

## - Основные направления в работах по роторной динамике



Обозначим основные направления в работах по роторной динамике (на примере газотурбинных двигателей) с использованием DYNAMICS R4, вопросы по которым появляются наиболее часто, и дадим к ним некоторые комментарии.

1. Создание модели двигателя в среде программной системы DYNAMICS R4 с возможностью ее использования на основных этапах жизненного цикла – проектирования, доводки, эксплуатации, в том числе боевых условиях и больших перегрузках. Задача приблизить модель к реальной системе ГТД. Валидация модели с использованием МКЭ, данных экспериментальных исследований и испытаний.

- Наш опыт показывает, что для создания достаточно подробной модели двигателя требуется как минимум 5-6 месяцев. При этом во многом настройка модели зависит от конкретной задачи и может потребовать дополнительного времени с учетом квалификации инженеров.
- Важно отметить, что архитектура модели должна обладать свойствами, позволяющими легко вводить в нее любые изменения, а также удобно анализировать результаты. В программной системе DYNAMICS R4 этой проблеме уделено особое внимание. Модель строится из сборок, субмоделей, подсистем.
  - В динамической системе двигателя существует большое количество узлов с нелинейными характеристиками, которые могут существенно влиять на общую динамику двигателя (гидродинамические демпферы, подшипники качения, подшипники скольжения, фланцевые соединения и др.). Например, жесткость гидродинамических демпферов подшипниковых узлов может меняться в несколько раз в зависимости от режима работы. С учетом этого задачи надо решать также в нелинейной постановке, либо строить квазилинейные модели, учитывающие изменение параметров по режимам.

2. Исследование влияния технологических факторов, условий изготовления (отклонения формы), условий сборки (затяжки болтовых стыков, расцентровки и перекосы валов), температурных факторов на общее вибрационное состояние двигателя. Определение “слабых” элементов конструкции. Определение начальных неуравновешенностей роторов двигателя.

- Для успешного решения задач о дисбалансном поведении, а также задач балансировки требуется определение начальных и сборочных распределений дисбалансов (на основании чертежной документации, либо балансировочной), а также назначение мест и значений балансировочных грузиков. Последняя задача должна решаться на результатах расчета форм вынужденных колебаний роторов.

- Температуры влияют практически на все жесткостные и демпфирующие характеристики двигателя. Неучет этого фактора приводит к существенным погрешностям моделирования.
- Расцентровки и перекосы могут нагружать фланцевые соединения дополнительными динамическими силами.

3. Проведение комплексных расчетных исследований моделей двигателей на стенде от различных источников возбуждения. Выдача рекомендаций по оптимизации конструктивных элементов, совершенствование методики балансировки роторов, определение долговечности подшипниковых узлов с использованием различных методик.

- Корпуса двигателей являются весьма податливыми конструкциями, от которых зависит общая динамика двигателя. Подвеска двигателя делает их свойства анизотропными. Не учет этого фактора ведет к ошибкам в результатах.
- Свойства обвязки двигателя во многом зависят от динамических свойств корпуса двигателя. Полученные результаты могут использоваться в решении задач о кинематическом возбуждении трубопроводов и агрегатов, определения напряжений в них.
- Для машин наземного применения динамика конструкции во многом зависит от свойств подвески двигателя, подмоторной рамы и фундамента.

4. Задачи о вынужденных колебаниях в результате полигармонического, импульсного, кинематического возбуждения, синхронного и несинхронного возбуждения роторов, касания роторов о статор, касания валов, переходные процессы по режимам работы двигателя, а также при эволюциях самолета с большими перегрузками.

- Все эти процессы в значительной степени определяют напряженное состояние узлов и деталей, а также их долговечность. Задачи могут решаться только в нестационарной постановке.
- Исследование влияния кинематического (ударного возбуждения) возбуждения со стороны на поведение двигателя,

5. Исследование автоколебательных процессов от различных источников возбуждения - уплотнения, шлицы...

- Существуют случаи разрушения шлицевых втулок, передающих крутящий момент от динамических нагрузок, генерируемых силами трения в шлицах. Устранение источников их появления является во многом приоритетной задачей конструктора.

6. Исследование крутильных колебаний роторов двигателя и отстройка от частот возбуждения. Расчет и анализ вибрационных характеристик ЦКП и коробок приводов.

- В результате расчета определяются собственные частоты конструкции, нагрузки в подшипниках, динамические напряжения в зубчатых парах (с учетом погрешности зацепления) на старт-стоповых режимах.
- Учет жесткостных свойств корпусов коробок приводов.

7. Анализ динамических нагрузок в подшипниках роторов. Исследование влияния динамических нагрузок на их долговечность.

- Расчет долговечности подшипников по распределению напряжений в телах качения на различных эксплуатационных режимах.

8. Диагностика через моделирование - активно развиваемое направление

- Создание алгоритмов распознавания возможных неисправностей с использованием вибрационных сигналов на стенде и в условиях ограниченной информации с одного–двух вибрационных преобразователей, установленных на корпусе двигателя в эксплуатации