

УДК 629.7.76, 534.1.11

## **О расчёте собственных частот стабилизатора летательного аппарата на ранних этапах проектирования**

**Алексушин С.В.**

*Конструкторское бюро «Радуга» им. А.Я. Березняка,*

*ГосМКБ, ул. Жуковского, 2а, Дубна, Московская область, 141980, Россия*

*e-mail: [serg\\_al@inbox.ru](mailto:serg_al@inbox.ru)*

### **Аннотация**

Представлен подход к моделированию конструкции упруго закреплённой на летательном аппарате (ЛА) консоли стабилизатора с целью определения его собственных частот и форм колебаний до проведения частотных испытаний. Приведены результаты расчёта жесткости проводки управления стабилизатора ЛА. Предложен способ оценки собственных частот стабилизатора на ранних этапах проектирования с целью расчётов консольного флаттера.

**Ключевые слова:** стабилизатор, собственная частота, флаттер, колебания.

### **1. Постановка задачи**

При проектировании ЛА одной из важных задач является обеспечение безопасности от консольного флаттера оперения. При этом, как правило, первоочередными задачами при проектировании ЛА являются условия компоновки, определяющие размещение оперения и приводов, а также обеспечение прочности конструкции. Заключение по безопасности от флаттера даётся по результатам расчётов, которые проводятся после проведения частотных испытаний. Частотные испытания при этом служат для экспериментального получения параметров

математической модели. При отсутствии необходимых запасов по скорости флаттера необходима доработка конструкции стабилизатора или руля, что сказывается на сроках выхода на лётные испытания. Чтобы не допустить этого, необходимо иметь возможность ещё на ранних стадиях проектирования (до изготовления ЛА и проведения частотных испытаний) учитывать необходимость обеспечения безопасности от флаттера. Для этого необходимо, в частности, иметь возможность определять собственные частоты и формы колебаний стабилизатора при исследовании различных вариантов конструкции стабилизатора и его установки на ЛА. При этом часто можно считать консоль стабилизатора жёстким телом, определяемым его массово-инерционными характеристиками, упруго-закреплённым на ЛА.

## 2. Методика расчёта

Современные конечноэлементные программные комплексы имеют широкие возможности моделирования конструкции, которые могут использоваться при расчётах собственных частот и форм стабилизатора. При решении задачи определения собственных частот и форм жесткого стабилизатора требуется создать подробные конечноэлементные модели элементов конструкции ЛА (рамы, вала стабилизатора, подшипников, деталей проводки управления) и соединить их с помощью многоточечных связей. Многоточечные связи связывают узлы конечноэлементных моделей по выбранным степеням свободы и позволяют реализовывать как жёсткие, так и шарнирные соединения.

Возможно два варианта расчёта, дающие необходимую информацию для расчёта флаттера упруго-закреплённого жесткого стабилизатора:

- расчёт податливости конструкции закрепления стабилизатора. При этом к стабилизатору прикладывается силовой фактор(единичная сила или момент) и определяется перемещение или поворот узла, в котором приложено усилие.

- непосредственный расчёт собственных частот и форм колебаний модели, включающей элементы закрепления стабилизатора на ЛА и жёсткое тело, определяемое массово-инерционными характеристиками консоли стабилизатора.

Исходными данными для расчёта служит трёхмерная(CAD) модель в виде сборки, представляющей собой консоль стабилизатора, установленную на раме ЛА.

При этом, как правило, требуется работа по упрощению CAD моделей деталей, полученных от конструкторов.

По результатам работы с исходной информацией в виде CAD моделей отдельных деталей создаётся конечноэлементная (КЭ) модель сборки, представляющей собой установленный на ЛА жёсткий стабилизатор и позволяющей учесть в расчёте податливости каждой детали, вплоть до болтов и других элементов крепления.

В силу сложности получаемых КЭ моделей, содержащих множество отдельных элементов, соединённых в единую систему установки стабилизатора на ЛА, целесообразно при расчётах применять технологию суперэлементов, реализованную в коммерческих программных продуктах с помощью метода Крейга-Бэмптона. Для сокращения учитываемых тонов колебаний и контроля точности

получаемых результатов целесообразно использовать метод корректирующих рядов. Технология суперэлементов или подконструкций позволит на ранних стадиях проектирования достаточно быстро рассматривать варианты конструкции стабилизатора и его установки на раме ЛА, проводить расчёты собственных частот и форм и оценивать запасы флаттера. При необходимости возможно внести коррективы в конструкцию стабилизатора или его крепления, с тем, чтобы увеличить запасы консольного флаттера.

### 3. Результаты расчёта

Для оценки собственной частоты кручения стабилизатора проведён расчёт податливости проводки управления стабилизатором и расчёт собственной частоты колебаний, определяемой массово-инерционными свойствами консоли стабилизатора как твёрдого тела и жесткостью проводки управления.

Сборка состоит из следующих элементов конструкции:

- Качалки стабилизатора;
- тяги, соединяющей качалку консоли стабилизатора с промежуточной качалкой;
- промежуточной качалки, которая соединяется с руль-машинкой и тягой, и закрепляется на раме изделия.

Основная расчётная модель включает в себя конечноэлементную модель сборки двух качалок, тяги и пружин, имитирующих жёсткости крепления двойной качалки к раме, а также жёсткость кинематики и мест крепления руль-машинки.

При расчёте податливости нагрузка к качалке стабилизатора прикладывалась через балочные элементы, жёсткость которых заведомо больше жёсткости исследуемых деталей. Момент реализовывался парой сил, приложенной к концам балочного элемента, служащего для передачи нагрузки.

В местах соединения качалок и тяги имитируются шарнирные соединения. Для этого балочными элементами моделируются болты, установленные по осям соединений. Эти балочные элементы прикрепляются в сечениях отверстий к моделируемым деталям таким образом, чтобы одна деталь могла вращаться относительно другой. Для этого используются уравнения связи перемещений узлов оси и соединяемых деталей. То есть запрещаются линейные перемещения одного узла относительно другого. Угловые взаимные перемещения при этом разрешаются.

Вторая расчётная модель служит для определения жёсткостей пружин, имитирующих податливость рамы, и включает в себя конечноэлементную модель рамы и пластин, с помощью которых промежуточная качалка крепится к раме.

Основной результат расчётов состоит в определении собственной частоты колебаний консоли стабилизатора как твёрдого тела, закреплённого на раме ЛА через проводку управления и руль-машинку. На рисунках 1,2 приведены компоненты формы колебаний стабилизатора в двух плоскостях. Величина собственной частоты, полученной по результатам расчётов равна 40.041 Гц.

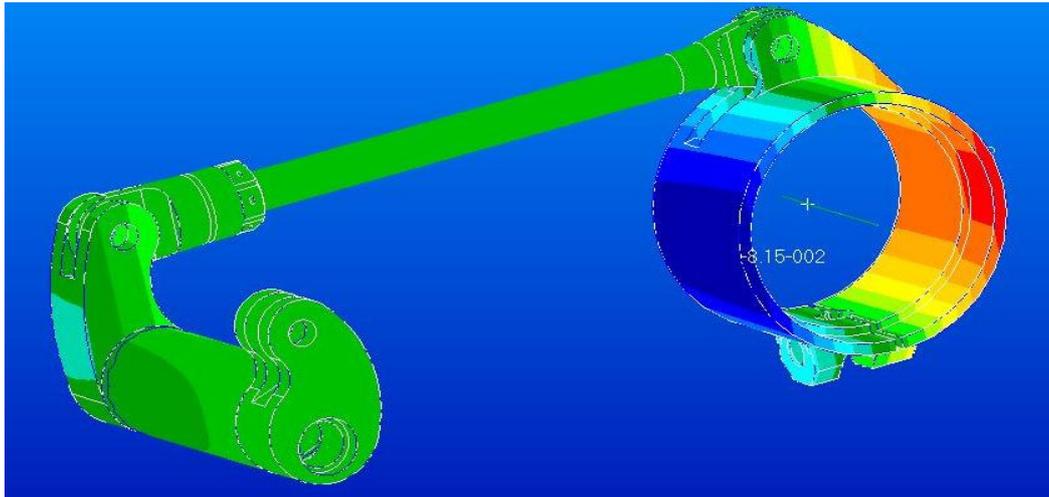


Рисунок 1. Компоненты формы колебаний в вертикальной плоскости

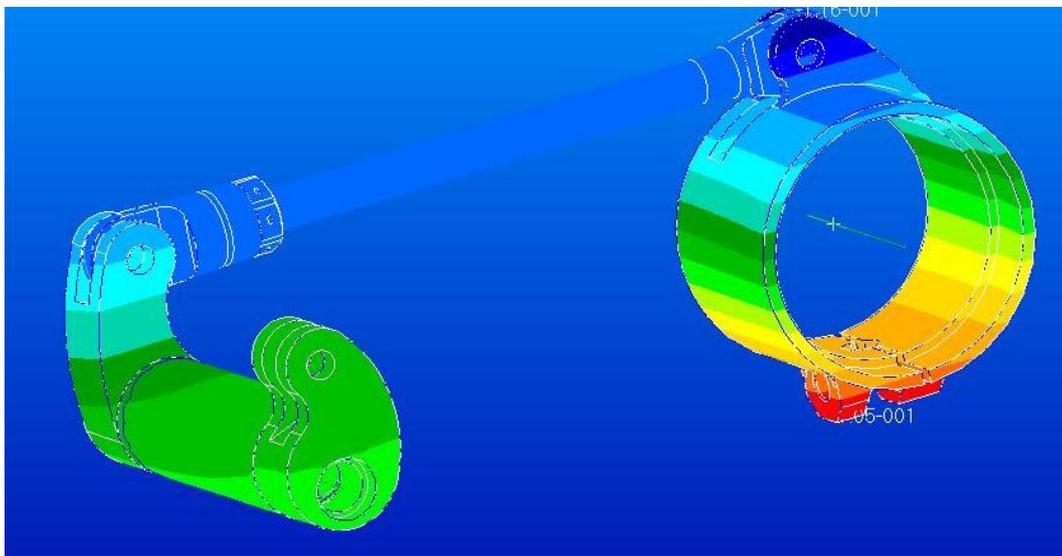


Рисунок 2. Компоненты формы колебаний в горизонтальной плоскости

#### 4. Выводы

- Показана возможность получения с применением метода конечных элементов расчётных оценок динамических характеристик конструкции стабилизатора, установленного на ЛА, позволяющих проводить расчёт флаттера до проведения частотных испытаний
- Целесообразно использование технологии суперэлементов или подконструкций, реализованной в виде метода Крэйга-Бэмптона или метода

корректирующих рядов, для расчёта динамических характеристик консолей оперения ЛА на ранних этапах проектирования.

## **Библиографический список**

1. Григорьев В.Г. Методология исследования динамических свойств сложных упругих и гидроупругих систем: дисс. докт. техн. наук. - М., РГБ ОД, 71 01-5/132-5, 2000. - 326 с.