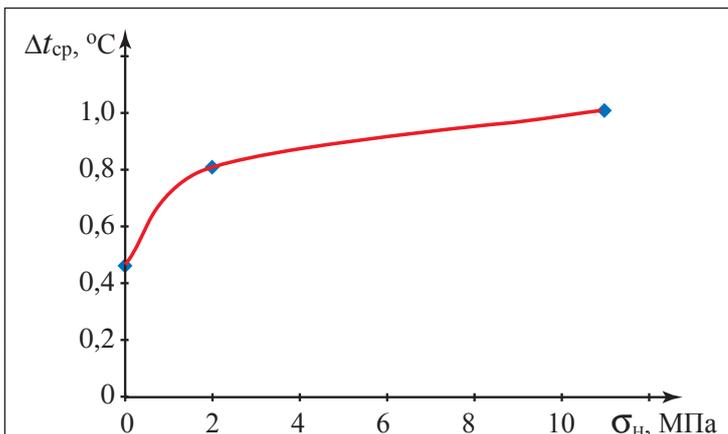


Рис. 5. График зависимости повышения температуры Δt_{cp} в зоне магистральной трещины разрушения от номинального напряжения σ_n при нагружении строительного гипса до разрушения

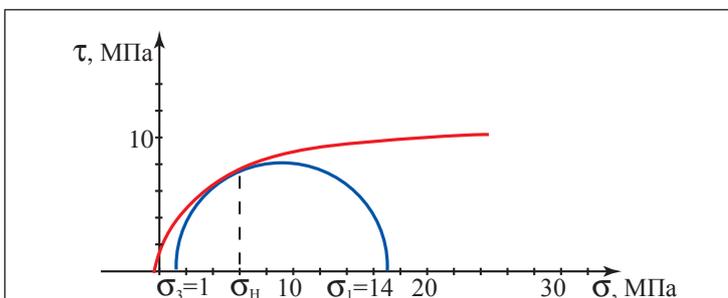


Рис. 6. Определение напряженного состояния строительного гипса по паспорту прочности (σ — нормальное напряжение; τ — касательное напряжение; σ_1, σ_3 — максимальное и минимальное главные нормальные напряжения соответственно; σ_n — номинальное напряжение (максимальное нормальное напряжение, действующее в зоне разрушения материала на площадке максимального касательного напряжения)

давлениях (главных нормальных напряжениях) $\sigma_2 = \sigma_3 = 3$ МПа.

2. По результатам исследований был построен паспорт прочности (рис. 4).

3. Сразу после испытаний образцов (их разрушения) определялась средняя температура их поверхности t_2 , при которой произошло разрушение материала для каждого вида напряженного состояния грунта (одноосного сжатия, одноосного растяжения, объемного напряженного состояния) и ее среднее повышение Δt_{cp} по сравнению со средней температурой до приложения нагрузки t_1 . Результаты измерений приведены в таблице.

4. Определение номинального напряжения σ_n производилось по зависимости:

$$\sigma_n = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha,$$

где σ_n — номинальное напряжение в зоне «магистральной» трещины разрушения; σ_1, σ_3 — максимальное и минимальное главные нормальные напряжения, МПа; α — угол наклона площадки (зоны разрушения) с максимальными касательными напряжениями, град., $\alpha = 45 - \varphi/2$; φ — угол внутреннего трения, град.

Величины σ_n приведены в таблице.

5. По полученным данным был построен график зависимости повышения температуры Δt_c от номинального напряжения σ_n (рис. 5).

Рассмотрим, как можно применить такого рода результаты на практике. С поверхности треснувшего элемента гипсовой (в данном случае) конструкции сооружения при помощи тепловизора была снята термограмма, по которой была определена средняя температура и ее среднее повышение Δt_{cp} . Допустим, $\Delta t_{cp} = 0,9$ °C. По этому значению Δt_{cp} с помощью полученной номограммы (см. рис. 5) было найдено значение номинального напряжения (максимального нормального напряжения, действующего в зоне разрушения материала на площадке максимального касательного напряжения [8]) — $\sigma_n = 6$ МПа. Затем по этой величине σ_n с помощью паспорта прочности строительного гипса были определены главные нормальные напряжения σ_1 и σ_3 , при которых произошло разрушение элемента исследуемого сооружения ($\sigma_1 = 17$ МПа; $\sigma_3 = 1$ МПа) (рис. 6).

Таким образом, был разработан способ определения напряженного состояния материала, основанный на взаимосвязи между температурой (ее повышением) в зоне разрушения и действующими в ней напряжениями на примере гипса. ❖

Таблица

Результаты испытаний по выявлению взаимосвязи между видом напряженного состояния строительного гипса и температурой на его поверхности (в зоне магистральной трещины разрушения)

Вид напряженного состояния	$\sigma_1, \sigma_{сж}, \sigma_p^*$, МПа	σ_n^{**} , МПа	Δt_{cp}^{***} , °C
Объемное напряженное состояние	21,50	11,00	1,01
Одноосное сжатие	14,00	2,00	0,81
Одноосное растяжение	0,14	0,04	0,46

* $\sigma_1, \sigma_{сж}, \sigma_p$ — максимальное главное нормальное (вертикальное) напряжение, средняя прочность на сжатие, средняя прочность на растяжение (соответственно сверху вниз в таблице).

** σ_n — номинальное напряжение (максимальное нормальное напряжение, действующее в зоне разрушения материала на площадке максимального касательного напряжения) [8].

*** Δt_{cp} — среднее увеличение температуры на поверхности испытываемого образца строительного гипса (разница между значениями температуры до приложения нагрузки и в момент разрушения материала).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блохин Д.И. Методика оценки «быстропротекающих» изменений напряженного состояния грунтов и горных пород по данным инфракрасной (ИК-) радиометрии: автореф. дис... канд. тех. наук. М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2005. 22 с.
2. Вознесенский А.С., Устинов К.Б., Шкуратник В.Л. Теоретическая модель акустической эмиссии при механическом нагружении горных пород в области максимального уплотнения // Прикладная механика и техническая физика. 2006. Т. 47. № 4. С. 145–152.
3. Красильников П.А., Середин В.В., Леонович М.Ф. Исследование распределения углеводородов по разрезу грунтового массива // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-14. С. 3100–3104.
4. Кузнецов Ф.М., Козлов А.П., Середин В.В., Пименова Е.В. Рекультивация нефтезагрязненных почв. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2003. 198 с.
5. Опарин В.Н., Яковицкая Г.Е., Вострецов А.Г., Серяков В.Н., Кривецкий А.В. О коэффициенте механо-электромагнитных преобразований при разрушении образцов горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 3. С. 3–20.
6. Середин В.В. Исследование температуры пород в зоне трещины разрушения // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-12. С. 2713–2717.
7. Середин В.В. Способ построения паспортов прочности горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1985. № 4. С. 110–111.
8. Середин В.В., Андрианов А.В. К вопросу о методике определения прочностных характеристик грунтов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. 946 с.
9. Середин В.В., Лантев Б.В. Способ определения напряженного состояния материала: авторское свидетельство СССР № 1173244. Бюл. № 30. 3 с.
10. Чиков Б.М. Проблемы геологической интерпретации сейсмоочаговых систем земной коры (геомеханика и тектонофизический анализ) // Геодинамика и тектонофизика. 2010. № 3. С. 231–248.
11. Konoplev A.V., Krasilnikov P.A. A technique for mapping territorial combinations of natural resources and their comprehensive assessment by a GIS technology // Geography and Natural Resources. 2012. Т. 33. № 1. С. 83–86.
12. Seredin V.V., Kopylov I.S., Khrulev A.S., Leibovich L.O., Pushkareva M.V. Evolution of fracture surface morphology in rocks // Journal of Mining Science. 2013. Т. 49. № 3. С. 409–412.

ГЕОТЕХНИКА

Международный журнал для изыскателей,
проектировщиков и строителей

Цель журнала — знакомство российских специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области геотехники

Периодичность в 2016 году:
6 номеров

Стоимость годовой подписки:
3900 рублей
info@geomark.ru

