

применяться лазерные рулетки, обеспечивающие точность 2 мм. Пункты контроля должны располагаться в средней по длине части камеры. Для получения достоверных результатов при проведении инструментального контроля измерения горизонтальной конвергенции должны проводиться в наибольшей по ширине части камеры на высоте 1,5 – 1,7 м от почвы выработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-45-590681 p_a).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евсеев А.В. Методика инструментального контроля процессов деформирования камерного блока при двухпластовой отработке сильвинитовых пластов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 105-107.
2. Evseev A., Baryakh A., Butirin P. Instrumental Monitoring of Interchamber Pillar-Stability / A. Evseev, A. Baryakh, P. Butirin // ISRM European Rock Mechanics Symposium Eurock. – 2017. – V. 191. – P. 962-966. WOS – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.267.
3. Baryakh A., Lobanov S., Lomakin I., Tsayukov A. Mathematical modeling of limit states for load bearing elements in room-and-pillar mining of saliferous rocks // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: International European Rock Mechanics Symposium. EUROCK 2018 / Taylor & Francis Group. – St.-Peterbourg, 2018. – V. 1. – P. 767-773.
4. Ударцев А.А. Использование оптической системы Vic-3D для изучения полей деформаций при испытании образцов горных пород / Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – с. 128-132. DOI:10.7242/gdsp/2018.16.33.

УДК 622.02

DOI:10.7242/echo.2019.3.9

АНАЛИЗ ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД С ДЕФЕКТОМ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

А.А. УДАРЦЕВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Рассмотрен подход определения начала трещинообразования и эволюции трещин на образцах горных пород Верхнекамского месторождения калийных солей с помощью использования бесконтактной трехмерной оптической системы VIC-3D.

Ключевые слова: диаграммы деформирования, поле деформаций на образцах горных пород, корреляция цифровых изображений, инициирование трещин.

Деформационные процессы, протекающие в грузонесущих элементах камерной системы разработки Верхнекамского месторождения калийных солей, требуют проведения дополнительных лабораторных исследований по изучению трещинообразования на образцах соляных пород. Основные методы изучения начала зарождения трещин при лабораторных испытаниях кристаллических пород с низкой пористостью, основывались главным образом на измерениях боковых или объемных деформаций [1, 2]. В настоящее время, проведение подобных исследований дополняются методами корреляции цифровых изображений, позволяющих проводить локализацию полей деформаций образцов горных пород при различных режимах и схемах нагружения.

Анализ экспериментально полученных зависимостей напряжений от осевых, боковых и объемных деформаций при одноосном сжатии (рис. 1), полученных с применением датчиков, установленных непосредственно на образец, позволил выделить основные точки, характеризующие:

- закрытие имеющихся в образце пор и трещин (появление упругих продольных деформаций);
- зарождение новых трещин (появление неупругих продольных деформаций);
- начало дилатансии (изменение знака производной функции объемной деформации);
- рост и объединение трещин в магистральные (максимальная сжимающая нагрузка).

Применение метода корреляции цифровых изображений при испытаниях позволяет получать информацию по всей исследуемой поверхности образца, что значительно увеличивает точность измерений при изучении картины трещинообразования в горных породах.

Метод позволяет восстанавливать поле векторов перемещений на поверхности исследуемых образцов путем сопоставления опорного изображения (фотографии объекта в исходном состоянии) с изображениями, снятыми в процессе нагружения. Алгоритм построения векторов смещения основывается на установке соответствия между двумя элементарными участками, путем вычисления коэффициента корреляции и поиска его максимума.

Изучение полей деформации на образцах горных пород осуществлялось на основе использования бесконтактной трехмерной оптической системы фирмы «Correlated Solutions».

В состав оптической видеосистемы входят: две цифровые черно-белые камеры с разрешением до 5,0 Мп и соответствующей ему максимальной скоростью съемки 20 кадров в секунду; специализированное программное обеспечение Vic-Snap и Vic-3D; система подсветки поверхности образца; блок синхронизации видеосистемы с испытательной машиной; штатив с трехкоординатной регулируемой головкой и дополнительное оборудование. Методика проведения эксперимента с помощью бесконтактной трехмерной оптической системы Vic-3D описана в работе [3].

Одноосное сжатие осуществлялось с помощью электромеханического прессы Zwick/Z250 при стандартной скорости деформирования – 1 мм/мин в соответствии с требованиями ГОСТа [4]. Общий вид испытательного оборудования представлен на рис. 2.

Испытания проводились на призматических образцах размером 35*35*70 мм в которых создавались искусственные концентраторы напряжения в виде сквозного отверстия диаметром 3 - 5 мм. В ходе подготовки исследуемого образца на поверхность наносился контрастный мелкодисперсный рисунок, представляющий совокупность хаотично расположенных черных точек на белой матовой основе (т.н. спекл-структура). После завершения подготовительных этапов проводилось испытание с последующей обработкой полученных результатов.

При обработке результатов вычисляются геометрические параметры поверхности образца и перемещение в каждой точке. Вместе с перемещениями производится построение полей продольной (ϵ_{yy}), поперечной (ϵ_{xx}) и сдвиговой (ϵ_{xy}) деформации, а так же объемной деформации (ϵ_v). Визуализация полученных результатов может быть представлена в виде двухмерного контурного рисунка, накладываемого на поверхность образца (рис. 3), а также в виде кривых деформаций, сформированных из последовательности данных по всей исследуемой поверхности (рис. 4). На графиках показано развитие осевых, боковых и объемных деформаций от нагрузки с выделенными точками в разные промежутки времени (A_1-A_4 , L_1-L_4 и V_1-V_4). Основными точками, характеризующие процессы трещинообразования в образце являются: точка A_1 – отмеченная на графике продольной деформации, которая определяет закрытие имеющихся в образце пор и трещин; точки A_2 , L_2 – отмеченные по продольной и поперечной деформации, устанавливающие зарождение новых трещин; точка V_2 – отмеченная на объемной деформации и означающая начало дилатансии; точки A_4 , L_4 , V_4 – фиксируют предел прочности образца. Все остальные точки L_1 , V_1 , A_3 , L_3 и V_3 являются либо начальными, либо промежуточными, по которым сложно идентифицировать определённые характерные изменения на графиках, но отмеченные для сравнения.

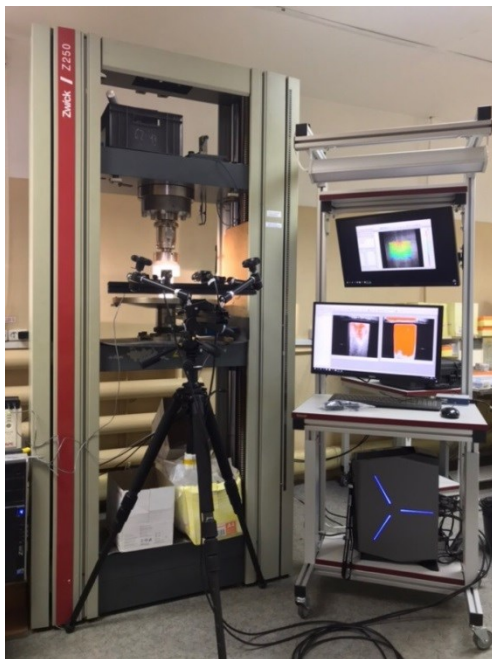


Рис. 2. Общий вид испытательного оборудования:
- электромеханический пресс Zwick/Z250;
- бесконтактная оптическая система Vic-3D

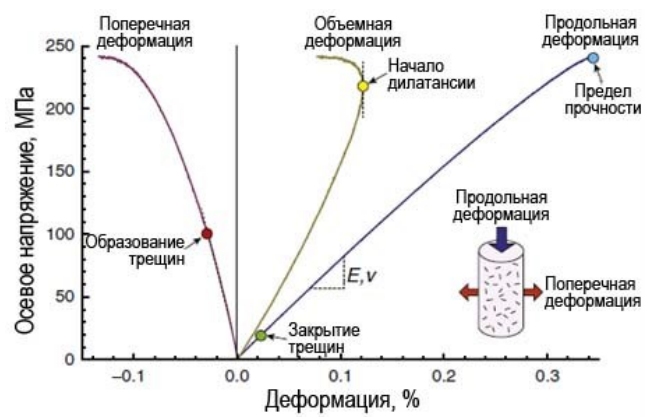


Рис. 1. Характерные диаграммы деформирования горных пород при одноосном сжатии

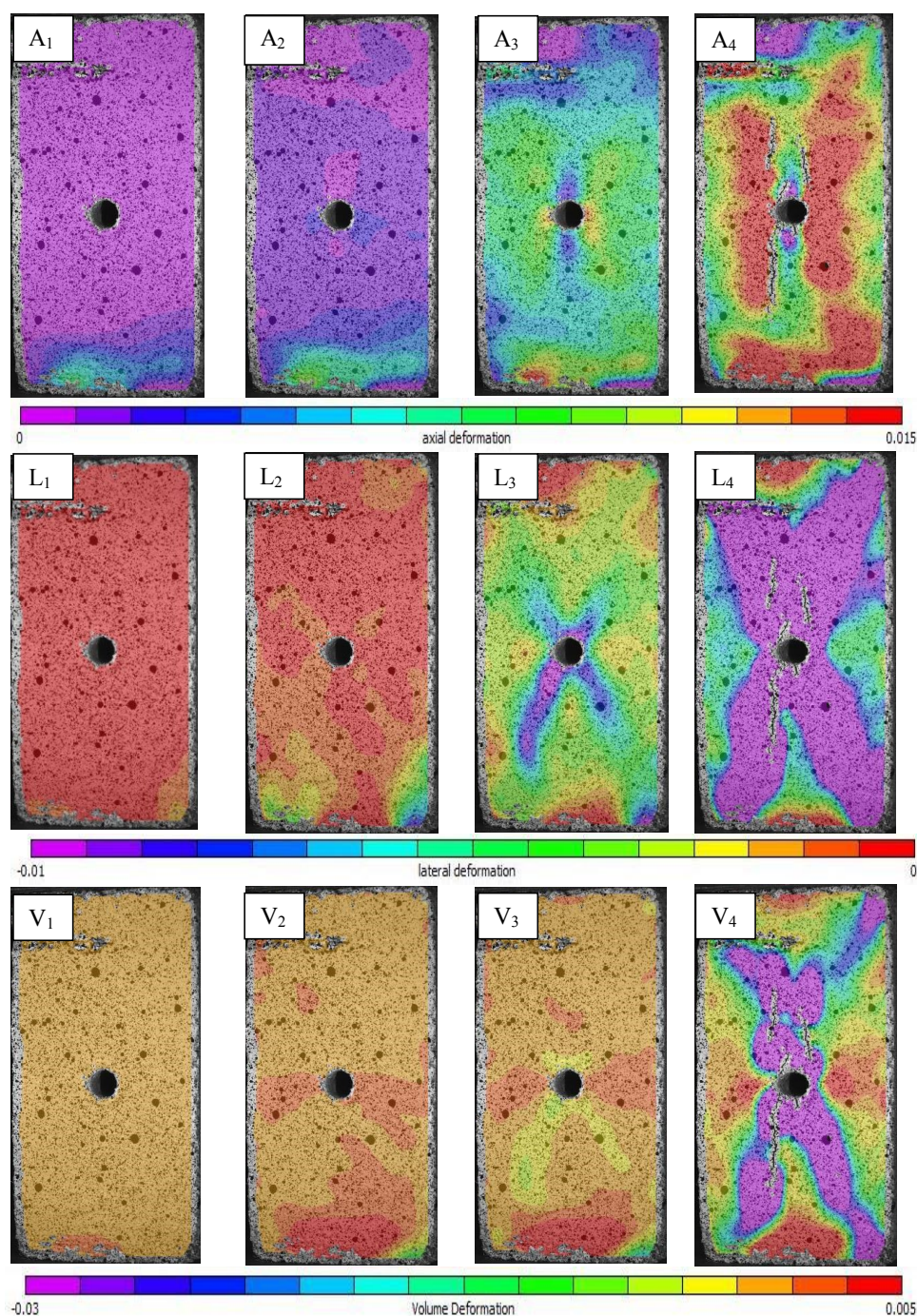


Рис. 3. Пример эволюции полей осевых, поперечных и объемных деформаций на поверхности образца для разных моментов времени (A1–A4, L1–L4 и V1–V4)

В процессе интерпретации результатов полученных в ходе обработки можно наблюдать за развитием неоднородности и локализацией полей деформаций, эволюции образования и дальнейшего роста трещин при накоплении дефектов. Анализируя диаграммы деформирования и поля деформаций, можно заметить что за начало трещинообразования и локализацию полей раньше реагирует точка, в которой происходит отклонение кривой "напряжение-поперечная деформация" от линейной зависимости, при этом зависимость кривой "напряжение-продольная деформация" может оставаться еще линейной. Так же хочется отметить, что наиболее явное и точное определение инициирование трещины наблюдается по объемной деформации, где в качестве оценки можно использовать начало дилатансии, которой соответствует точка максимума на графике "напряжение-объемная деформация". Данные исследования предполагается продолжить в части изучения влияния дилатансии на оценку определения предела длительной прочности.

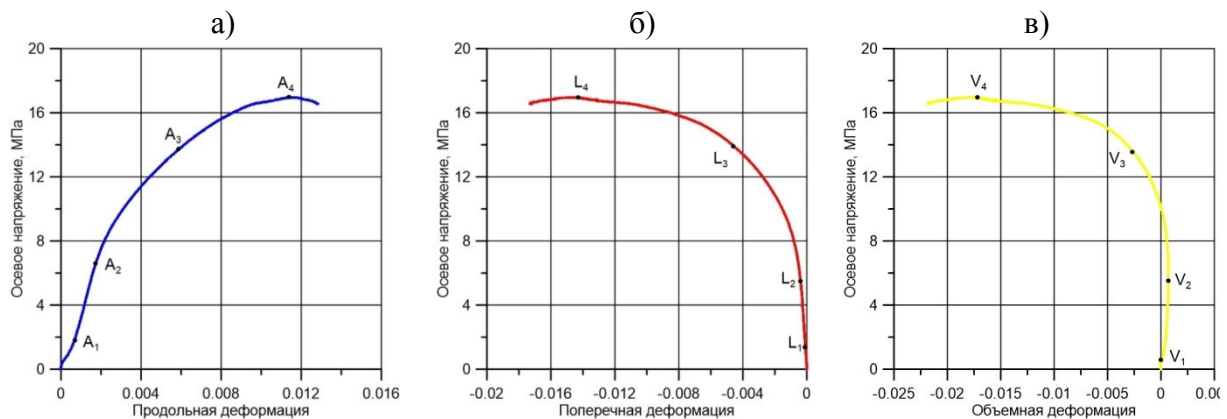


Рис. 4. Примеры характерных диаграмм деформирования, полученных с помощью оптической системы VIC-3D (с отмеченными точками для разных промежутков времени $t_1 - t_4$): а – реакция «осевое напряжение-продольная деформация»; б – реакция «осевое напряжение-поперечная деформация»; в – реакция «осевое напряжение-объемная деформация»

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bieniawski Z.T Mechanism of brittle fracture of rock. Part I – theory of the fracture process // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. – 1967. – V. 4, № 4. – P. 405-406.
2. Brace W.F., Paulding Jr B.W., Scholz C.H. Dilatancy in the fracture of crystalline rocks // Journal of Geophysical Research Atmospheres. – 1966. – V. 71, № 16. – P. 3939-3953.
3. Ударцев А.А. Использование оптической системы VIC-3D для изучения полей деформаций при испытании образцов горных пород // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 128-132. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.33.
4. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии: дата введения 1986-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.83

DOI:10.7242/echo.2019.3.10

ОБРАБОТКА И КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОДНОМ ИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ В г. БЕРЕЗНИКИ

А.В. МИЧУРИН

Горный институт УрО РАН, Пермь

Аннотация: Вместо констатации фактов провалов и обрушений, что практикуется в настоящее время при изучении карстовых явлений, разработана методика мониторинговых гравиметрических исследований, которая позволяет получать сведения о геологическом строении массива, об участках с интенсивным развитием карстово-суффозионных процессов, о наличии полостей на начальном этапе их развития. Это позволит сориентировать инженерные работы по обеспечению сохранности и безопасной жизнедеятельности. Рассмотрен вопрос прогнозирования оседаний земной поверхности по результатам мониторинговых гравиметрических наблюдений на примере потенциально опасного участка в г. Березники

Ключевые слова: гравиразведка, мониторинг, аномалия гравитационного поля, динамическая гравитационная аномалия, прогноз оседаний.

Об актуальности задачи выявления техногенного воздействия на геологическую среду говорят факты катастрофических аварий последних лет с затоплением рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). С целью получения информации о развитии негативных инженерно-геологических процессов в массиве, вызванных процессом экс-