

УДК 622:534

В.Л. Шкуратник, П.В. Николенко

**О ПРОЯВЛЕНИЯХ ЭФФЕКТА КАЙЗЕРА
В ПЬЕЗОКЕРАМИКЕ И ВОЗМОЖНОСТИ
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ГЕОКОНТРОЛЯ**

Представлены результаты экспериментальных исследований проявления акустико-эмиссионного эффекта памяти в пьезокерамике. Обсуждаются возможности его применения для оценки напряженно-деформированного состояния горных пород в массиве.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, напряженно-деформированное состояние, геоконтроль, пьезокерамика, эффект памяти.

Определение напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов систем разработки и его динамики под влиянием природных и техногенных факторов является одной из приоритетных задач экспериментальной геомеханики. Многочисленные методы, привлекаемые до настоящего времени для решения этой задачи (например, разгрузки керна, разрыва скважины и другие), не удовлетворяют требованиям практики геоконтроля прежде всего по точности и достоверности получаемой информации, а также трудоемкости и затратности соответствующих измерительных технологий. Отмеченное, наряду с постоянным усложнением условий освоения недр, обуславливает непрекращающийся интерес к поиску новых нетрадиционных технических и технологических решений в области контроля НДС массива. Одним из наиболее значимых результатов такого поиска, достигнутых в последние годы, явилось обоснование методов контроля на основе эффектов памяти (ЭП) в горных породах и, в частности, акустико-эмиссионного эффекта памяти (эф-

фекта Кайзера) [1]. Последний наблюдается при циклическом нагружении горных пород с возрастающей от цикла к циклу амплитудой напряжения и заключается в невоспроизводимости акустической эмиссии (АЭ) вплоть до максимального напряжения предшествующего цикла σ_m^I , когда параметры АЭ скачкообразно восстанавливаются до уровня, соответствующего σ_m^I .

Для определения напряжений в массиве из него извлекают керн, который затем подвергают осевому нагружению в лабораторных условиях и фиксируют напряжение, соответствующее моменту проявления эффекта Кайзера. Переход от указанного напряжения к искомому напряжению, действующему в массиве, осуществляется с использованием специальных алгоритмов, учитывающих вид НДС и особенности формирования поврежденности и памяти породы в условиях трехосного сжатия [2]. Необходимость качественной оценки этих особенностей (индивидуальных для каждой горной породы) и кернового бурения являются основными фактора-

ми снижающими эффективность контроля НДС массива на основе ЭП. При этом показатели точности такого контроля в любом случае остаются недостижимыми для других методов.

Для оценки напряженного состояния массива возможно использование эффекта Кайзера не непосредственно в горной породе, а в некоторых композитных материалах, помещаемых через специально пробуренную скважину в контролируемую точку массива. При этом исключается необходимость kernового бурения, а также повышается точность оценки НДС за счет заранее известных особенностей проявления свойств памяти в конкретных композитных материалах. В качестве одного из таких материалов может выступать пьезокерамика, применение которой в качестве «носителя памяти», как это будет показано ниже, может значительно упростить конструкцию соответствующих измерительных приборов.

В рамках настоящей работы приведены результаты призванные установить: проявляется ли акустико-эмиссионный ЭП в пьезокерамике; какие из параметров АЭ наилучшим образом отражают проявление ЭП в пьезокерамике; как зависят проявления ЭП в пьезокерамике от временного промежутка между циклами механического нагружения; зависит ли вид спектра АЭ при проявлении ЭП от геометрических размеров образцов пьезокерамики; существует ли помеховое влияние температуры на проявление ЭП в пьезокерамике.

Результаты экспериментальных исследований

Образец пьезокерамики марки ЦТС-19 в виде диска диаметром 40мм и высотой 4 мм был подвергнут двухцикловому одноосному нагружению. В рамках первого (установочно-

го) цикла максимальная нагрузка составила $P_{\max}^I = 2500$ кг, после достижения которой нагрузка сбрасывалась до нуля. Затем осуществлялся второй (тестовый) цикл нагружения до нагрузки $P_{\max}^{II} > P_{\max}^I$ с одновременной регистрацией таких параметров АЭ как активность \dot{N}_{Σ} , суммарный счет N , скорость счета \dot{N} , энергия E . Результаты соответствующих экспериментов представлены на рис. 1.

Из приведенных зависимостей видно, что параметром, наилучшим образом отражающим проявление акустико-эмиссионного ЭП в пьезокерамике, является скорость счета АЭ, что в соответствии с ГОСТ 27655-88 является отношением суммарного счета акустической эмиссии к интервалу времени наблюдения (суммарный счет АЭ – число зарегистрированных превышений импульсами АЭ установленного уровня дискриминации за интервал времени наблюдения) [3]. На рис. 1, а отчетливо виден всплеск скорости счета АЭ при достижении нагрузкой максимального уровня первого (установочного) цикла нагружения, что и является проявлением эффекта Кайзера в пьезокерамике. Аналогичная картина наблюдалась на всех двадцати испытанных образцах пьезокерамических материалов. В дальнейших исследованиях именно скорость счета АЭ была принята за основной информативный параметр.

Важным параметром, определяющим возможность использования эффекта Кайзера в целях геоконтроля является зависимость его проявления от длительности промежутка времени между циклами нагружения. Другими словами, интерес представляет «длительность сохранения памяти» в пьезо-

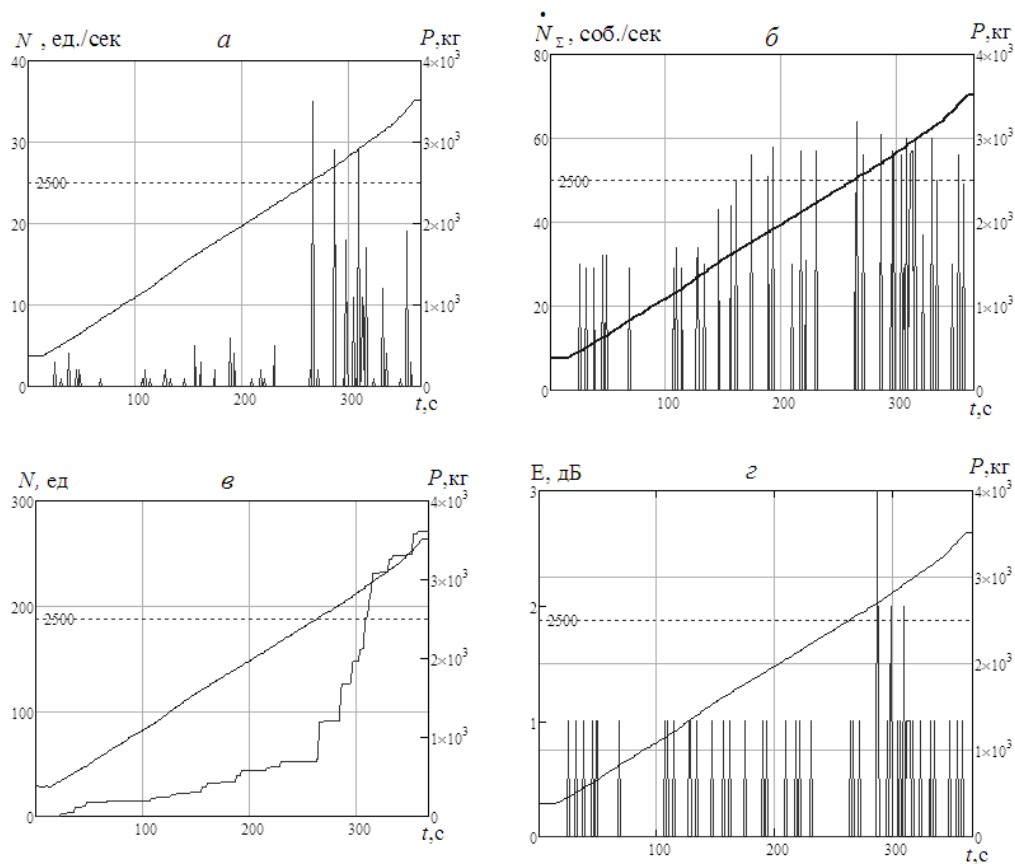


Рис. 1. Зависимость во времени t скорости счета (а), активности (б), суммарного счета (в) и энергии (г) АЭ пьезокерамики от величины нагрузки P в тестовом цикле нагружения

зокерамике. Для ее определения была проведена серия экспериментов, в которых одинаковые образцы подвергались циклическому нагружению при различных промежутках времени между установочным и тестовым циклами. На рис. 2 отражено поведение скорости счета АЭ при втором цикле нагружения. Пунктиром на графиках отмечены максимальные нагрузки установочного цикла.

Для каждого из измерений был рассчитан па-

раметр FR (показатель сохранности памяти – отношение напряжения, при котором наблюдается ЭП во втором цикле нагружения к максимальному напряжению установочного цикла [1]), а также определена относитель-

Изменение параметров, характеризующих сохранность памяти в пьезокерамике при изменении длительности промежутка времени между циклами нагружения

№	Временной интервал между циклами нагружения, часы	FR, отн. ед.	Отн. погрешность проявления эффекта памяти
1	24	1.015	1.4%
2	48	1.034	3.4%
3	72	1.036	3.6%
4	120	1.241	24%

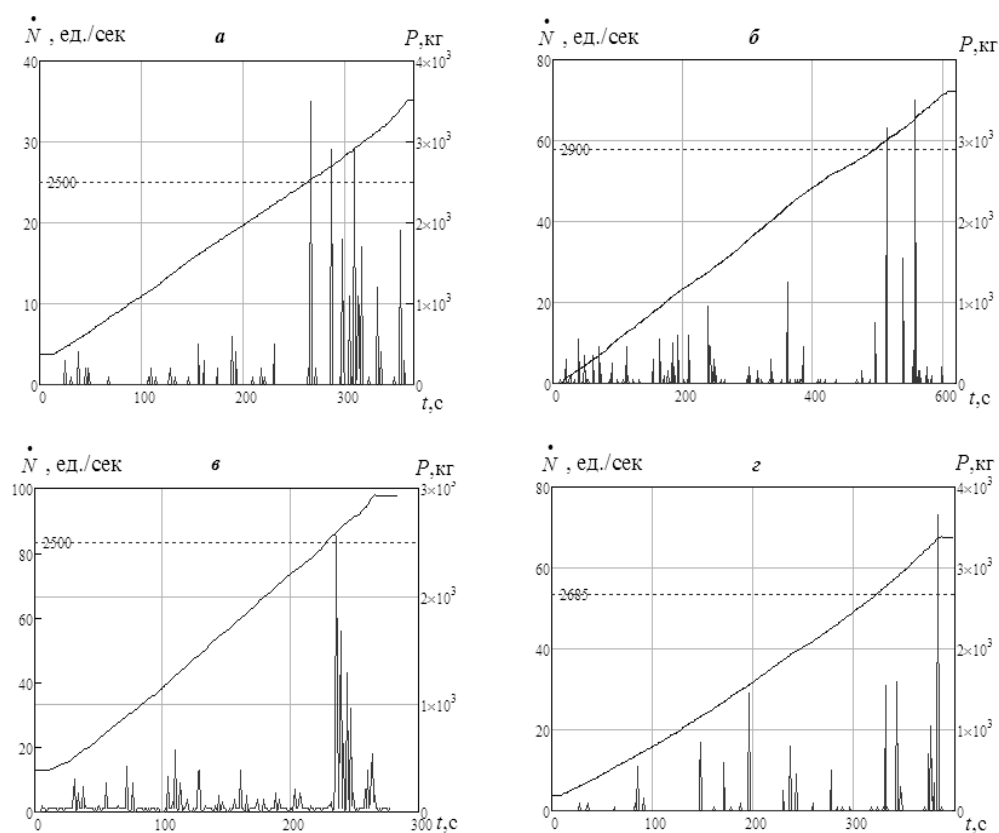


Рис. 2. Зависимости скорости счета \dot{N} АЭ от нагрузки P в тестовом цикле нагружения при интервалах между циклами: 24 часа (а), 48 часов (б), 72 часа (в), 120 часов (г)

ная погрешность проявления ЭП. Результаты расчетов представлены в таблице.

Задавшись предельной относительной погрешностью измерения напряжений, не превышающей 15%, из данных таблицы имеем, что гарантированная «длительность сохранности памяти» в пьезокерамике составит не менее 72 часов.

В рамках работы был проведен также анализ зависимости спектра импульсов АЭ в тестовом цикле нагружения от геометрических размеров образцов пьезокерамики. Пример спектра приведен на рис. 3.

Исследования на образцах пьезокерамики различных форм и размеров показали, что максимум плотности энергии в спектре сигнала АЭ лежит в области 100 кГц и в явном виде не зависит от геометрии образцов. Эта закономерность позволит в дальнейшем использовать в измерительных устройствах разнообразные образцы пьезокерамики и применять к ним единообразную фильтрацию сигнала с целью защиты от акустических и электрических помех.

Как известно, наиболее сильное помеховое влияние на проявление эффекта Кайзера в геоматериалах

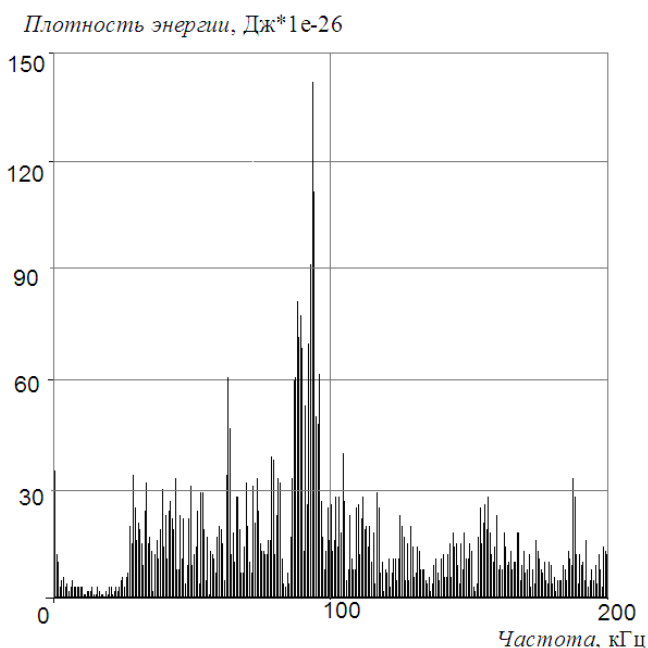


Рис. 3. Пример спектра АЭ импульса в установочном цикле нагружения дискообразного образца пьезокерамики высотой 3мм и диаметром 18 мм

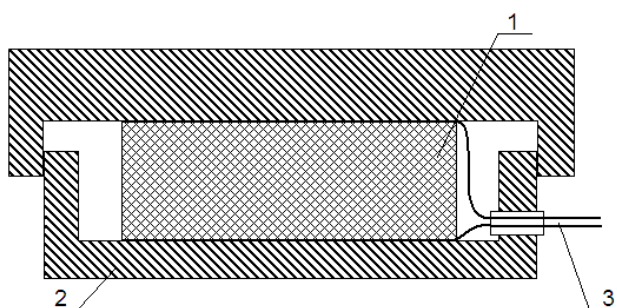


Рис. 4. Конструкция датчика сигнализатора критических уровней напряжений

оказывает температурное воздействие. Исследование такого влияния на пьезокерамику марки ЦТС-19 показало, что при нагревании последней до температуры 200 °С (эта температура почти на 100 °С ниже температуры точки Кюри) сигналов АЭ не возникало, а также не изменялся показатель FR.

150

Возможное практическое использование акустико-эмиссионного эффекта памяти в пьезокерамике для определения НДС массива

При решении задач геоконтроля нередко возникает необходимость не в непрерывном мониторинге напряженного состояния массива горных пород, а в сигнализации момента достижения напряжением некоторого критического уровня. Реализация такого сигнализатора возможна с применением рассмотренного выше эффекта памяти в пьезокерамических элементах. Стоит отметить, что использование пьезокерамики в чистом виде для измерения медленно изменяющихся напряжений невозможно из-за того, что скорость нарастания зарядов на электродах под воздействием указанных напряжений оказывается меньше скорости стекания зарядов через входные цепи усилителя. Этот недостаток возможно избежать в рассматриваемой ниже конструкции датчика сигнализатора, использующего в своей основе

пьезоэлемент с наведенным в нем эффектом памяти. Возможная конструкция датчика схематично представлена на рис. 4.

Работа датчика заключается в следующем. Пьезоэлемент 1 в лабораторных условиях выдерживается под давлением P_1 , равным запрограммированному давлению срабатывания

датчика в массиве. Далее он устанавливается в корпусе 2 и помещается в скважину, пробуренную в стенке горной выработки. Область вокруг датчика заполняется быстротвердеющим раствором, прочность которого на сжатие должна быть не меньше прочности пород окружающего массива. После отвердения раствора датчик начинает воспринимать нагрузку от деформирующихся под давлением массива стенок скважины. При достижении в массиве нагрузки, равной P_1 в пьезокерамике возникает резкий всплеск скорости счета АЭ, который посредством прямого пьезоэффекта преобразуется в электрический сигнал, передаваемый с помощью двухпроводного кабеля 3 на вход усилителя соответствующей аппаратуры сигнализации.

Выводы

Представленные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что пьезокерамика

обладает способностью «запоминать» максимальный уровень испытанной механической нагрузки. При вторичном ее нагружении эта способность проявляется в виде устойчивого эффекта Кайзера, который наиболее четко регистрируется по скачкообразному возрастанию такого параметра акустической эмиссии, как ее скорость счета.

Длительность акустико-эмиссионной «памяти» пьезокерамических элементов, составляющая не менее 72 часов, достаточна для ее практического использования в задачах геоконтроля. В качестве факторов, способствующих такому использованию можно рассматривать отсутствие влияния температуры на проявление эффекта Кайзера в пьезокерамике и незначительную зависимость соответствующего эффекту спектра АЭ сигнала от геометрических параметров пьезоэлементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филлимонов Ю.Л. Акустический эффект памяти в горных породах. М.:Издательство Московского государственного горного университета. 2004, 450с.
2. Шкуратник В.Л. Закономерности эффектов памяти в горных породах и перспектива их использования для решения прак-

- тических задач геоконтроля // Труды Международной конференции «Проблемы и перспективы горных наук» (1-5 ноября 2004 г.). Новосибирск.:ИГД СО РАН, 2005, с.72-79.
3. ГОСТ 27655-88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения // М.:Изд-во стандартов. – 1988. – 14 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Шкуратник В.Л. – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Физико-технический контроль процессов горного производства».
Николенко П.В. – аспирант кафедры «Физико-технический контроль процессов горного производства»,
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

