

УДК 622.363.1/2:534.002.56

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

**ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ АКУСТОЭМИССИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ОБРАЗЦОВ СОЛЯНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ ИХ РАСТВОРЕНИИ***

Физико-химические геотехнологии относятся к одному из перспективных направлений горного дела, позволяющих создавать новые способы добычи полезных ископаемых, основанных на безлюдной выемке [1]. Одним из методов этих технологий является растворение, которое применяется для решения различных практических задач. К ним относятся создание подземных емкостей в соляных отложениях, добыча каменной и калийных солей, их разделение в процессе обогащения и переработки и т.д.

До сих пор контроль таких процессов осуществлялся с использованием ограниченного набора методов. Современное состояние измерительной техники позволяет автоматизировать процесс измерения, увеличить количество одновременно регистрируемых информативных параметров и исследовать такие процессы более детально и всесторонне. Глубокое их изучение позволит в свою очередь оптимизировать режимы добычи, разработать новые приемы и целые технологии.

Прежде чем процессы растворения осуществляются на натуральных объектах, в лабораторных условиях проводится ряд экспериментов, в ходе которых определяются значения различных физико-технических параметров. Эти параметры

затем используются при расчетах и практической реализации технологических схем. Одним из таких параметров, определяемых в ходе лабораторного эксперимента, является коэффициент скорости растворения. Он представляет собой отношение уменьшения массы к соответствующему промежутку времени, рассчитываемое на единицу объема образца или площади поверхности взаимодействия жидкости и соли.

Даже сегодня физика процессов растворения не изучена достаточно полно, хотя известно много работ, проводившихся в этом направлении. Сделать шаг в этом направлении может дать использование дополнительных методов наблюдений.

Одним из используемых и развиваемых в настоящее время методов контроля процессов разрушения, к которым относится растворение, является метод акустической эмиссии [2-4]. Его применение для наблюдения за указанными процессами обосновано тем, что растворение твердых тел, как и процессы плавления, кристаллизации, сопровождается возникновением и распространением в среде упругих импульсов. Их появление может быть связано с отрывом частиц вещества в процессе растворения. Кроме того, когда происходит растворение каменной соли, первона-

* 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

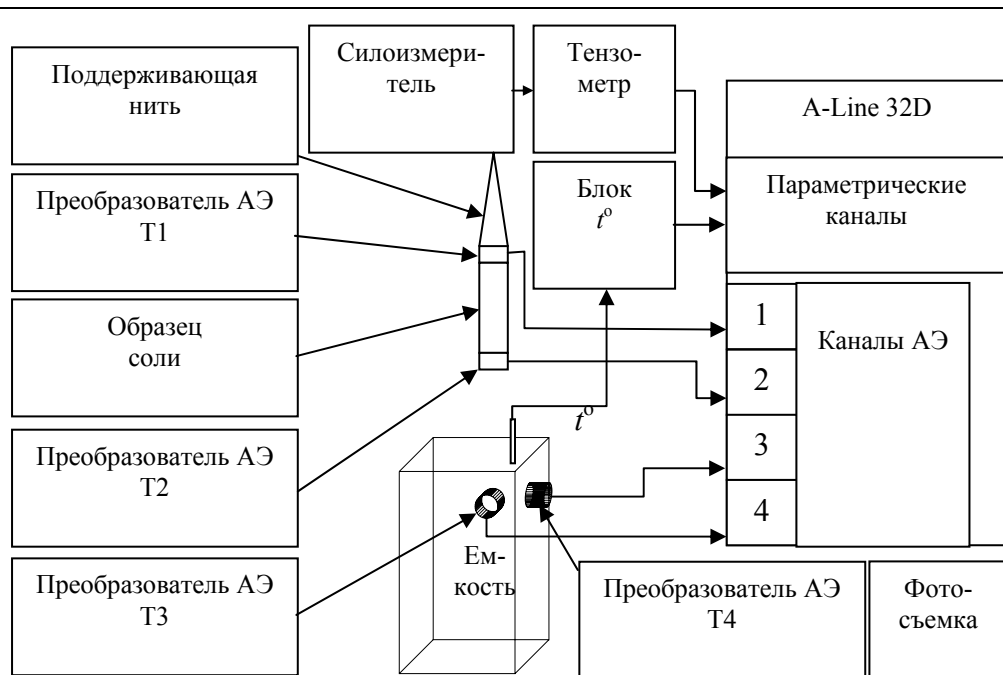


Рис. 1. Схема установки для исследования акустической эмиссии при растворении каменной соли

чально в своем естественном залегании находившейся в условиях повышенного горного давления, ослабляются механические связи, сдерживающие высвобождение внутренних напряжений. Это находит свое выражение в образовании новых и прорастании существующих трещин, являющихся источниками дискретной акустической эмиссии.

С целью проведения экспериментальных исследований процессов растворения на основе регистрации акустоэмиссионных сигналов разработана лабораторная установка, позволяющая в реальном времени осуществлять регистрацию и анализ ряда информативных параметров, отражающих особенности изучаемых явлений.

Схема и описание экспериментальной установки для регистрации сигналов акустической эмиссии (АЭ) при растворении каменной соли приведены на рис. 1.

Основу измерительной части установки составляет информационно-измерительная акустоэмиссионная систе-

ма A-Line 32D, выпускаемая фирмой «Интерюнис», г. Москва. Эта система имеет 8 каналов регистрации акустической эмиссии в диапазоне частот от 30 до 500 кГц с частотой дискретизации 5 МГц. Кроме того, использование в каждом канале сигнальных процессоров позволяет производить расчет параметров сигналов акустической эмиссии в реальном времени и записывать их на диск промышленного компьютера, являющегося базой этой системы.

Помимо ряда информативных параметров сигналов на диск в виде файлов записываются осциллограммы отдельных сигналов, что позволяет впоследствии исследовать их временные и спектральные характеристики. Кроме акустоэмиссионных каналов система имеет также четыре параметрических канала (два высокоомных входа напряжения с диапазоном 0-5 В и два токовых входа с диапазоном 4-20 мА), позволяющих осуществлять регистрацию сигналов других датчиков, производя оциф-

ровку с частотой 5 Гц. Эти каналы используются в установке для регистрации веса образца, изменяющегося в процессе растворения, а также температуры жидкости, в которой производится растворение.

Установка для исследования акустической эмиссии при растворении каменной соли содержит силоизмеритель, на крюк которого с помощью нитей, имеющих незначительную массу и не вносящих заметных погрешностей в результаты измерений, подвешивается исследуемый образец. Силоизмеритель представляет собой упругую балку с наклеенными на нее тензорезисторами, закрепленную на основании (лабораторном штативе). Высота закрепления силоизмерителя относительно емкости, в которой производится растворение, может меняться оператором. Выход тензомоста силоизмерителя подключен к входу тензометра, выполняющего функции усиления и корректировки показаний (выбора необходимого коэффициента усиления, установки нуля, компенсации ухода нуля в процессе измерений и пр.). Тензометр имеет аналоговый выход, подключаемый к параметрическому входу системы A-Line 32D, от которой он также получает питание.

На другой параметрический вход системы A-Line 32D подается сигнал блока регистрации температуры t^o . Сам первичный преобразователь t^o размещается в жидкости и служит для измерения ее температуры в процессе эксперимента. Блок температуры, к которому подключен первичный преобразователь, питается от дополнительного источника питания (на чертеже не показан). Два канала регистрации температуры в качестве датчиков используют преобразователи с диапазоном измерения от 0 до 50 °С. Они выполнены в корпусе, устойчивом к воздействию агрессивных сред, что позволяет использовать данную измерительную систему не только для контроля растворения галита и других солей в воде, но и при исследовании процессов выщелачивания, когда происходит взаимодействие горных пород с кислотами

или щелочами.

Ориентировочные значения максимального веса, регистрируемого силоизмерителем при соответствующих величинах коэффициента усиления

Коэффициент усиления K	Максимальный вес, г
100	1280
200	640
400	320

По параметрическим каналам напряжения измеряемые величины записываются в единицах милливольт в диапазоне от –5000 мВ до 5000 мВ. Для того чтобы пересчитать эти значения в единицу веса, произведена тарировка силоизмерителя, при этом он нагружался гирьками разной массы с интервалом в 20 г. Максимальные значения веса при различных значениях коэффициента усиления тензометра представлены в таблице.

Для пересчета записанных на диск показаний используются регрессионные зависимости. Например, при усилении тензоизмерителя $K = 400$ в процессе тарировки получена зависимость, позволяющая по входному напряжению рассчитать вес в граммах

$$P(x) = -7,434429 + 0,0960344 \cdot x - 0,0000103 \cdot x^2 + 1,7129474 \cdot 10^{-9} \cdot x^3,$$

где x – показания параметрического канала системы A-Line 32 D; $P(x)$ – вес образца в Г.

На торцах испытываемого образца с помощью гидроизолирующих оболочек из пластилина устанавливаются два пьезопреобразователя Т1 и Т2, которые воспринимают сигналы акустической эмиссии, прошедшие от источников через исследуемый материал (в данном случае соль). Два других преобразователя Т3, Т4 устанавливаются на стенках емкости, в которой производится растворение. Толщина ее стенок около 0,5 мм и материал (сталь) создают условия для незначительных затухания, искажений формы и спектра сигналов АЭ, воспринимаемых преобразователями Т3, Т4. Выходы всех пьезопреобразователей Т1-Т4 через предварительные усили-

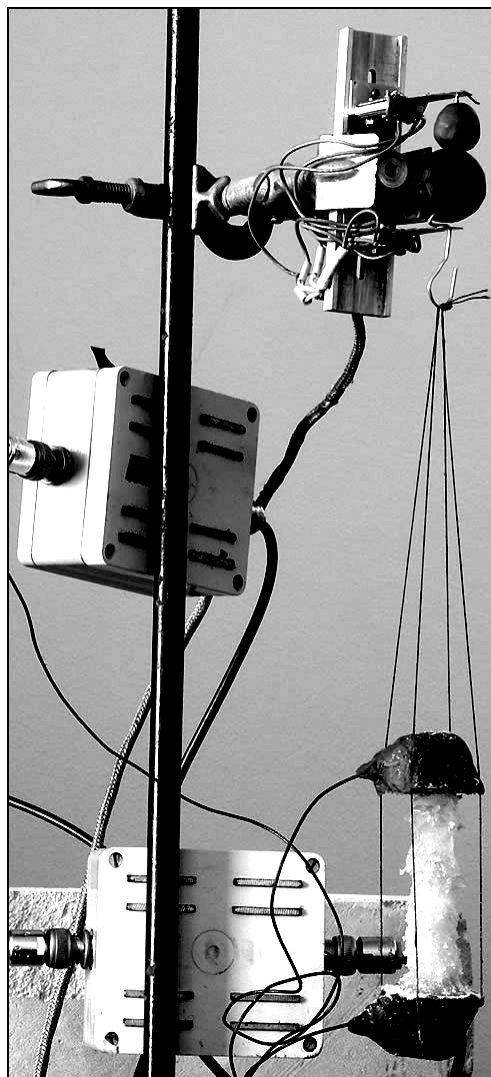
Рис. 2. Внешний вид образца каменной соли, подвешенного на силоизмерителе, после растворения; сверху и снизу находятся гидроизолирующие оболочки с преобразователями акустической эмиссии, подключенными к предварительным усилителям

тели (на схеме не показаны) подключены к соответствующим входам каналов регистрации АЭ системы A-Line 32D.

Такое подключение всех измерительных преобразователей к одной регистрирующей системе обеспечивает хорошую синхронизацию по времени всех информативных параметров, значения которых записываются на диск компьютера в виде файлов данных. Для их обработки применяется специально разработанная методика.

Для визуального документирования процесса система включает также цифровую фотокамеру, которая осуществляет съемку образца горной породы с интервалом в несколько секунд, обычно, через 10 с или 15 с. Полученная таким образом серия фотоснимков затем монтируется в видеоклип, позволяющий в ускоренном темпе наглядно проследить весь процесс растворения. Это дает возможность отметить дополнительные особенности, которые не были замечены в ходе самого эксперимента. Кроме того, серия фотоснимков, сделанных в определенные промежутки времени, позволяет произвести оценку размеров и построить зависимость изменения объема образца от времени, т. е. произвести не только качественные, но и количественные оценки. Такая зависимость может быть использована при последующем анализе зарегистрированных результатов и для их дополнительной проверки.

Растворение осуществляется в стальной емкости объемом 12 л, наполненной водой. В нее помещается образец так, что-

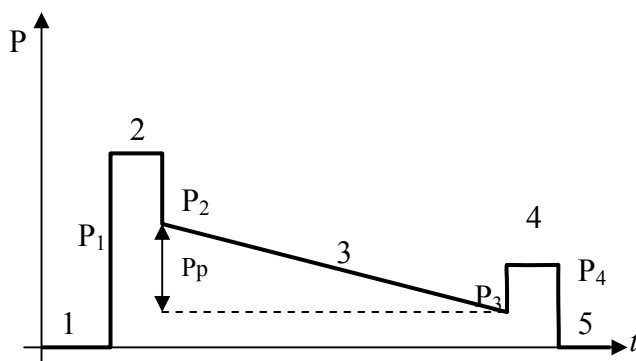


бы верхний край его находился ниже уровня воды. Объем жидкости под нижним краем образца, как это требуется инструкцией по определению скорости растворения каменной соли, должен быть более 10 л. Внешний вид образца каменной соли, подвешенный на силоизмерителе, представлен на рис. 2.

Проведение измерений осуществляется в следующей последовательности.

После включения и настройки аппаратуры включается запись по каналам регистрации параметров сигналов АЭ, осциллограмм и по параметрическим каналам, по которым измеряется вес образца. Образец с помощью ниток, в которых он был закреплен, подвешивается на крюк силоизмерителя, после чего производится выдержка в течение 20 с для последующего определения веса образца в воздухе. Показания силоизмерителя при этом изменяются в сторону увеличения веса. Затем путем перемещения силоизмерителя вниз образец плавно опускается в воду до полного погружения. В результате этого показания силоизмерителя изменяются в сторону уменьшения значений. В процессе растворения показания силоизмерителя плавно уменьшаются в соответствии с уменьшением веса. После достижения образцом размеров, при которых могло бы произойти обнажение преобразователей и их контакт с водой, образец извлекается из воды путем перемещения силоизмерителя вверх. При этом происходит увеличение показаний силоизмерителя. Затем после 20 с образец снимается с крюка силоизмерителя, после чего показания регистрируются также в течение 20 с, что необходимо для определения веса при последующей статистической обработке. Качественно график изменения показаний силоизмерителя изображен на рис. 3.

Здесь можно выделить 5 участков:



1 - участок начальных показаний без образца;

2 - участок показаний, характеризующих вес образца с датчиками в воздухе до растворения;

3 - участок показаний, характеризующий изменение веса образца с датчиками в воде;

4 - участок показаний, характеризующий вес образца с датчиками в воздухе после растворения;

5 - участок показаний силоизмерителя без образца, аналогичен участку 1.

Скачки показаний силоизмерителя характеризуют:

P_1 - вес образца в воздухе с датчиками до растворения;

P_2 - изменение веса образца с датчиками при его погружении в воду до растворения; через плотность воды может быть вычислен объем образца до растворения

$$V_1 = \frac{P_2}{\rho_e},$$

где V_1 - объем образца с датчиками до его растворения; ρ_e - плотность воды; P_3 - изменение веса образца с датчиками после растворения при его извлечении из воды; может быть рассчитан объем образца после растворения

$$V_2 = \frac{P_3}{\rho_e},$$

где V_2 - объем образца с датчиками после его растворения; P_4 - изменение показаний силоизмерителя при снятии образца с датчиками после растворения, характеризует вес образца после растворения.

Аналогичные измерения проводятся до или после растворения образца

Рис. 3. Показания силоизмерителя в процессе эксперимента

для определения веса и объема только акустоэмиссионных преобразователей в гидроизолирующих оболочках без образца.

По зависимости веса от времени рассчитывается скорость его изменения. В качестве информативных параметров в системе также измеряются активность, скорость счета, амплитуда, энергия сигналов дискретной акустической эмиссии и ряд других величин. При обработке данных совмещение друг с другом графиков скорости изменения нагрузки, а также активности акустической эмиссии и других величин позволяет устанавливать новые закономерности. Они не могут быть выявлены при традиционных экспериментальных методах, основанных на простом измерении веса, площади поверхности и объема образца до и после его

растворения.

Обработка показаний производится с помощью стандартных программных средств Excel, Statistica, а также по специализированным программам, написанным в среде Mathcad. Они позволяют осуществлять фильтрацию сигналов, производить построение графиков различных информативных параметров в одинаковых временных масштабах, выполнять спектральный и временной анализ всех данных, характеризующих как нагрузку, так и акустическую эмиссию.

Данная установка позволит более детально осуществлять всестороннее изучение и контроль процессов растворения и выщелачивания, как в экспериментальных, так и в производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аренс В.Ж.* Физико - химическая геотехнология: [Учеб. пособие для вузов по направлению "Горное дело", "Геология и разведка месторождений полез. ископаемых"(бакалавры и магистры), по всем специальностям подгот. гор. инженеров] / В. Ж. Аренс; [Рос. акад. естеств. наук] - М.: Изд-во Моск.гос.горного унта, 2001, 1655 с.

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

3. *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.

4. *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.

Коротко об авторах

Вознесенский А.С. – доктор технических наук, профессор,

Эртуганова Э.А. – инженер, ст. преподаватель,

Вильямов С.В. – студент,

кафедра «Физико-технический контроль процессов горного производства», Московский государственный горный университет.

