

К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В.И. Шабуневич
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Рассмотрены упрощённые конечно-элементные модели Земли разного масштаба. Приведены результаты линейного динамического анализа моделей с помощью комплекса PATRAN-NASTRAN.

Ключевые слова: конечные элементы, модели Земли, масштаб.

Прогноз землетрясений является актуальной проблемой. Нет ни одного сколько-нибудь серьёзного научного коллектива, работающего в области физики Земли, где бы не делались попытки подойти к решению этой проблемы [1]. Например, техногенные землетрясения, иначе называемые горными ударами, происходят под воздействием работающих механизмов – насосов, добычных и проходческих комбайнов, динамо-машин и других установок, работа которых сопровождается вибрацией. При ударном воздействии на грунт отклик на этот удар (сейсмосигнал) имеет вид совокупности гармонических затухающих процессов [2]. Это происходит потому, что по акустическим свойствам земная толща (горный массив) представляет собой совокупность колебательных систем. Каждая из этих колебательных систем, в общем случае, – это плоскопараллельная породная структура. При этом характеристики этих колебательных систем отражаются на параметрах сейсмосигнала. В частности, добротность каждой колебательной системы равна добротности соответствующей гармонической составляющей сейсмосигнала. И, следовательно, при проведении спектрально-сейсморазведочного профилирования [3] эти добротности геологических структур могут быть выявлены. В том случае, если в зонах тектонических нарушений (ЗТН) оказывается вибрирующий механизм, частота вибрации которого равна частоте высокочастотной составляющей сейсмосигнала, возникнет резонанс. При резонансе, как известно, начинается рост амплитуды колебаний, и при достаточной добротности, а также при достаточном весе вибратора амплитуда колебаний в земной толще может возрасти настолько, что будет превзойдён порог упругости пород. В результате произойдёт мгновенное разрушение поверхности, и механизм резко провалится в землю. Это, собственно, и есть горный удар.

Некоторые возникшие в последнее время обстоятельства позволили воспринимать горные удары как лабораторную модель природных землетрясений, т. е. предположить, что и природные землетрясения имеют резонансное происхождение.

Для того, чтобы это было так, необходимо иметь в Земле некий природный вибратор, частота которого может оказаться равной собственной частоте также находящейся в Земле природной высокочастотной колебательной системы. Что касается находящихся в Земле природных высокочастотных колебательных систем, то, как мы сейчас понимаем, чем больше разлом, тем выше добротность находящихся там структур. Признаки наличия природного вибратора, в принципе, известны давно. В [1 – 3] уже много раз были сообщения о том, что, просматривая сейсмограммы, полученные перед землетрясениями, можно увидеть низкочастотную пульсацию с большой амплитудой. Природа этого явления неизвестна.

Приблизиться к пониманию подхода к природному вибратору помогло открытие Сашурина А.Д. [4], который несколько лет назад средствами космической геодезии обнаружил, что в ЗТН проявляется планетарная пульсация. Амплитуда этой пульсации может достигать 10 см. Частоту этой пульсации с помощью методов космической геодезии увидеть нельзя, но в дальнейшем уже средствами спектральной сейсморазведки смогли увидеть, что частота эта весьма низкая – десятые и сотые доли герц. Дальнейшее изучение показало, что планетарная пульсация – процесс, изменяющийся во времени. Амплитуда её в одной и той же точке может изменяться в очень широких пределах, вплоть до полного исчезновения. Что касается частоты, то здесь есть неясности. Есть основания предполагать, что и частота не остаётся постоянной. Для исследования этих параметров планетарной пульсации сейчас подготавливается аппаратная база. Но если это так, то получается очень простой механизм развязывания землетрясений, который заключается в случайном совпадении частоты планетарной пульсации с собственной частотой находящейся в данной ЗТН высокочастотной колебательной системы. Таким образом, получается довольно точная аналогия условий возникновения техногенных и природных землетрясений.

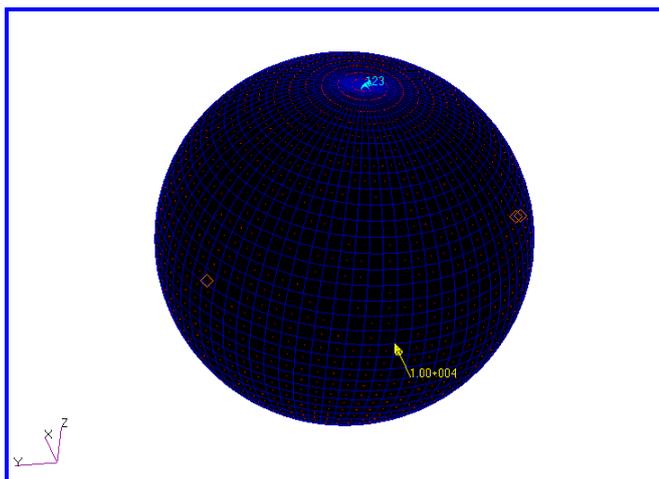


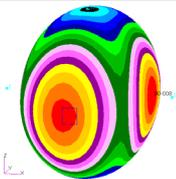
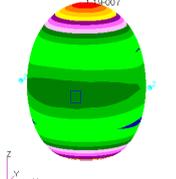
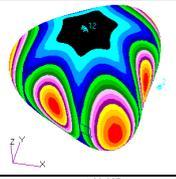
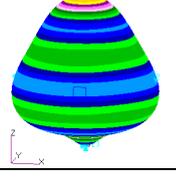
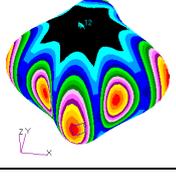
Рис. 1. Упрощённая КЭ модель планеты Земля

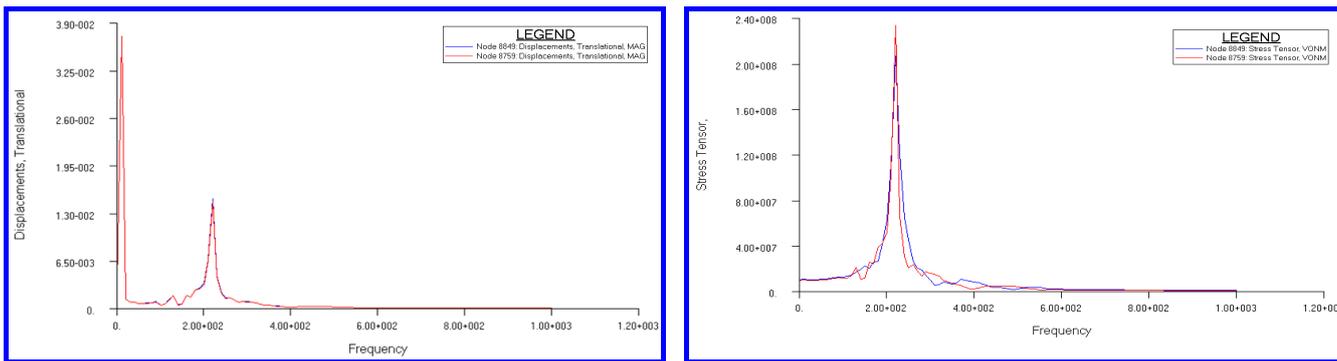
В данной работе приведены некоторые результаты линейного динамического анализа упрощённых конечно-элементных (КЭ) моделей Земли разного масштаба. Рассматриваемые модели представляли собой сферические

оболочки с радиусами 6,333 м, 6333 м и 6333 км и толщинами 0,21 м, 210 м и 210 км соответственно. Внутри каждой модели действует давление 650 000 Па. При проведении гармонического анализа в экваториальной плоскости модели прикладывались нормальные к её поверхности поперечные силы. Закрепление моделей осуществлялось в точках по полюсам и на экваторе. Вид КЭ модели представлен на рис. 1. Динамический анализ КЭ моделей проводился с помощью комплекса PATRAN-NASTRAN [5, 6].

В таблице показаны характерные первые собственные формы колебаний и их частоты для всех моделей. Явно видно проявление масштабного эффекта [7], заключающегося в пропорциональном уменьшении частот с увеличением масштаба моделей.

На рис. 2 – 4 приведены результаты линейного гармонического анализа КЭ моделей для двух узлов на противоположных по толщине поверхностях по центру местных наружных углублений оболочек при гармоническом нагружении точки на экваторе поперечными силами.

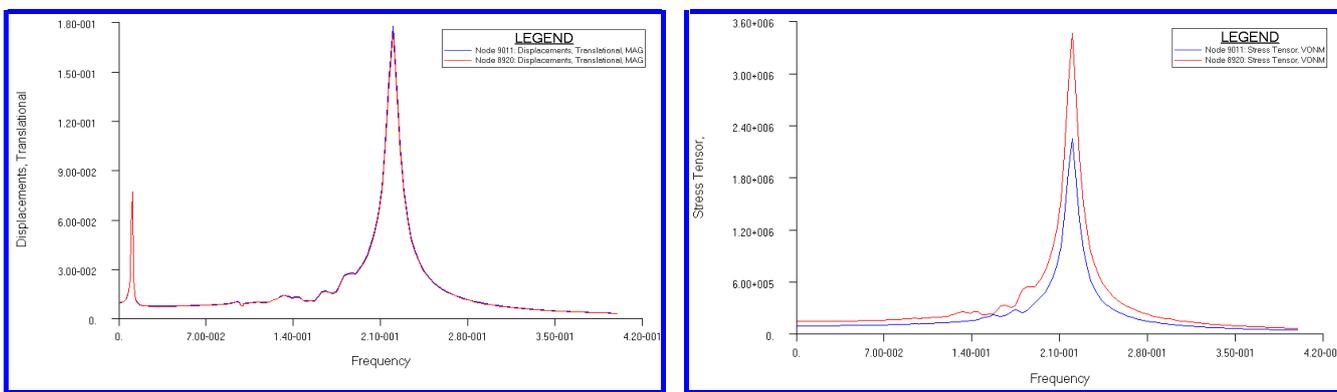
Форма колебаний	Частота колебаний, Гц		
	$R = 6,333 \text{ м}$	$R = 6333 \text{ м}$	$R = 6333 \text{ км}$
	95,727	0,095743	0,0000957
	96,924	0,096909	0,0000966
	113,57	0,11358	0,00011358
	114,65	0,11465	0,00011442
	121,48	0,12148	0,00012147



а

б

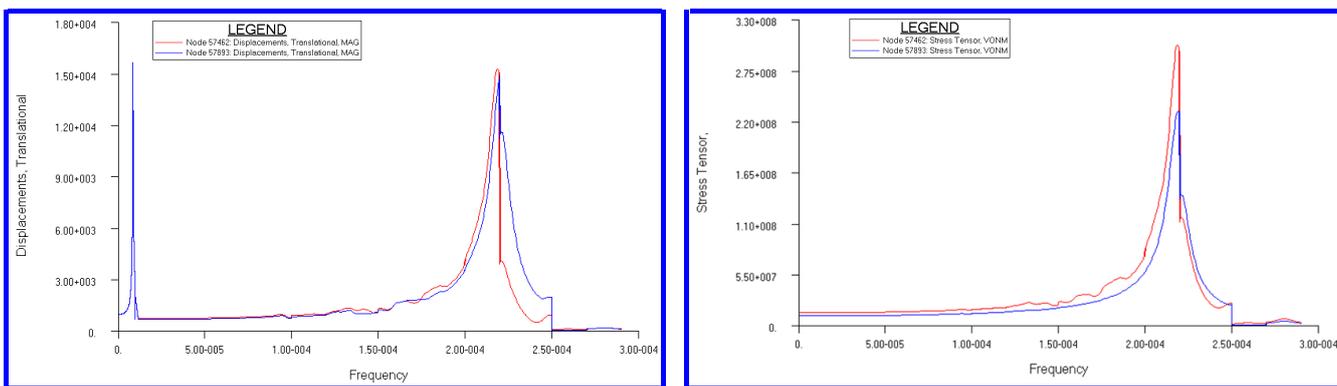
Рис. 2. Изменение по частоте расчётных магнитуд перемещений (а) и напряжений Мизеса (б) для малой модели ($R = 6,333$ м) при гармоническом нагружении



а

б

Рис. 3. Изменение по частоте расчётных магнитуд перемещений (а) и напряжений Мизеса (б) для средней модели ($R = 6333$ м) при гармоническом нагружении



а

б

Рис. 4. Изменение по частоте расчётных магнитуд перемещений и напряжений Мизеса для большой модели ($R = 6333$ км) при гармоническом нагружении силой 100 и 10 000 Н

Анализ последних графиков позволяет предположить следующую схему развития землетрясений. В любом месте земной коры прикладывается гармоническое или аналогичное по воздействию (например, ударное) нагружение. Сначала получается первый резонансный пик по деформациям. И да-

лее, в случае увеличения частоты, – более мощный резонансный пик совместно по деформациям и напряжениям, который и может приводить к разрушительным землетрясениям.

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Расчёты собственных частот и форм колебаний упрощённых КЭ моделей Земли разного масштаба показали обратно пропорциональное уменьшение частот для соответствующих форм собственных колебаний моделей при увеличении их радиуса в 1000 раз.

2. Гармонический анализ большой модели, отражающей размеры нашей планеты, позволил получить необъяснённые до настоящего времени величины резонансных частот колебаний поверхности Земли при землетрясениях. Этот анализ также показал, что амплитуды этих колебаний не зависят от величины приложенной к поверхности поперечной силы.

3. Представлена новая схема развития землетрясений, заключающаяся в том, что в любом месте земной коры прикладывается гармоническое или аналогичное по воздействию (например, ударное) нагружение. Сначала, согласно рассмотренным моделям, в любом опасном месте земной коры получается первый резонансный пик по деформациям. И далее, в случае увеличения частоты, – более мощный резонансный пик совместно по деформациям и напряжениям, который и может приводить к разрушительным землетрясениям.

Литература

1. Гликман А. Г. О применении метода ССП для прогнозирования геодинамических явлений [Электронный ресурс] / А. Г. Гликман. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.newgeophys.spb.ru/ru/doc1.shtml, свободный. – Загл. с экрана.
2. Гликман А. Г. О структуре поля упругих колебаний при сейсмоизмерениях [Электронный ресурс] / А. Г. Гликман. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.newgeophys.spb.ru/ru/article/geon2005/index.shtml, свободный. – Загл. с экрана.
3. Гликман А. Г. Спектральная сейсморазведка – истоки и следствия [Электронный ресурс] / А. Г. Гликман. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.newgeophys.spb.ru/ru/book2/index.shtml. – Загл. с экрана.
4. Field investigation of dynamic displacement in zone of tectonic breaking / A. D. Sashourin, A. A. Panzhin, N. K. Kostrukova [et al.] // Rock mechanics – a challenge for society: Proceedings of the ISRM regional symposium EUROK 2001. Espoo, Finland 3 – 7 June 2001/ Balkema 2001. – P. 157 – 162.
5. MSC. Nastran 2005 Quick Reference Guide // MSC. Software Corporation. 2004. – 2159 с.
6. MSC. Patran 2005 Quick Reference Guide // MSC. Software Corporation. 2004. – 1560 с.
7. Шабуневич В. И. О масштабном эффекте исследуемых объектов / В. И. Шабуневич. – Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2010. – Т. 116. – № 3. – С. 13 – 16.

Поступила в редакцию 27.12.2011

Виктор Иванович Шабуневич, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник,
т. (495) 366-27-55, e-mail: Viktor-Shab@yandex.ru.