

УДК 550.348

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ И СЕЙСМОГРАММЫ**Мишин С.В.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило
Дальневосточного отделения РАН, Магадан, e-mail: mishin@neisri.ru*

Рассмотрены результаты экспериментов по регистрации сейсмических сигналов, возбужденных ударом и взрывом. Сейсмические события представляются следствием перехода потенциальной энергии в кинетическую и распространения механического импульса в виде сейсмического излучения.

Ключевые слова: сейсмограмма, удар, взрыв, импульс, сейсмическое событие.

SEISMIC EVENTS AND SEISMOGRAMS**Mishin S.V.**

*Federal State Institution of Science Northeastern Interdisciplinary Research Institute N.A. Shiloh,
Far Eastern Branch of the RAS, Magadan, e-mail: mishin@neisri.ru*

The results of the experiments on registration of seismic signals excited by impact and impulse are examined. Seismic events are presented as the result of potential energy transformation into kinetic one, and mechanical impulse propagation in the form of seismic emission.

Keywords: seismogram, impact, blast, impulse, seismic event.

Назовем сейсмическим событием кратковременный процесс, результатом которого являются сейсмические сигналы, регистрируемые сейсмографом. Очевидно, что таких событий в мире происходит множество, причины их разнообразны и большинство их не связаны с землетрясениями (понимаемыми как тектонический процесс). Работающий сейсмограф регистрирует шаги людей, порывы ветра, морской прибой, движение транспорта, взрывы зарядов пороха и тротила. На сейсмических станциях, оборудуемых для регистрации землетрясений, принимаются специальные меры для уменьшения уровня помех (сейсмических сигналов, не связанных с землетрясениями), однако радикально избавиться от помех на сейсмограммах можно лишь избавившись заодно и от сигналов от землетрясений. Сейсмические события объединяет общее свойство – сейсмическое излучение – способность выводить инертную массу маятника из равновесия. Сейсмическое излучение представляет собой распространение механического импульса в системах связанных масс [1,2]. Распространение поступательного импульса – количества движения – интерпретируется как продольные волны Р, а распространение вращательного импульса – момента количества движения – описывается как поперечные волны S.

Наглядной моделью сейсмического события может служить дробление камня с помощью молотка и зубила. Что разбивает камень? Молоток вообще не касается камня в процессе разбивания, зубило контактиру-

ет с камнем в узкой зоне, а осколки отлетают от камня далеко от зоны контакта с зубилом. Немного логики и становится ясно, что камень разрушался сейсмическим излучением, сформированным при ударе молотка об обушок зубила и распространившимся вдоль зубила как вдоль проводника сейсмического излучения. В результате удара молотка обушок зубила приобрел механический импульс (количество движения); этот импульс распространился со скоростью сейсмических волн вдоль металла и был передан камню в зоне его контакта с зубилом. Изменение количества движения по определению есть ньютоновская сила и действует эта сила на поверхности волнового фронта, на границе, разделяющей в данный момент частицы камня еще не приобретшие импульс от частиц уже обладающих импульсом. Действие ньютоновских сил приводит к разрыву сплошности камня, а избыток импульса определяет движение массивных обломков.

Таким образом, сейсмическое событие можно характеризовать интенсивностью сейсмического излучения – значением переданного в среду импульса, а также распределением в пространстве и во времени ньютоновских сил – производных импульса по времени. Повторим, что любая помеха, действующая на работающий сейсмограф, может и должна характеризоваться этими величинами так же как и таинственный процесс землетрясения.

Сейсмические события можно грубо классифицировать на три группы – уда-

ры, взрывы и землетрясения. Сотрясения от движущегося транспорта, работающей техники, ветра, морского прибоя представляются сериями ударов разного направления и интенсивности, следующих во времени. Промышленный взрыв также обычно представляется серией последовательных взрывов зарядов ВВ, различающихся положением в пространстве и во времени. Физические измерения в очагах землетрясений пока не проводились, поэтому представления о характере движений в гипоцентрах формируются умозрительным путем. Откуда же появляется импульс в источниках сейсмического излучения? Если физическое тело обладает запасом потенциальной энергии, то при определенных условиях эта энергия может перейти в кинетическую, т.е. в движение массы. Движение же массы непременно определяется скоростью и направлением, т.е. кинетическая энергия в отличие от других видов энергии непременно связана с механическим импульсом. Кинетическая энергия E представляет собой в общем виде следующее выражение:

$$E = P^2/2M + S^2/2J,$$

где P – количество движения, приобретенное массой M , а S – момент количества движения, приобретенный телом с моментом инерции J .

Первая часть выражает энергию поступательного движения (продольной волны), а вторая – вращательного движения или поворота (поперечной волны). Кинетическая энергия возникает при преобразовании разных форм потенциальной энергии – гравитационной, химической, упругой, электромагнитной. Падающий камень приобретает кинетическую энергию, расходуя потенциальную энергию тяготения Земли. Сейсмическое событие наступит тогда, когда камень затормозится, отдавая по мере торможения приобретенный за время падения импульс. При взрывном превращении химическая потенциальная энергия ВВ переходит в кинетическую, причем масса продуктов реакции тормозится о стенки взрывной камеры, отдавая полученный импульс. При подаче электрического сигнала на обмотку электродвигателя, его ротор поворачивается, вырабатывая кинетическую энергию – стоящий неподалеку сейсмоприемник регистрирует сейсмические сигналы. Когда мальчик отпускает резинку, упругая энергия рогатки переходит в кинетическую энергию камня, который готов свершить сейсмическое событие. При попадании камня в мишень его

импульс отдается тормозящей среде – сейсмограф регистрирует сейсмическое событие. (Премудрость современной сейсмологии – это ошибочное описание именно последнего процесса – упругой отдачи).

Таким образом, непременным условием сейсмического события является переход потенциальной энергии в кинетическую и последующее движение массы. Первой фазой сейсмического события является торможение движущейся массы. По мере торможения массы ее импульс передается тормозящим связям по законам удара. Первый этап события заканчивается остановкой массы – полной передачей импульса окружающей среде. Роль источника сейсмического излучения на этом заканчивается. Однако сейсмическое событие продолжается – импульс в виде сейсмических волн распространяется в материальной среде – системе связанных масс. При этом сейсмический сигнал приобретает знакопеременную форму и характерную структуру – внезапное начало, довольно однородный частотный состав, постепенное убывание интенсивности сигналов. Длительность первоначального воздействия на среду сопоставима с половиной первого смещения, зарегистрированного на сейсмограмме (т.е. с четвертью периода, характерного для начала сотрясения). В сотрясении, следовательно, можно выделять первую фазу – выход системы из исходного равновесного состояния под действием внешнего воздействия (удара или взрыва) – и релаксацию – восстановление равновесного состояния системы связанных масс. Распространение механического импульса в материальной среде происходит со скоростью сейсмических волн, импульс сохраняется в сферическом слое, радиус которого увеличивается. Все эти явления составляют суть любого сейсмического события, различаются лишь интенсивности воздействий, их длительности и, соответственно, силы, действующие на связи, объединяющие элементы материальной системы, в которой событие происходит. Ниже мы рассмотрим подробнее общие свойства и различия между сейсмическими событиями, связанными с ударами, взрывами и землетрясениями.

Сейсмограммы ударов

Удар твердого тела генерирует пакет сейсмического излучения, который регистрируется в виде знакопеременных смещений основания прибора. На рис. 1 представлены результаты цифровой регистрации сотрясений, полученных с применением пьезоэлектрического датчика.

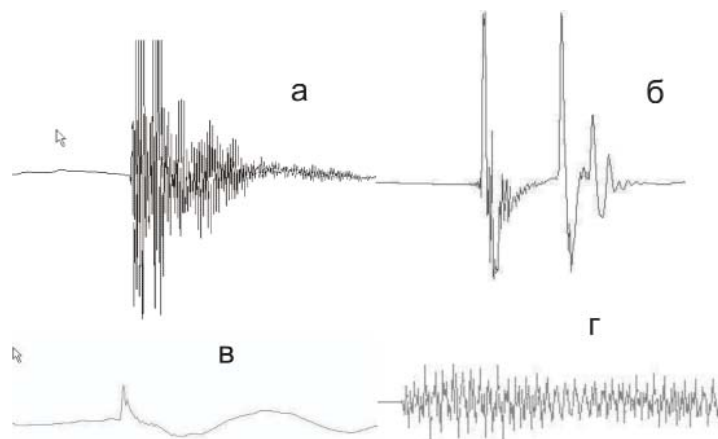


Рис.1. Сейсмограммы ударов жестких тел по разным основаниям.
 а – удар по жесткому основанию; б – удар по стальному кольцу;
 в – удар по вазелину; г – удар по подвешенной стальной гире

Из рисунка видно, что формы пакетов излучения весьма разнообразны. Начала сотрясений, как правило, резки, а кода – процесс восстановления равновесия возбужденных систем – формируется характеристиками сотрясающихся сред. Ньютоновская сила, действующая при передаче импульса от ударяющего тела, вызывает смещение материала мишени на площадке удара, нарушает равновесное состояние среды. Импульс распространяется дальше со скоростью сейсмических волн, а среда восстанавливает равновесие в виде колебательного процесса. На рис.2 (аналоговая запись) представлены сейсмограммы ударов стального шара по поверхности силикатного клея, заполняющего банку.

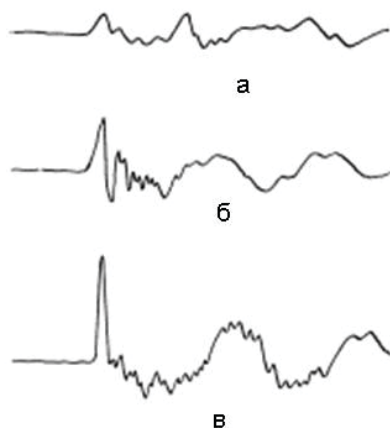


Рис.2. Сейсмограммы ударов стального шарика по поверхности силикатного клея.
 а – сразу после заполнения емкости;
 б – через 3 часа после заполнения;
 в – через сутки после заполнения

По мере затвердевания клея характер сейсмических сигналов заметно изменяется – начальная амплитуда растет, а кода приобретает повышенную частоту.

Таким образом, в результате одиночного удара материальная система приобретает импульс (количество движения), который распространяется со скоростью «упругой» волны от элемента массы к соседнему элементу, причем фронт волны действует на связи между элементами; сила воздействия определяется как производная по времени значения импульса в выбранном пункте. Восстановление равновесного состояния системы (не обязательно первоначального) происходит после перемещения импульса в удаленные зоны системы. Например, рис.1г иллюстрирует ситуацию, когда возбуждающий импульс не выходит за пределы тела (подвешенной гири), отчего импульс многократно отражается от границ и создает протяженный во времени пакет сотрясения.

Сейсмограммы взрывов и землетрясений

Сейсмические сигналы взрывов и землетрясений в основных чертах подобны сигналам от ударов, хотя процессы в источниках излучения значительно сложнее. Рис.3 иллюстрирует характер сотрясения жилого дома при промышленном взрыве 93 т аммонита на расстоянии 4700 м в п. Дукат [3]. Сейсмические сигналы, зарегистрированные на площадке 5-го этажа здания заметно отличаются от сигналов, зафиксированных на грунте перед строением.

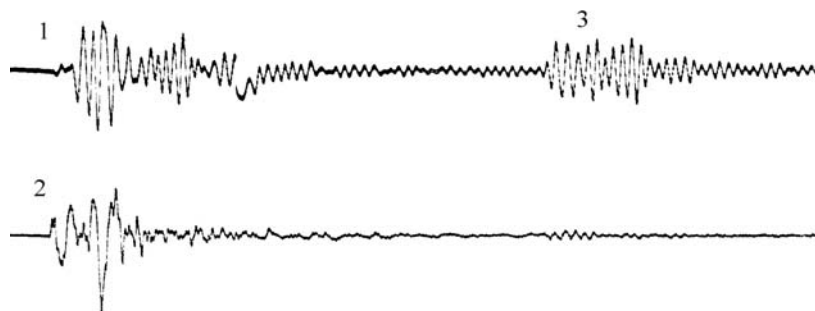


Рис.3. Сейсмограмма сотрясения жилого дома при промышленном взрыве на расстоянии 4700 м от него. 1 – сотрясение на площадке 5-го этажа; 2 – сотрясение грунта перед зданием; 3 – вступление воздушной волны

В первую очередь можно отметить интенсивную воздушную волну, отстающую от начала сотрясения из-за меньшей скорости распространения. На грунте эта волна мало заметна. Различается частотный состав первой группы колебаний.

Сейсмические сигналы от близких землетрясений во многих случаях можно легко спутать с сигналами от промышленных взрывов, это сравнительно короткие (до 1 минуты) сотрясения, в которых трудно выделять разные типы волн. На сейсмограммах сильных удаленных землетрясений можно отмечать вступления поперечных волн (вращательный импульс = момент количества движения) и поверхностные волны Релея и Лява [4]. Волны Релея, на наш взгляд, подобно морским волнам формируются при передаче импульса вблизи дневной поверхности – частицы твердой среды, приобретая импульс, не отдают его соседям, а движутся, насколько позволяют связи со средой. Микросейсмические бури, регистрируемые сейсмическими приборами, представляют собой чистые поверхностные волны [5]. Обратная дисперсия релейских волн может объясняться различием скоростей распространения импульса на глубинах и вблизи дневной поверхности. Волны Лява не представлены в жидкой среде из-за того, что момент количества движения (вращательный импульс) в жидкой среде ничтожно мал, в твердой среде поперечные составляющие могут оказаться существенными.

Заключение

Сейсмические сигналы, регистрируемые в разных ситуациях, позволяют поддержать высказанные ранее предположения о том, что сейсмические события сопровождаются переходом потенциальной энергии в кинетическую, что основой сейсмических событий является распространение механического импульса в сплошной среде. В источнике сейсмического излучения потенциальная энергия переходит в форму кинетической, масса приобретает механический импульс – количество движения и момент количества движения, импульс передается в окружающую среду по законам удара. Распространение импульса представляется пакетами сейсмических волн: поступательный импульс формирует продольную волну, вращательный импульс – поперечную. Вблизи дневной поверхности действие импульса вызывает перемещение масс в соответствии с законом сохранения, что фиксируется в виде поверхностных волн Релея и Лява.

Список литературы

1. Мишин С.В. О физике сейсмических процессов. LAP Lambert Academic Publishing. <http://www.lap-publishing.com>. – 2013. – 196 с.
2. Мишин С.В. Сейсмические процессы и сохранение импульса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. – 115 с.
3. Липцис Г.Я., Мишин С.В., Шищенко А.П. Регистрация сотрясений от промышленных взрывов // Колыма. – 1991. – №1. – С.17-20.
4. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны. – М.: Недра, 1972. – 96 с.
5. Рыкунов Л.Н. Микросейсмы. Экспериментальные характеристики естественных микровибраций грунта в диапазоне периодов 0.07-8 сек. – М.: Наука, 1975. – 85 с.