

УДК 539.3:621

Ю.С. ВОРОБЬЕВ, Е.В. ТИШКОВЕЦ, М.А. СТОРОЖЕНКО, В.Н. РОМАНЕНКО*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина*

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВИБРАЦИОННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛОПАТКАХ ГТД С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ

Рассматривается локализация вибрационных напряжений с повреждениями типа трещина. Численный анализ основывается на трехмерных конечноэлементных моделях лопатки. Исследуется влияние размеров и места расположения трещин на поля интенсивности вибрационных напряжений.

колебания, вибрационные напряжения, локализация напряжений, лопатки ГТД, повреждения, трещины, трехмерные модели, конечные элементы

Введение

На вибрационную прочность лопаточного аппарата современных ГТД наибольшее влияние оказывает локализация напряжений в ограниченных зонах лопаток. Эта локализация вызывается конструктивными, технологическими и эксплуатационными факторами. Сложная конструктивная форма и особенности технологической обработки лопаток являются причиной возникновения зон повышенных напряжений при их колебаниях. В процессе эксплуатации могут возникать повреждения, которые также приводят к локализации вибрационных напряжений [1 – 6]. Часто зоны локализации напряжений, вызванной различными причинами, совпадают. Для анализа этих явлений целесообразно использовать трехмерные модели, позволяющие проследить за изменениями напряжений в весьма ограниченных зонах. Одним из средств такого анализа является МКЭ, использующий конечные элементы, позволяющие описать поля напряжений с особенностями сингулярного типа.

1. Постановка задачи

В предыдущих работах авторов [6 – 8] рассматривались задачи о локализации вибрационных напряжений в реальных лопатках газовых турбин за

счет их сложных конструктивных форм. Данная работа посвящена анализу изменения полей напряжений в лопатках при возникновении повреждений типа стационарных трещин. Для построения модели используется 20-узловой изопараметрический трехмерный элемент в криволинейной системе координат. Функции формы этого элемента позволяют описать изменения напряжений внутри элемента [6 – 8]. Кроме того, используются сгущения сетки в области сингулярных особенностей полей напряжений. Для оценки влияния повреждений проводится сопоставление полей напряжений в лопатках с повреждениями и без них. Особое внимание уделяется областям, где вследствие конструктивных особенностей лопаток наблюдается локализация напряжений, и вероятность возникновения трещин возрастает.

2. Результаты численного анализа

На основании упомянутой модели был проведен численный анализ влияния повреждений на особенности напряженно-деформированного состояния элементов лопаточного аппарата газовой турбины при колебаниях. В качестве объекта выбрана компрессорная лопатка. Расчетная схема включает перо и замок. Анализировалось влияние стационарной

трещины на входной кромке лопатки вблизи корня, в средней части пера и на периферии. Эти зоны могут представлять опасность с точки зрения вероятности появления трещин и наличия локализации напряжений вследствие конструктивных особенностей системы. В качестве примера приведено изменение полей перемещений (рис. 1) и напряжений (рис. 2) в

лопатке без повреждений и с трещиной в корне, в середине и на периферии пера (слева направо) при колебаниях по пятой форме. Эта форма (преимущественно вторая крутильная) выбрана в связи с тем, что одна из узловых линий проходит практически вдоль трещины. В этом случае формы перемещений и напряжений изменяются меньше [5].

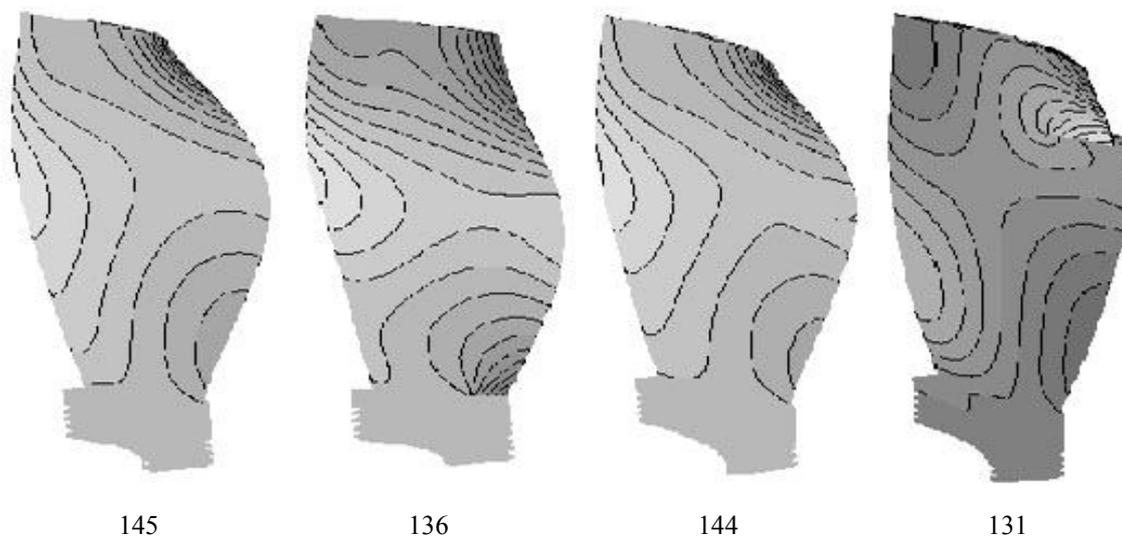


Рис. 1. Поля перемещений и частоты (в Гц) при колебаниях компрессорной лопатки без повреждений и с различным расположением трещины по высоте лопатки

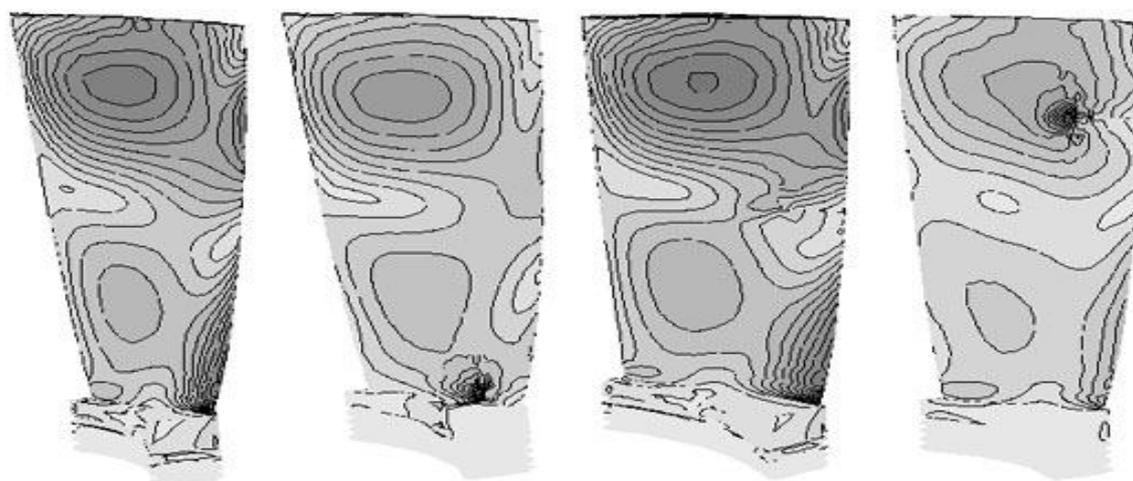


Рис. 2. Поля интенсивностей напряжений при колебаниях компрессорной лопатки без повреждений и с различным расположением трещины по высоте лопатки

Собственная частота практически не изменяется. В остальных случаях поля напряжений изменяются не только в зоне трещины, но и во всей лопатке. Результаты расчетов показывают существенное изме-

нение полей напряжений и появление локализации напряжений в зоне повреждения. Собственные частоты системы при этом изменяются мало. Наибольший уровень локализации напряжений, как и следо-

вало ожидать, наблюдается в зоне устья трещины. Изменение размеров трещины мало влияет на этот уровень. В ряде случаев можно предотвратить наложение зон локализации напряжений за счет конструктивных особенностей и повреждений. Так, например, изменения радиусов галтельных переходов в опасных зонах заметно снижает уровень локализации напряжений.

Заключение

Известно, что повреждения типа трещин малых размеров оказывают небольшое влияние на собственные частоты лопаток, так как частоты являются интегральными характеристиками. Значительно большее влияние повреждений проявляется при анализе изменения форм колебаний [5]. Наибольшие изменения за счет малых повреждений претерпевают поля вибрационных напряжений, где появляются ярко выраженные зоны их локализации. Кроме того, происходит заметное искажение всего поля напряжений, существенно зависящее от места расположения трещины. Результаты исследований показывают, что за счет небольших конструктивных изменений возможно заметно снизить уровень локализации напряжений в лопатках [6 – 8], и тем самым уменьшить вероятность появления трещин или ограничить уровень результирующей локализации вибрационных напряжений при появлении повреждений.

Литература

1. Механическое поведение материалов при различных типах нагружения / В.Т. Трощенко, А.А. Лебедев, В.А. Стрижало, Г.В.Степенев, В.В. Кривенюк. – К.: Логос, 2000. – 571 с.
2. Матвеев В.В., Бовсуновский А.П. К определению вибрационных характеристик стержня с закрывающейся трещиной при изгибных колебаниях // Проблемы прочности. – 2000. – № 3. – С. 5 – 23.

3. Krawczuk M., Ostachowicz W. Damage indicators for diagnostic of fatigue cracks in structures by vibration measurement – a survey // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. – 1996. – Vol. 34, N 2. – P. 307 – 326.

4. Vorobev Y.S., Kanilo S.P., Nikulina E.I., Ostachowicz W. Vibration stress localization in turbomachine blades due to their complex geometry and the effect of damage // Modelling and Design in Fluid-Flow Machinery. – Gdansk: Wyd. IMP PAN. – 1997. – P. 369 – 374.

5. Воробьев Ю.С., Романенко В.Н, Storozhenko M.A. Колебания модельной лопатки с повреждением типа трещины // Физические и компьютерные технологии: Тр. 8-й Межд. НТК (9 – 10 декабря 2003 г., Харьков). – Х.: НТУ “ХПИ”, 2003. – С. 293 – 296.

6. Воробьев Ю.С., Янецки С., Тишковец Е.В., Storozhenko M.A. Численный анализ колебаний лопаточного аппарата турбомашин с учетом эксплуатационных факторов // Удосконалювання турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання: Зб. наук. праць. – Х.: ИПМаш ім. А.М. Підгорного НАНУ. – 2003. – Т. 2. – С. 614 – 616.

7. Воробьев Ю.С., Потанин В.А., Касьянов В.А., Тишковец Е.В. Анализ вынужденных колебаний лопаточного аппарата турбины турбокомпрессора // Механіка та машинобудування. – 2003. – Т. 1, № 1. – С. 73 – 78.

8. Воробьев Ю.С., Тишковец Е.В., Потанин В.А., Касьянов В.А. Вибрации и статическая прочность лопаток турбокомпрессора // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2003. – № 40/5. – С. 76 – 78.

Поступила в редакцию 30.05.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Ф. Симбирский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.