

материала в области микродефектов и т.д. В то же время растягивающие остаточные напряжения в поверхностном слое детали при возникновении трещины резко снижают предел выносливости по образованию первой макротрещины и, соответственно, коэффициент интенсивности напряжений.

Таким образом, несмотря на наличие пластической области на вершине фронта трещины, нейтрализующей эффект действия остаточных напряжений, общее поле сжимающих остаточных напряжений, а также наличие в нем трещины, не превышающей толщину упрочненного поверхностного слоя, существенно повышают несущую способность детали, а поле растягивающих остаточных напряжений ускоряют развитие трещины.

Список литературы

1. Кольцун Ю.И. Определение предела выносливости материала по образованию трещины в условиях концентрации напряжений // Матер. МНТК «Высокие технологии в машиностроении». - Самара. СамГТУ. - 2002г. - С. 102-105.
2. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. - Куйбышев. - 1974. - С. 88-95.
3. Иванов С.И., Павлов В.Ф., и др. Технологические остаточные напряжения и сопротивление усталости авиационных резьбовых деталей. - М.: МАП. - 1992г. - 192с.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНЫХ СИСТЕМ

Леонтьев М.К.

Московский авиационный институт (технический государственный университет), г. Москва

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

Последнее время все большую значимость приобрели конечно-элементные системы общего назначения типа NASTRAN, ANSYS, позволяющие решать задачи прочности и динамики для деталей и узлов сложных форм, различного назначения, и в условиях разнообразного нагружения. Также появились тенденции использования такого рода программ для задач, изначально для которых они не были предназначены, и в частности, для задач динамики роторов и сложных роторных систем турбо-

машин. При этом исчезает ориентация на применение специализированных программных комплексов, которые и были предназначены для решения всего многообразия существующих задач динамики роторов.

Проводимая реклама, семинары, различного рода конференции по понятным причинам ориентирует пользователей на применение программ типа NASTRAN, ANSYS, не достаточно четко определяя решаемые ими задачи и трудности в их использовании. Такой подход, в ряде случаев, не подкрепленный соответствующей квалификацией пользователей в данной области, не дает положительных результатов с точки зрения общего процесса проектирования турбомашин.

В настоящих тезисах рассматриваются возможности существующих подходов для решения задач динамики роторов с помощью узкоспециализированных программ и программ общего назначения.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ DYNAMICS R3.1

Программа относится новому поколению программных средств решения задач роторной динамики турбомашин различного назначения. Назначение программы – предсказывать вибрационные характеристики и динамическое поведение роторных систем. Анализ может проводиться на всех этапах жизненного цикла машин – как на этапах проектирования, так и для решения задач, возникающих в процессе их эксплуатации. Мощный интерфейс, графический и текстовые редакторы, многочисленные математические и численные процедуры, выходящие за рамки стандартных представлений и решений, дают возможность исследователям проводить анализ роторных систем быстро и эффективно без компромиссов с точностью.

Общая архитектура программного комплекса DYNAMICS R3.1 может быть представлена в виде двух основных блоков – моделирования и анализа

Блок моделирования предназначен для подготовки расчетных моделей и включает в себя:

- блок команд, который вводит идентифицирующее имя проекта и/или роторной системы, его описание;
- блок команд для создания новой динамической роторной системы с помощью графического или текстового редактора или ее редактирования. Использует библиотеку типовых изотропных (осесимметричных) или ортотропных (анизотропных и не обладающих осевой симметрией) элементов;

блок для редактирования текстовых данных создаваемой модели, а также сортировки и вывода данных в виде соответствующих протоколов на экран или принтер;

- блок ввода нагрузок (значений и мест их приложения) для использования в анализе динамического поведения;
- блок определения точек и параметров вывода в анализе динамического поведения роторной системы;
- блок определения данных по материалам, которые используются для создания упруго-инерционной модели роторной системы;
- блок для ввода относительных скоростей различных подсистем роторной системы.

Блок анализа состоит из двух основных частей – блока для расчета частот и форм собственных колебаний и блока расчета динамического поведения роторной системы

Блок для анализа собственных частот колебаний включает:

- блок для расчета недемпфированных частот и форм колебаний невращающейся роторной системы для поперечных, крутильных и продольных колебаний.
- блок расчета и вывода демпфированных или недемпфированных частот и форм собственных колебаний, распределения кинетической и потенциальной энергии
- блок для расчета и вывода частотной диаграммы роторной системы для обратных и прямых прецессий.
- блок для расчета и вывода карты устойчивости роторной системы.
- блок расчета демпфированных или недемпфированных критических частот роторной системы.
- блок расчета карты критических частот вращения роторной системы.

Блок динамического поведения включает:

- блок расчета дисбалансного поведения роторной системы.
- блок расчета нестационарного поведения от нестационарных нагрузок – ускорения, замедления, обрыва лопатки, действия произвольной внешней силы.

СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММ

С целью исследования возможностей программы NASTRAN с ее помощью было проведено моделирование ротора турбомшины и решение некоторых задач динамики. Время подготовки расчетной модели имеющей около 90000 степеней свободы (даже при использовании предварительно подготовленной двухмерной модели ротора), к сожалению, было достаточно большим и достигло нескольких месяцев. Время расчета критических частот вращения достигало нескольких часов. Надо отметить, что задача решалась впервые и опыт пользователя в данной проблеме был явно недостаточным.

Можно говорить о том, что со временем сложность модели и время на ее подготовку может существенно сократиться, однако, останется достаточно большим. Время подготовки модели для вариантных исследований существенно ниже. Однако опыт показывает, что время расчета даже в несколько минут остается неприемлемым для проведения многочисленных расчетов, которые сопровождают процесс проектирования.

Количество неточностей и ошибок, вносимых пользователем на этапе подготовки расчетных моделей, бывает достаточно большим, и требует также достаточно большого количества времени для их исправления. При этом следует отметить, что часто требуется применение новых, в том числе достаточно простых моделей, для их нахождения.

На фоне смены поколений разработчиков турбомашин немаловажен вопрос и обучения, для которых конечно-элементные программы практически не приспособлены. С приобретением необходимой квалификации слепая вера в могущество таких программ оборачивается часто разочарованием.

Вопросы решения задач роторной динамики многовальных систем роторов, нестационарных и нелинейных задач динамики, возникающих при проектировании турбомашин, вообще не рассматриваются в настоящее время.

В то же время необходимо отметить важную роль МКЭ в определении жесткостных характеристик сложных с точки зрения конфигурации элементов, которые не попадают в чистом виде под определение стержневых или балочных, но которыми оперируют сегодня узкоспециализированные программы. Точность расчета отдельных частот и форм собственных колебаний может оказаться выше. Все вышесказанное резюмируется в таблице.

Наименование функции	Dynamics R3.1	NASTRAN
Возможность проведения вариантных расчетов (проверка и идентификация расчетной модели, исследование конструкции)	Незначительное время (в пределах нескольких минут) на подготовку варианта, мгновенные расчеты	Большое время и большая трудоемкость подготовки варианта, большое время расчета варианта
Возможность обучения проблемам роторной динамики	ДА	НЕТ
Точность расчетов без идентификации	Хорошая	Хорошая
Точность расчета после идентификации	Высокая	Высокая

Наименование функции	Dynamics R3.1	NASTRAN
Возможность расчета совместных колебаний роторов, дисков...	НЕТ	ДА
Наличие сопровождающей программы типа DYNAMICS R3.1 для оценки правильности и контроля результатов	Не требуется	Требуется в силу большой сложности расчетной модели
Требуемые данные для проведения идентификации расчетных моделей	Экспериментальные, данные и NASTRAN, ANSYS	Экспериментальные, данные программ типа Dynamics R3.1
Возможность проведения расчетов нелинейных роторных систем (гидродинамические демпферы, подшипники, уплотнения и т.д.)	ДА (Dynamics R3.1-2)	В настоящее время не существует
Требуемый уровень подготовки в роторной динамике	Высокий	Высокий
Время обучения работе с программой (при наличии знаний предметной области – роторной динамики)	Незначительно (1...2 дня)	Требуется высокой квалификации в методе конечных элементов и работе с MSC/Nastran

ВЫВОДЫ

1. Целесообразно применение программ типа DYNAMICS R3.1 и ей аналогичных на всех стадиях проектирования изделий. Такие программы позволяют в короткие сроки и с высокой точностью оценивать различные варианты конструкции роторов и роторных систем, в том числе многовальных.
2. Проведение расчетов с программ типа NASTRAN или ANSYS целесообразно для решения задач идентификации расчетных моделей роторов, и корпусов роторных систем, используемых в программе DYNAMICS R3.1, а также на завершающих этапах проектирования двигателя.
3. Для успешного решения задач роторной динамики КБ, занимающимся проектированием турбомашин, требуется использование обоих типов программ, дополняющих друг друга на различных этапах проектирования двигателей.