© Э.А. Эртуганова, С.В. Вильямов,
Е.А. Вознесенский, 2005

УДК 534:622.361.1

Э.А. Эртуганова, С.В. Вильямов, Е.А. Вознесенский

*ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ МУЛЬТИМЕДИА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АКУСТОЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАСТВОРЕНИИ КАМЕННОЙ СОЛИ**

Введение

Как известно, мультимедиа (ММ) - это интерактивные системы, обеспечивающие работу с неподвижными и движущимися изображениями, видео, анимированной компьютерной графикой, текстом, речью и высококачественным звуком. Эти средства могут сыграть свою роль при изучении такого явления, как акустическая эмиссия (АЭ), которая возникает при разрушении различных материалов, и, в частности, горных пород. АЭ возникает также и при растворении, плавлении, кристаллизации веществ.

В горной промышленности, где приходится сталкиваться с различными механическими воздействиями на породу, метод АЭ давно используется для изучения этих процессов [1-3]. Одним из способов разрушения пород является растворение, которое применяется, в частности, при создании подземных хранилищ углеводородов в соляных отложениях. Здесь средства ММ даже в своих простейших формах могут быть использованы для визуализации и презентации при докладах, а также для качественной и количественной оценки изучаемых процессов.

1) Первое направление (**качественная оценка**) связано с демонстрационными возможностями ММ, позволяющими наблюдателю осуществлять повторение изучаемого процесса, записанного в виде файлов данных, которые содержат изображения и звук. Цифровая обработка звуков и изображений, которую предоставляют современные компьютеры, позволяет сделать доступными для человека те процессы, которые он не может воспринять в силу ограничений органов чувств. Речь, в частности, здесь идет о широком диапазоне частот, в котором могут находиться сигналы АЭ. Так, например, эти сигналы, регистрируемые при разрушении образцов горных пород в экспериментах, находятся в диапазоне ультразвука, т. е. выше 20 кГц. Частоты сейсмических сигналов находятся ниже 20 Гц. Оба вида сигналов выходят за границы частотного диапазона, воспринимаемого человеком.

С помощью преобразований, изменяющих частоту дискретизации этих сигналов, зарегистрированных в цифровой форме, их спектр может быть перенесен в область звуковых частот. Это даст возможность оценить такие сигналы не только с помощью приборов, но и с помощью

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 05-05-65063-а, и гранта НШ-1467.2003.5 Президента Российской Федерации государственной поддержки ведущих научных школ

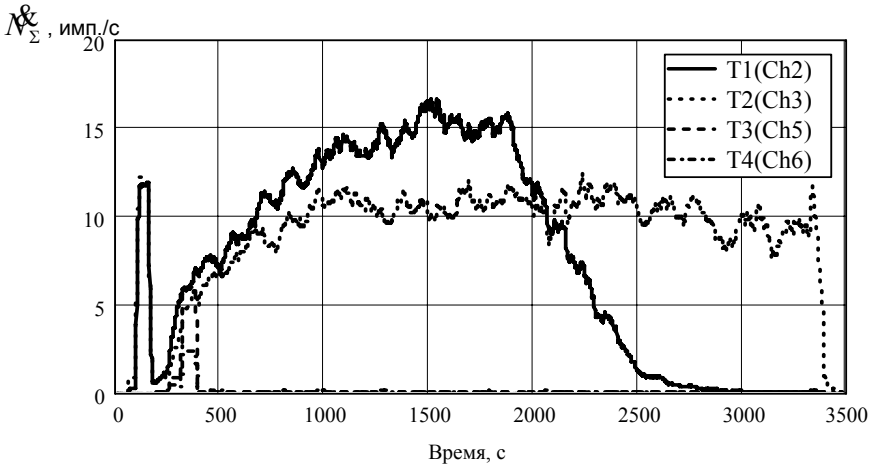

Рис. 1. График зависимости ААЭ, усредненной скользящим средним с шириной окна 50 с

органов чувств человека, а также более наглядно представить изучаемые процессы при обучении или презентации.

Изображения разрушаемых образцов, снимаемые через достаточно большие промежутки времени и воспроизводимые с более высокой частотой позволят сделать более наглядными процессы разрушения, которые могут развиваться достаточно медленно. Это относится к процессам растворения.

2) Фото и видеосъемка могут оказать помощь и при **количественной оценке** (второе направление) изучаемых процессов.

Рассмотрим применение фотосъемки совместно с регистрацией других физических величин и АЭ в процессе растворения образца каменной соли.

1. Активность акустической эмиссии в процессе растворения образца каменной соли

Для регистрации АЭ и других параметров использовалась лабораторная установка [4], основу которой составляет система акустоэмиссионного контроля A-Line 32D («Интерюнис», Москва). Эта система имеет 8 каналов регистрации АЭ в диапазоне частот 30-500 кГц с частотой оцифровки 5 МГц, а также 4 канала регистрации других параметров (параметрические каналы) с частотой оцифровки 5 Гц. На последние подавался сигнал силоизмерителя для записи изменения веса образца в процессе его растворения. Образец имеет первоначальные размеры 35x70 мм. АЭ регистрируется по двум каналам T1 и T2, преобразователи которых размещены на верхнем и нижнем торцах образца. Преобразователи T3, T4, размещенные на стенках сосуда, в котором производилось растворение, в данном эксперименте не зарегистрировали АЭ.

На рис. 1 показана зависимость изменения активности АЭ (ААЭ) $\dot{N}_{\Sigma}$, регистрируемой через 1 с, в процессе растворения образца каменной соли Оренбургского месторождения, извлеченного с глубины около 1000 м.

Для более отчетливого видения различных тенденций было произведено усреднение скользящим средним. При сглаживании скользящим средним с шириной окна 300 с для анализа «медленных» изменений уровня ААЭ, а также с окном 50 с для анализа «быстрых» изменений, в общем ходе эксперимента можно выделить 3 участка. Участок 0-300 с не рас-

сматривается, т. к. связан с погружением образца в воду.

1 участок: 300 с -1100 с - нарастание уровня ААЭ

2 участок: 1100 с – 2400 с - участок стационарной ААЭ; у преобразователя Т1 наблюдается увеличение и последующее уменьшение ААЭ из-за интенсивных процессов растворения на верхнем торце; по обоим каналам наблюдается «перелом» кривой при 1100 с.

3 участок: 2400 с до конца наблюдений – снижение уровня ААЭ

Следует отметить, что в данном эксперименте произошел интенсивный раз-мыв верхнего торца, что привело к нарушению акустического контакта преобразователя Т1 с образцом. На графике ААЭ это отмечено повышенным уровнем ААЭ на участке 1500 с – 1900 с и ее последующим резким уменьшением. После 2900 с – 3000 с ААЭ по этому каналу практически не наблюдается.

Т. е. на кривой изменения ААЭ здесь выделено 3 участка, которые могут быть соотнесены с тремя стадиями процесса растворения. Рассмотрим теперь, как изменяется вес образца и его объем. Скорость изменения веса определена из показаний силоизмерителя, а объем – двумя путями, описанными ниже.

2. Определение изменений объема и площади поверхности с помощью фотосъемки и последующими ММ-преобразованиями

Для визуального контроля процесса растворения производилась фотосъемка с интервалом 15 с образца в процессе его растворения. С этой целью применялась цифровая фотокамера PENTAX Optio 750 Z, позволяющая осуществлять интервальную съемку с заданным интервалом времени. Для этого среди различных возможностей она имеет режимы видеосъемки и покадровой интервальной фотосъемки.

По сравнению с фотосъемкой режим киносъемки дает худшее разрешение (640x480 и 320x240 при частоте 15 и 30 кадров в секунду), что нежелательно для детального рассмотрения изменений поверхности при растворении. Поэтому был выбран режим интервальной съемки кадров с разрешающей способностью 3056x2096 точек. Формат записи *.jpg, из трех возможных градаций выбрано среднее качество, что дает объем одного снимка 1,77 МБ.

Качество записи выбрано средним, исходя из максимально возможного количества снимков. При максимально хорошем качестве снимка объем одного файла находится в диапазоне от 3,2 до 4 МБ, а общее количество снимков, которое можно записать на установленную в фотоаппарат карту памяти 512 МБ, равно 124. Для более подробной съемки, что возможно получить, сфотографировав большее количество кадров, выбрано среднее качество, при этом становится возможным записать до 247 снимков. Это дает возможность, соединив все кадры друг за другом, получить небольшой видеоклип, дающий возможность просмотреть весь процесс растворения в убыстренном темпе. В ходе эксперимента была сделана запись, состоящая из 196 кадров, дающих проследить на экране процесс растворения достаточно подробно. Видеоклип был смонтирован с помощью Adobe Premiere 7,0.При подготовке съемки была произведена настройка на резкость по нерастворимому предмету, опущенному в воду. Это сделано потому, что вода вносит оптические искажения, и настройка на резкость, сделанная без воды, будет искажена после заполнения емкости водой.

Съемка производилась сбоку под углом к поверхности воды, что наложило некоторые особенности. Заполнение водой привело к искажению формы образца. В горизонтальном направлении размер не исказился. В вертикальном направлении же размер уменьшился, образец при этом выглядит более коротким, чем в воздухе. Поскольку съемка производилась со вспышкой, близкое расположение камеры

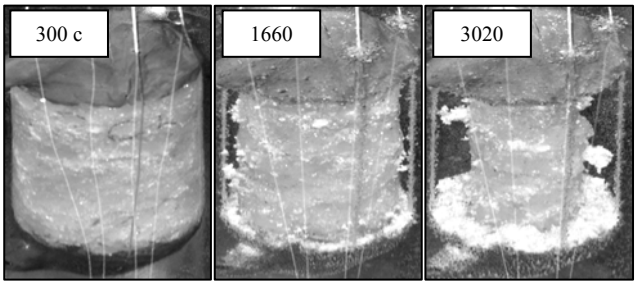

Рис. 2. Отдельные фазы растворения образца каменной соли

привело к появлению импульсных помех в каналах регистрации акустической эмиссии. Это заставило отодвинуть камеру на расстояние 50-60 см от емкости и применить увеличение (зум) для получения картины, в которой образец заполнял бы максимально большое пространство снимка. В свою очередь использование зума заставило уменьшить диаметр диафрагмы для получения достаточной глубины резкости.

На рис. 2 показаны фотокадры последовательности, выбранные в различные моменты времени. Как следует из изображений, процесс растворения разрушает поверхность неравномерно. Участки с примесями (это, в частности, ангидрит), растворяются медленнее, что приводит к появлению выступающих частей, которые могут занимать достаточно большой объем. Площадь такой поверхности рассчитать очень сложно, это можно сделать лишь с определенным приближением.

Из полученных изображений видно также, что одна часть примесей падает вниз, а другая часть поднимается наверх, т. е. они имеют различную плотность по отношению к плотности воды.

Растворение закончилось после того, как диаметр образца стал сравним с диаметром преобразователей, закрытых гидроизолирующими оболочками. Это сделано, чтобы предотвратить контакт воды с преобразователями.

Для последующих расчетов необходимо получить зависимости изменения объема и площади поверхности образца в процессе растворения, что выполнено двумя путями:

1) по начальному и конечному значениям объема, вычисляемым по величинам, измеренным через изменения веса в воде и воздухе; промежуточные значения вычисляются линейной аппроксимацией;

2) путем принятия допущения о форме образца в виде усеченного конуса и определения по фотографиям ширины в его верхней и нижней частях, по которым затем вычисляется объем.

При определении объема и площади поверхности по значениям диаметра образца производилось его измерение по изображению на экране монитора, затем эти значения пересчитывались с учетом действительного диаметра образца по формуле

$$D_i = \frac{D_{fi}}{D_{f0}} \cdot D_0 ,$$

где, D_0, D_i – истинные значения диаметра в начальный момент и при измерении соответственно; D_{f0}, D_{fi} - значения диаметра в начальный момент и при измерении на фото.

На рис. 3 представлены графики, иллюстрирующие изменения верхнего и нижнего диаметров в процессе растворения.

Затем рассчитывались с помощью формулы для усеченного конуса объем, а также площадь боковой поверхности. На рис. 4 представлены графики изменения объема, рассчитанные через начальное и конечное значения объема из эксперимента (линия «Объем Н/К»), а также по размерам, полученным из фотографий (линия «Объем ф.»).

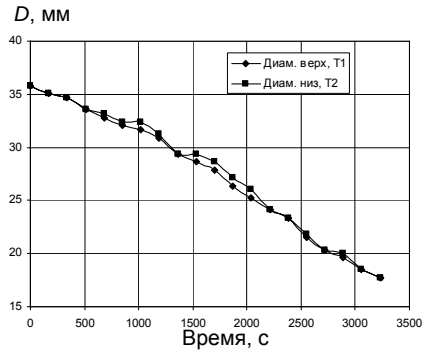

Рис. 3. Изменения верхнего и нижнего диаметра образца в процессе растворения, определенные по фотографиям (нулевой отсчет времени соответствует 300 с зависимости ААЭ, представленной на рис. 1)

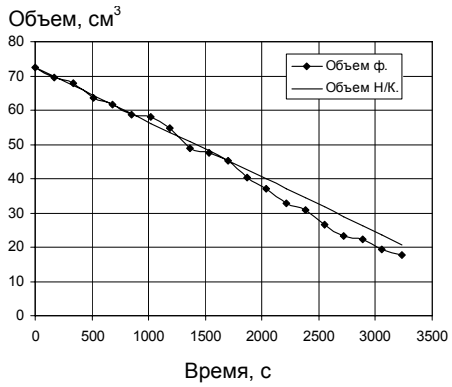

Рис. 4. Изменения объема, рассчитанные через начальное и конечное значения (Линия «Объем Н/К»), а также по размерам, полученным из фотографий (линия «Объем ф.»)

Как следует из приведенных зависимостей, наблюдается их достаточно хорошее совпадение на участках от 0 до 1600-1700 с. Далее следуют расхождения. Они могут быть объяснены тем, что расчет по размерам из фотографий не учитывает неровностей поверхности образца. На рис. 2 можно видеть, что из-за нерастворимых примесей имеются существенные выступы на боковой поверхности образца. Кроме того, здесь не учтен объем примесей, скопившихся в нижней части образца.

На рис. 5 представлены графики зависимости скорости изменения объема от времени. Здесь наблюдается тенденция, схожая с результатом, представленным на экспериментальном графике изменения веса (рис. 6) – сначала абсолютное значение скорости увеличивается, а затем уменьшается. При определении скорости изменения объема по начальному и конечному значениям она принимается постоянной в течение всего периода наблюдения, что не дает возможности выявления особенностей этого процесса в промежутке между началом и концом эксперимента.

Сглаженная зависимость скорости изменения объема (и массы) от времени согласуется с зависимостью ААЭ, представленной на рис. 1. Т. е. здесь в начале и конце можно выделить участки соответственно увеличения и уменьшения абсолютного значения скорости изменения объема, между которыми находится участок постоянного значения.

Это соответствие подтверждается также и зависимостью скорости изменения веса от времени, представленной на рис. 6. Она получена из данных регистрации веса образца в процессе растворения, записываемых по каналу силоизмерителя. В начале и конце этой зависимости находятся

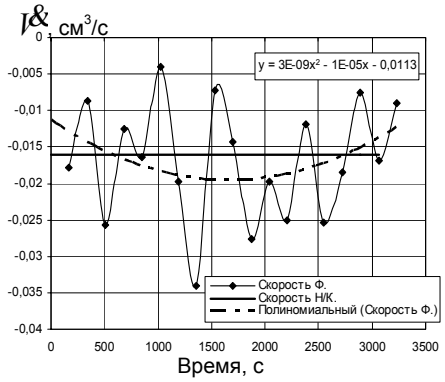

Рис. 5. Зависимость скорости изменения объема (и массы) от времени

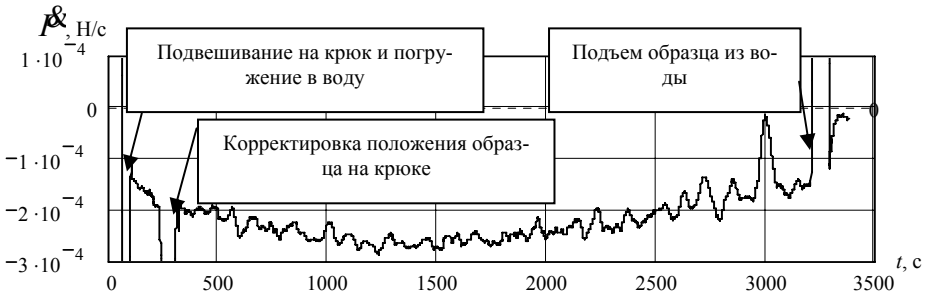

Рис. 6. Скорость изменения веса образца при его растворении

участки выбросов, связанных с подвешиванием, снятием и корректировкой положения образца на крюке силоизмерителя, которые исключаются из рассмотрения. На указанной зависимости также наблюдаются участки увеличения и уменьшения модуля скорости, согласующиеся с зависимостью ААЭ от времени.

Выводы

1) Полученные результаты позволяют сделать вывод о стадийности процесса растворения образца, что дает дополнительную информацию для понимания этого механизма.

2) Средства ММ позволили не только осуществить наглядную визуализацию процесса растворения образца во времени, произвести сопоставление изменения геометрических размеров образца с АЭ процессами, но и подтвердить количественные результаты, полученные другими методами измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вознесенский А.С., Эртуганова Э.А., Филимонов Ю.Л.* Особенности акустической эмиссии при растворении каменной соли. В сб.: Геодинамика 2003. Новосибирск, 2003.

2. *Влияние* примесей на спектры сигналов акустической эмиссии при растворении каменной соли/ А. С. Вознесенский, Э. А. Эртуганова, Ю. Л, Филимонов, М. Н. Тавостин и др.// Материалы XV сессии Российского акустического общества. Нижний Новгород, 2004.

3. *Вознесенский А.С., Эртуганова Э.А., Тавостин М.Н., Вильямов С.В.*/ Распознавание литотипов каменной соли по сигналам акустической эмиссии при ее растворении// Материалы XVI сессии Российского акустического общества. Москва, 2005.

4. *Вознесенский А.С., Эртуганова Э.А., Вильямов С.В.*/Лабораторная установка для акустоэмиссионных исследований образцов соляных горных пород при их растворении//ГИАБ, 2005, №12.

Коротко об авторах

Эртуганова Э.А. – инженер, старший преподаватель,
Вильямов С.В. – студент,
Вознесенский Е.А. – студент,
кафедра «Физико-технический контроль процессов горного производства», Московский государственный горный университет.