

О МАСШТАБНОМ ЭФФЕКТЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

В.И. Шабуневич
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Рассмотрено конечно-элементное моделирование разных по величине идентичных по геометрии образцов некоторых объектов. Сделано сравнение результатов статического, модального и гармонического расчетов этих образцов с помощью комплекса PATRAN-NASTRAN. Сформулировано новое объяснение масштабного эффекта исследуемых объектов.

Ключевые слова: конечные элементы, образцы с центральными отверстиями и трещинами, образцы швеллера.

Согласно статистической теории прочности [1] хрупкое разрушение зависит от местного напряжения в точке, где встречается наиболее опасный дефект структуры. В теле имеется весьма большое количество дефектов различной степени опасности, которые подчиняются некоторому статистическому распределению. Чем крупнее тело, тем больше вероятность обнаружить первичный элемент низкой прочности и тем ниже прочность тела в целом (масштабный эффект).

С другой стороны, «если из одного и того же материала изготовить несколько отличающихся по диаметру партий образцов, то после испытания на усталость обнаруживается, что предел выносливости с увеличением диаметра уменьшается... Снижение предела выносливости с увеличением размеров детали получило название масштабного эффекта... Вопрос состоит в том, как учесть этот эффект количественно. Понятно, что единственная возможность сделать это заключается в накоплении, систематизации и осмысливании экспериментальных данных, ибо получить какие-либо обнадеживающие результаты из теоретического анализа явлений, протекающих в поликристаллической структуре металла, мы не можем» [2].

В начале данной работы рассмотрим модельное нагружение идентичных образцов с цилиндриче-

скими отверстиями, отличающихся своими линейными размерами в десять раз (рис. 1). Расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) конечно-элементных (КЭ) моделей образцов проводились с помощью комплекса PATRAN-NASTRAN [3, 4].

Модальный анализ этих моделей выявил отличие величины их собственных частот одинаковых форм колебаний также в десять раз (рис. 2, 3).

На рис. 4 показано практически одинаковое НДС моделей образцов при их идентичном статическом нагружении.

Важной проблемой является проблема накопления повреждений в конструкциях при случайных перегрузках [1, 5]. На рис. 5 приведены результаты гармонического анализа обеих моделей образцов. Видим, что в одинаковом частотном диапазоне резонансных пиков напряжений Мизеса в большом образце значительно больше, чем в малом. И величина резонансных напряжений в большом образце также существенно выше. Следовательно, и повреждаемость большого образца значительно выше.

Аналогичное сравнение параметров НДС большого и малого объектов было сделано также для моделей швеллера с двумя отверстиями (рис. 6) и для моделей образца с центральной трещиной при растяжении (рис. 7).

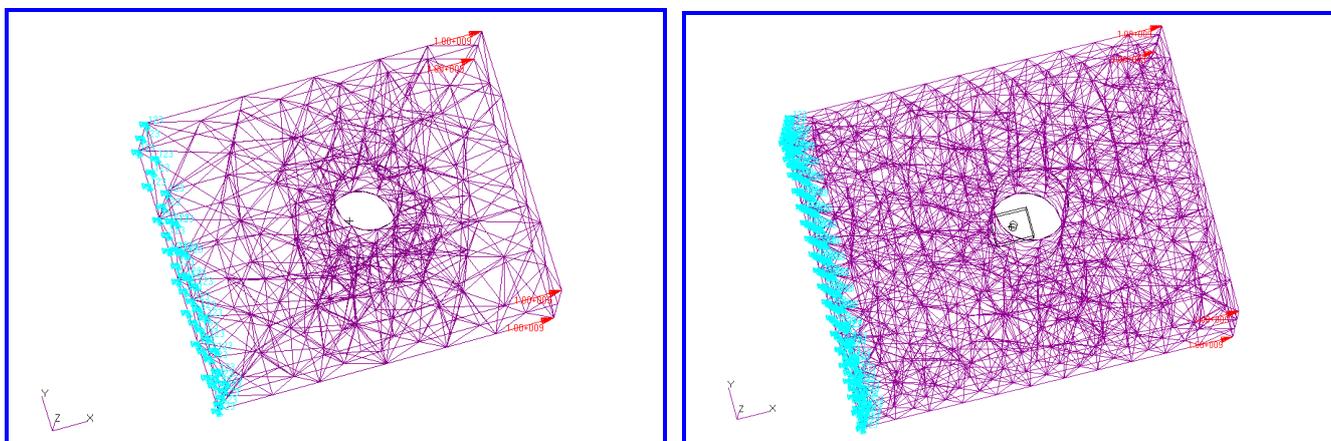


Рис. 1. КЭ модели образцов с цилиндрическими отверстиями

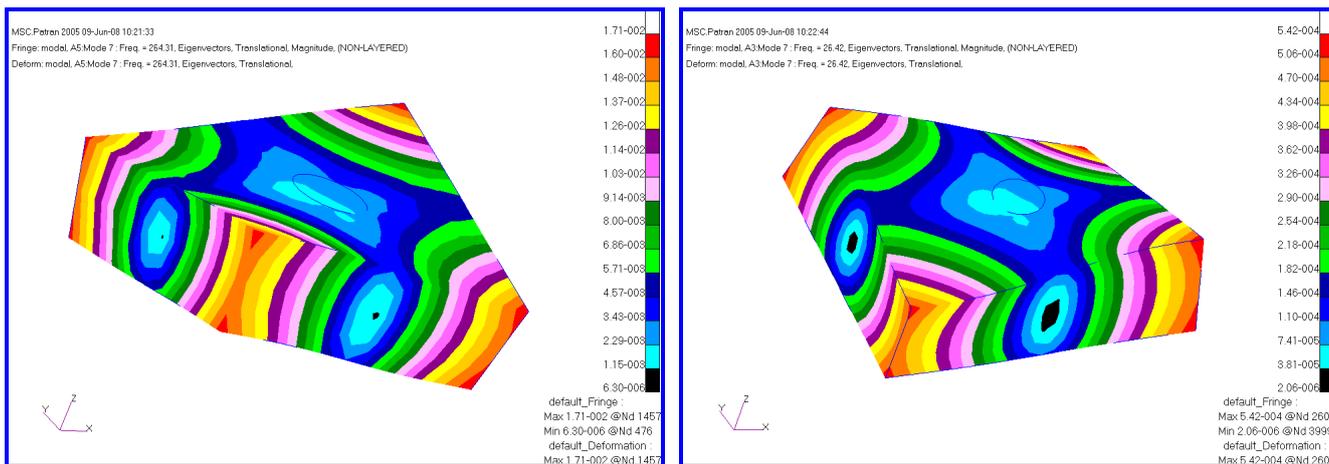


Рис. 2. Первые крутильные частоты моделей: *a* – малый образец (264 Гц); *б* – большой образец (26,4 Гц)

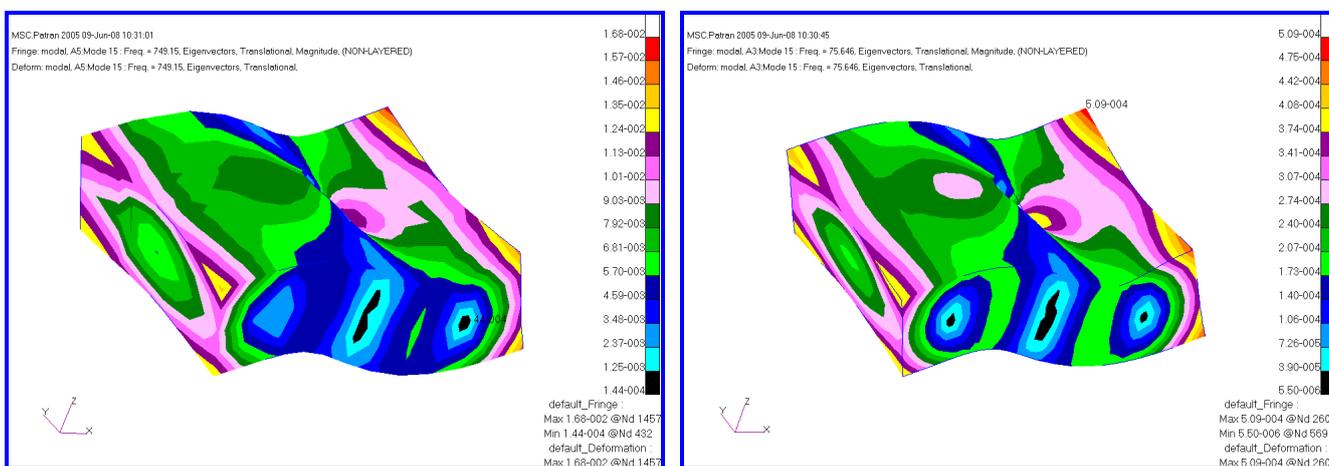


Рис. 3. Изгибные частоты моделей: *a* – малый образец (749 Гц); *б* – большой образец (75,6 Гц)

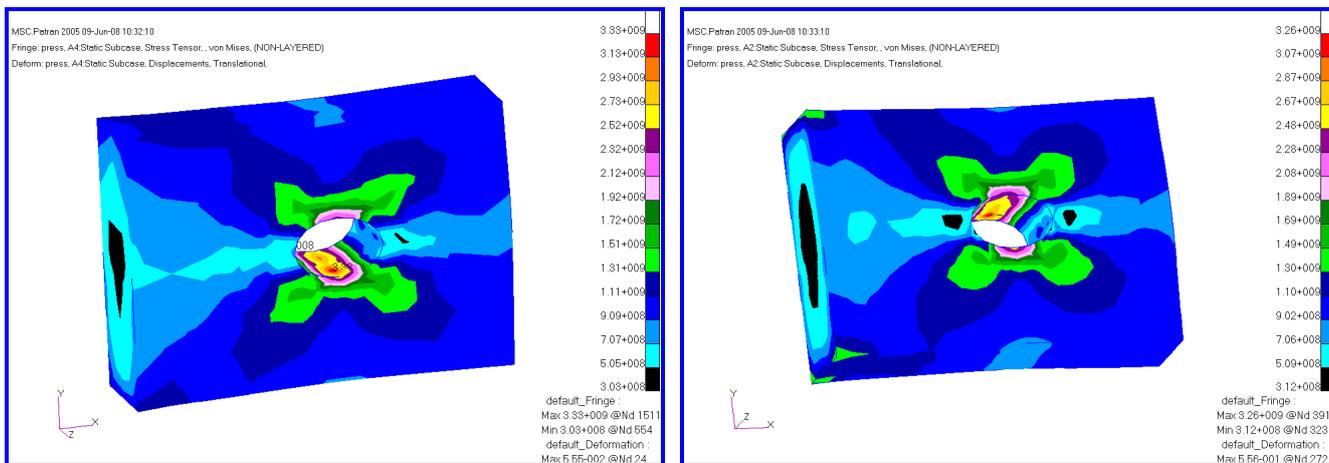


Рис. 4. Напряжение Мизеса в образцах при их растяжении: *a* – малый образец; *б* – большой образец

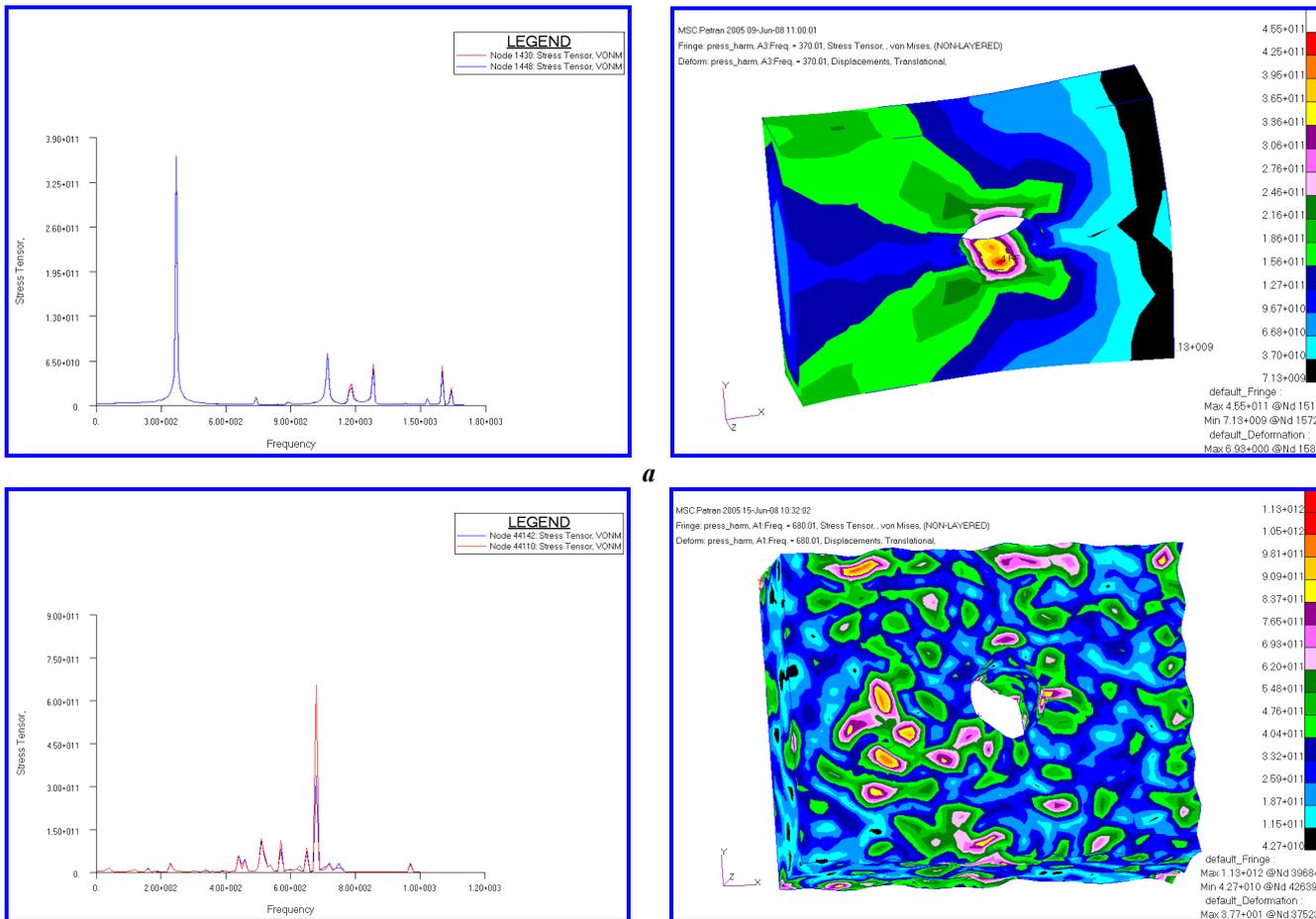


Рис. 5. Расчетные магнитуды напряжений Мизеса для узлов на краях отверстий в нетто-сечениях образцов при их гармоническом нагружении по X и картины НДС образцов на частотах с максимумами магнитуд: а – малый образец; б – большой образец

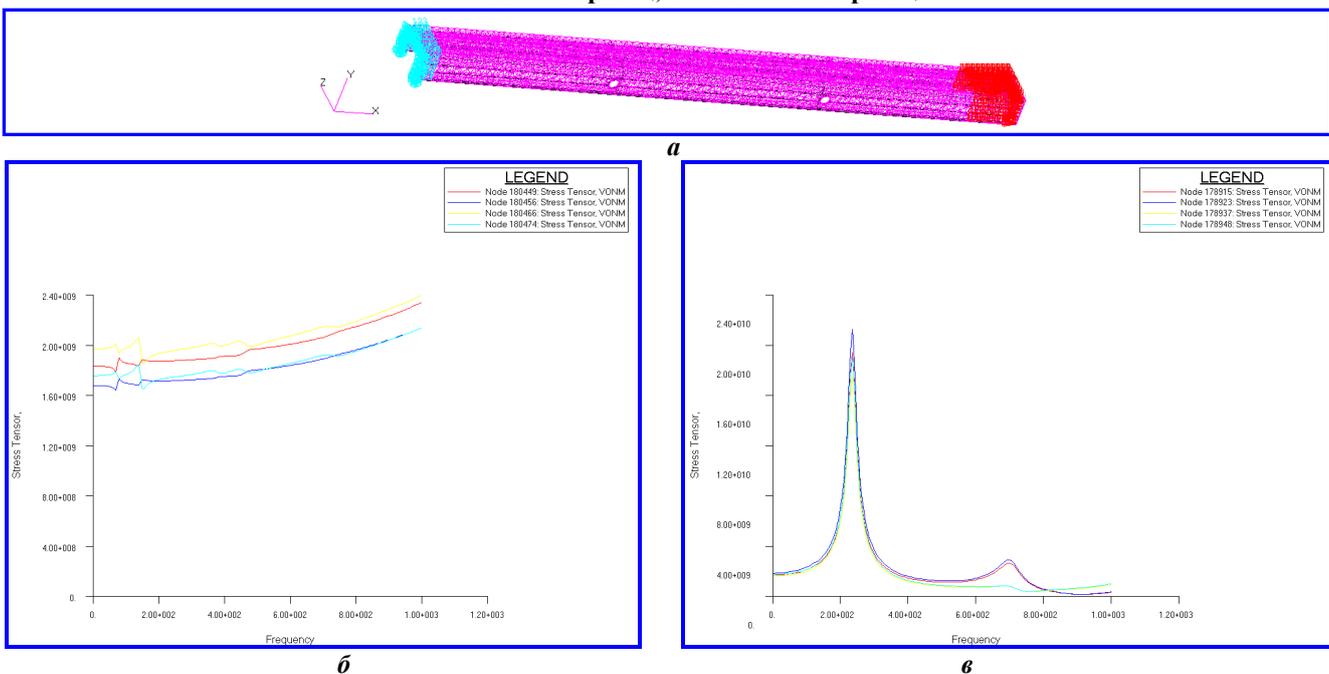


Рис. 6. Вид КЭ моделей швеллера (а) и расчетные магнитуды напряжений Мизеса для узлов на краях отверстий в нетто-сечениях малого (б) и большого (в) образцов при их гармоническом нагружении по X

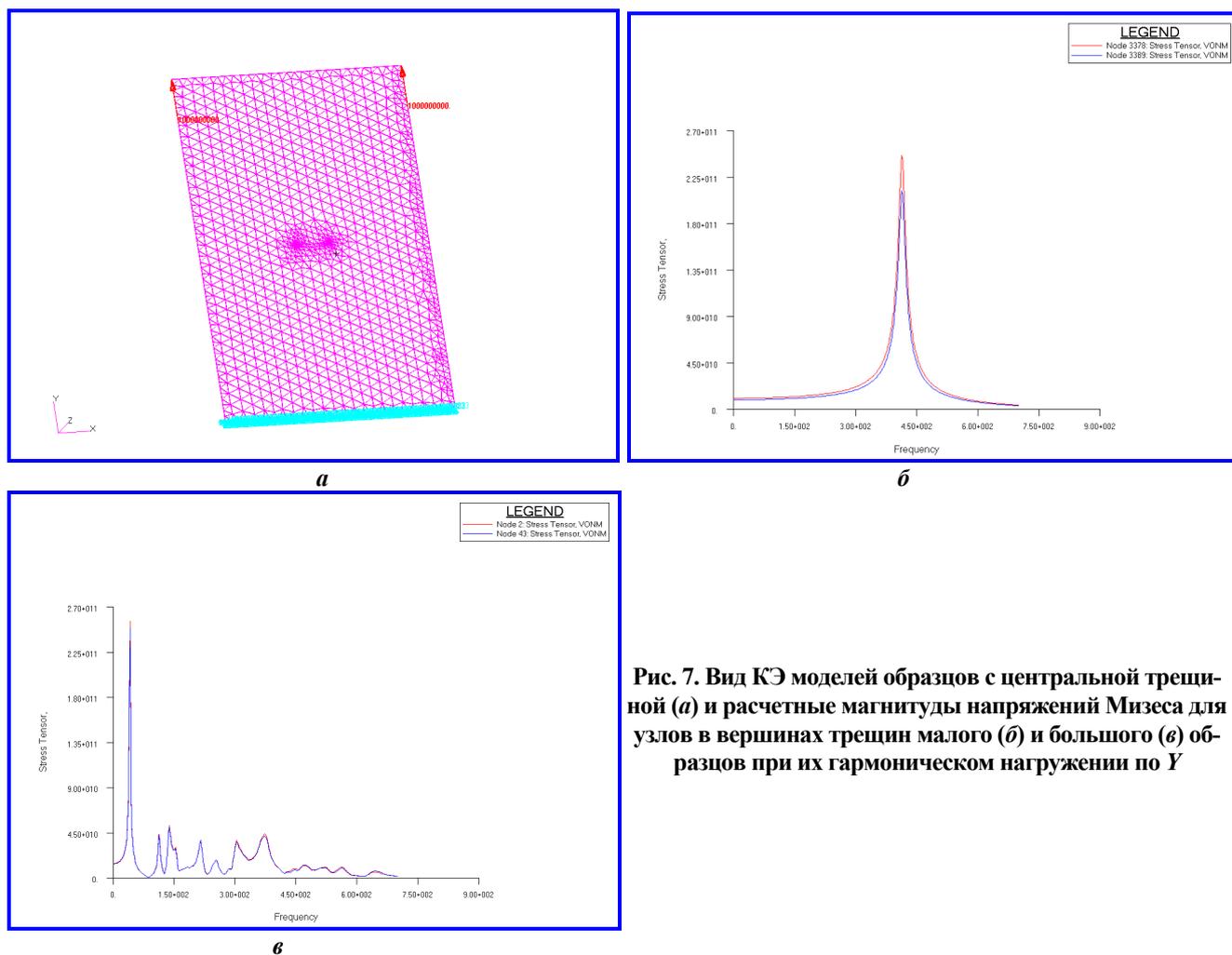


Рис. 7. Вид КЭ моделей образцов с центральной трещиной (а) и расчетные магнитуды напряжений Мизеса для узлов в вершинах трещин малого (б) и большого (в) образцов при их гармоническом нагружении по Y

В результате проведенной работы можно сделать вывод, что большая повреждаемость больших объектов по сравнению с идентичными малыми объектами (масштабный эффект) может быть объяснена наряду с существующими теориями также тем, что:

- 1) в одинаковых рассматриваемых диапазонах частот в больших объектах имеется значительно большее количество собственных частот, чем в малых объектах;
- 2) сопоставимые формы собственных частот больших и малых объектов в больших объектах имеют значительно меньшую частоту (пропорциональную масштабу увеличения объектов);
- 3) магнитуды и количество резонансных пиков параметров НДС в идентичных зонах объектов в больших объектах значительно выше.

Поступила в редакцию 23.06.2010

Виктор Иванович Шабуневич, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник, т. 366-33-66, e-mail: vniiem@vniiem.ru.

Литература

1. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике / В.В. Болотин. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. – 202 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – Изд-е 9-е, перераб. – М.: Наука: Главная редакция Физико-математической литературы, 1986. – 512 с.
3. MSC. Nastran 2005 Quick Reference Guide // MSC. Software Corporation. – 2004. – 2159 p.
4. MSC. Patran 2005 Quick Reference Guide // MSC. Software Corporation. – 2004. – 1560 p.
5. Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения / Дж.Ф. Нотт; пер. с английского Д.В. Лаптева; под ред. В.Г. Кудряшова. – М.: Металлургия, 1978. – 256 с.