

УДК 534.01

*Н.А. ШЕВЕЛЕВ, И.В. ДОМБРОВСКИЙ*  
*Пермский государственный технический университет*

### **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С ДЕФЕКТАМИ ФОРМЫ**

Производится анализ колебаний элементов лопаток турбомашин с повреждениями. Моделирование объектов проводилось на основании трехмерного метода конечных элементов с использованием специальных конечных элементов вокруг вершины повреждения. Также проанализировано влияние различной глубины и места расположения повреждения на собственные частоты, формы колебаний и распределение вибрационных напряжений системы.

Наиболее нагруженным и ответственным элементом турбоагрегатов являются лопатки, для которых основную опасность представляют вибрационные нагрузки. При отработке прочности двигателя конструктор стремится снизить до минимума вибрационные напряжения. Как правило, вибрационные напряжения служат проявлением резонансных колебаний, и уменьшение их достигается отстройкой. Эффект отстройки проявляется как в снижении уровня максимальных напряжений, так и в значительном уменьшении вероятности их появления. Колебания лопаточного аппарата с повреждениями и распределение напряжений в них мало исследованы, поэтому данная проблема является актуальной.

Аналитические методы не позволяют получить прочностные и вибрационные характеристики лопаточных венцов с приемлемой для инженерных расчетов точностью [1]. Это связано со сложностью их геометрической формы, действием неравномерного температурного поля, центробежных, газовых сил и других нагрузок, анализ таких систем возможен с использованием двух- и трехмерных расчетных схем на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Среди множества методов оценки технического состояния механических конструкций распространение получили методы вибродиагностики, основанные на измерении и анализе вибрационных параметров. Для использования методов вибродиагностики необходима информация о характере изменения динамических характеристик конструкции в зависимости от вида и места расположения дефекта.

Получение такой информации для лопаточных машин требует обширных и дорогостоящих экспериментальных исследований, которые можно существенно сократить, используя методы математического моделирования.

Данная работа заключается в создании эффективного алгоритма для анализа динамики основных деталей турбомашин и проведении численного эксперимента.

Для лопаток сложной геометрической формы наиболее полной моделью является трехмерная модель, в которой также могут быть учтены неоднородность свойств материала, наличие повреждений и другие факторы [2]. Трехмерный подход в сочетании с методом конечных элементов (МКЭ) позволяет получить полную картину распределения напряжений и изменения динамических характеристик конструкции в зависимости от вида

и места расположения дефекта. Представляет интерес разработка конечно-элементных моделей и методик расчета, охватывающих широкий круг конструкций лопаточных венцов турбомашин с учетом влияния эксплуатационных, конструкционных и жесткостных факторов, взаимосвязи колебаний диска, лопаток, межлопаточных связей.

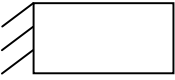
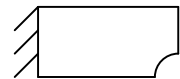


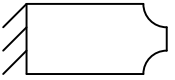
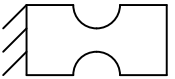
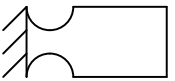
Для построения конечно-элементных моделей конструкции с повреждениями, включая трещину, существуют различные подходы.

– Значительное сгущение сетки элементов в вершине трещины. Это очень усложняет моделирование сингулярного характера напряжений.

– Специальные элементы, содержащие трещину [3]. Они требуют предварительного знания коэффициентов интенсивности напряжений (КИН), которые обычно заранее неизвестны.

– Специальные элементы, которые моделируют сингулярность напряжений и деформаций в вершине трещины (сингулярные элементы). Эти элементы должны отображать особенности НДС в окрестности вершины трещины.

Место расположения дефекта и его размер

Расположение дефекта	P1	P2	P3	P4
	95,906	588,35	601,19	1694,3
	95,889	581,66	607,27	1667,70
	93,789	565,05	586,68	1635,50
	90,850	547,81	580,80	1417,80
	98,004	603,75	607,88	1698,80
	92,862	560,01	570,34	1533,60
	83,542	523,27	553,10	1104,60

В качестве иллюстрации приведем результаты тестовой задачи по обработке динамических характеристик, полученных для пластины с дефектами [4]. Решение выполнено в пакете ANSYS, тип конечного элемента PLANE 42.

Из таблицы видно место расположения дефекта и его размер.

Проведены исследования для образца (единичной лопатки) с повреждениями различной глубины и местоположения. В качестве объекта исследования была взята лопатка второй ступени второго каскада ГТД, изображённая на рис. 1. Перо лопатки было разделено на 5 зон по высоте. На рис. 2 приведен график изменения первой собственной частоты лопатки в зависимости от зоны расположения дефекта.

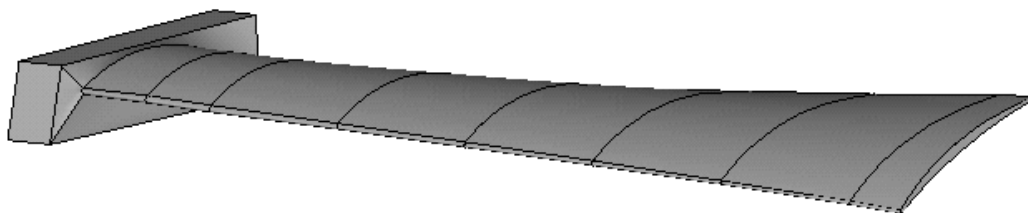


Рис. 1. Лопатка ГТД

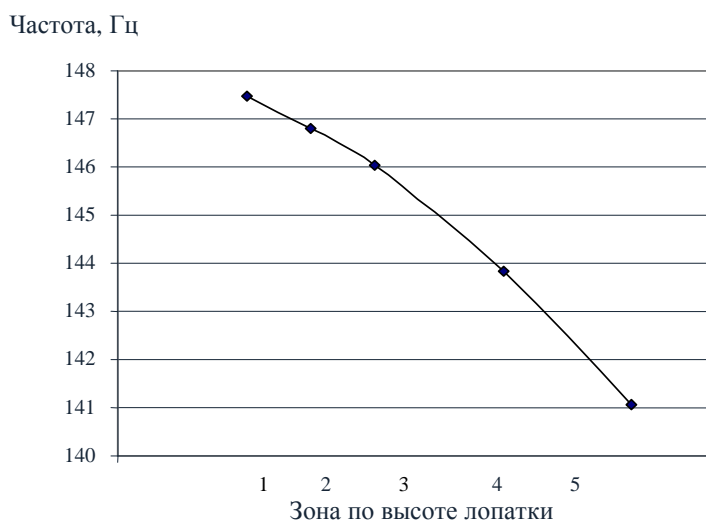


Рис. 2. Изменение первой собственной частоты лопатки

Из этих исследований можно сделать следующие общие выводы. Анализ частотного спектра позволил выявить определенные закономерности:

- 1) при наличии повреждений частоты всегда понижаются;
- 2) на низшие частоты наибольшее влияние оказывают повреждения, находящиеся вблизи корня лопатки, а на высшие – на середине и на периферии пера лопатки.

В каждом объекте при появлении повреждения происходит существенное изменение полей напряжений и существенная локализация напряжений в зоне повреждения.

Требуют дальнейшего изучения вибрационные спектры лопаток сложной геометрической формы с полками и хвостовиками, лопаток, имеющих большие углы закрутки, произвольные размеры, разнообразные граничные условия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабаков И. М. Теория колебаний. – М.: Машиностроение, 1968.
2. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. – М.: Машиностроение, 1984.
3. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера. – М.: Мир, 2003.
4. Бублик Б.Н. Численное решение динамических задач теории пластин и оболочек. – М.: Машиностроение, 1976.

Получено 01.05.2009