

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОМОЩИ ВОЛНОВЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Щемелев В.И.

Самарский университет, г. Самара, shchemelev.vi@ssau.ru

*Ключевые слова:* метод конечных элементов, оболочечный волновой конечный элемент, модальный анализ.

Ранее был разработан волновой оболочечный конечный элемент, который позволяет добиться повышения эффективности расчётов динамики деталей и узлов ГТД [1].

Для оценки точности и экономичности (вычислительной эффективности) оболочечных волновых конечно-элементных моделей, с помощью программы рассчитывались собственные частоты и формы колебаний типовых конструкций. Среди типовых конструкций выделим полый цилиндр, диск с отверстием и полый усечённый конус с углом наклона конуса равным 45°. Результаты расчётов оболочечных волновых конечно-элементных моделей сравнивались с частотами, полученными с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS. Полученное расхождение определялось по формуле (1)

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{p_{об} - p_{ANS}}{p_{ANS}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $p_{об}$  – собственная частота модели, полученная с помощью программы с использованием оболочечных волновых конечных элементов;  $p_{ANS}$  – частота, полученная с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS.  $\Delta p$  – расхождение между значениями  $p_{об}$  и  $p_{ANS}$ ;  $p$  – значение собственной частоты типовой конструкции.

Для того чтобы охватить большой спектр типовых конструкций, не привязываясь к абсолютным геометрическим параметрам, будем давать оценку точности по относительным геометрическим параметрам. В качестве относительных геометрических параметров будем рассматривать отношение длины к радиусу  $l/r$ , и отношение толщины к радиусу  $h/r$ . Значения исследованных относительных параметров представлены в табл. 1. При этом для построения абсолютной геометрии конструкции необходимо задаться радиусом. Были проведены исследования при размерах радиуса, равными  $r = 0,01$  м,  $r = 0,1$  м,  $r = 0,5$  м,  $r = 1$  м. Однако по результатам исследования расхождения, подсчитанные по формуле (1), имеют одинаковые значения при разных размерах радиуса. Поэтому в дальнейшем все результаты исследования приведены при  $r = 0,1$  м. Геометрические параметры типовых конструкций представлены на рис. 1.

Таблица 1 – Относительные параметры

$l/r$	0,5	1	2	5	10	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$h/r$	0,005	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6

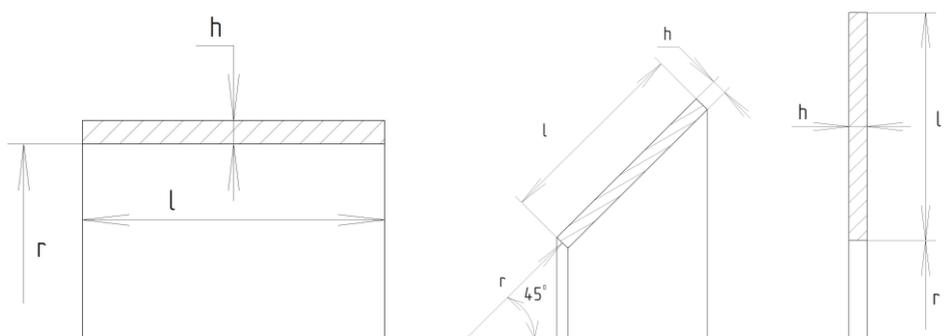


Рисунок 2 – Геометрические параметры типовых конструкций:  
слева – полый цилиндр; в середине – усечённый полый конус; справа – диск с отверстием

При построении конечно-элементных моделей с помощью программы на основе оболочечного волнового конечного элемента типовая конструкция разбивалась на 100 элементов вдоль образующей.

При построении моделей с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS используются гармонические четырёхузловые плоские конечные элементы типа PLANE25, основанные на соотношениях объёмной теории упругости.

В расчётах граничные условия соответствуют свободному телу. Были произведены исследования для шести форм колебаний. На графиках (рис. 2) представлено расхождение между результатами расчёта разработанной программы и результатами расчёта, полученными с помощью ANSYS для формы колебаний с 2-мя узловыми диаметрами.

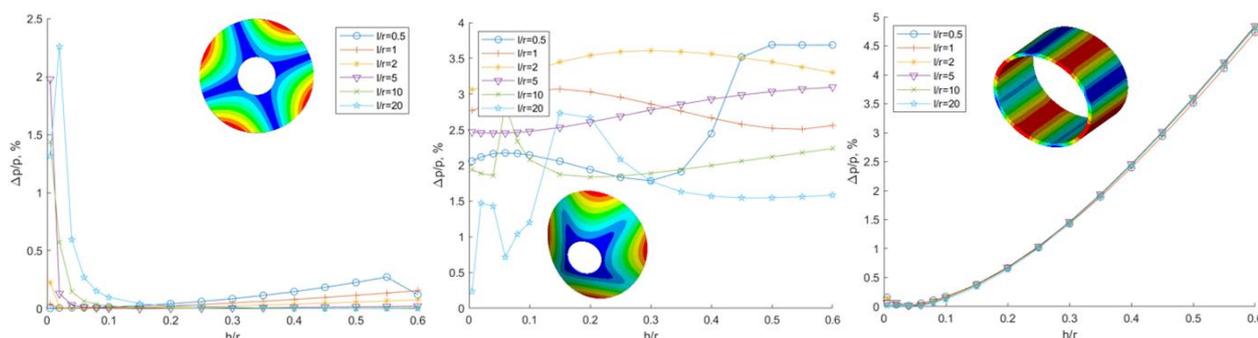


Рисунок 2 – Расхождение значений собственных частот диска, конуса и цилиндра для формы колебаний с 2-мя узловыми диаметрами

По результатам исследований для шести форм колебаний для всех исследованных типовых конструкций в диапазоне рассмотренных относительных параметров, расхождение значений собственных частот не превышает 5 %. Исследование вычислительной эффективности показало, что в среднем расчёт более, чем в 6 раз быстрее, чем аналогичный расчёт с помощью ANSYS.

### Список литературы

1. Shchemelev V., Ermakov A. Development of the wave shell finite element for calculating dynamic characteristics of gas turbine engine parts / 2020 International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines, DVM 2020. 2020. Vol. 1. PP. 15-21.

### Сведения об авторе

Щемелев В.И., инженер. Область научных интересов: динамика и прочность рабочих колёс ГТД.

## RESEARCH OF THE ACCURACY AND EFFICIENCY OF TYPICAL STRUCTURES USING WAVE SHELL FINITE ELEMENT MODELS

Shchemelev V.I.

Samara University, Samara, Russia, shchemelev.vi@ssau.ru

*Keywords: finite element method, shell wave finite element, modal analysis.*

Research of the accuracy and efficiency (computational efficiency) of shell wave finite element models was made. According to the results of studies for six modes for all considered typical structures in the range of considered relative parameters, the discrepancy between the values of natural frequencies does not exceed 5%. A computational efficiency study showed that, on average, a calculation is more than 6 times faster than a similar calculation using ANSYS.