

629.7.76

534.1.11

## **Реализация комплексного подхода к назначению нагрузок на крылатую ракету при транспортировании.**

С.В.Алексушин

### **Аннотация**

Представлен комплекс методик и программ, реализующий единый подход к назначению как нагрузок для расчётов усталостной прочности силовой конструкции, так и испытательных стендовых режимов на транспортабельность. Рассматриваются методики определения нагрузок на летательный аппарат (ЛА) при транспортировании по случайному профилю, моделирующему различные виды дорожного покрытия, и по детерминированным неровностям. Приведены соответствующие примеры расчёта. Предложен способ оценки повторных нагрузок на ЛА на основе результатов расчётов динамики транспортирования и измерений при натурной транспортировке на ограниченную дальность. .

### **Ключевые слова**

Нагрузки; динамика; транспортирование; летательный аппарат; прочность.

### **Введение**

Для маломаневренных летательных аппаратов, в частности, для крылатых ракет (КР), одной из важнейших задач при проектировании, является обеспечение прочности при транспортировании. Так как для маневренных летательных аппаратов нагрузки при транспортировании не являются определяющими при обеспечении прочности, этой задаче не всегда уделяется много внимания. Однако, в тех случаях, когда нагрузки на КР при транспортировании сравнимы с нагрузками в автономном полёте и в совместной эксплуатации с носителями, необходимо достаточно скрупулёзно подходить к назначению нагрузок, оценке усталостной прочности, и испытаниям на транспортабельность КР.

Для обеспечения прочности КР при транспортировании в процессе проектирования должны решаться следующие задачи:

- определение разовых максимальных нагрузок для обеспечения статической прочности КР;
- определение повторных нагрузок для оценки усталостной прочности и обеспечения назначенного ресурса КР;
- обработка и анализ измерений ускорений и изгибающих моментов при натурном транспортировании КР;
- назначение режимов стендовых испытаний на транспортабельность КР на основании натуральных работ и математического моделирования.

Предлагается ряд методик для решения выше обозначенных задач, стоящих перед инженером в процессе проектирования КР. Составлены соответствующие программы расчёта, реализованные в среде Mathcad.

### **1. Моделирование транспортирования КР на транспортном средстве по случайному профилю, имитирующему различные типы дорожного покрытия, а также стендовых испытаний на транспортабельность.**

Наиболее важно для маломаневренных изделий, транспортирующихся на большие расстояния, обеспечить усталостную прочность. Для решения этой задачи необходимо оценивать нагрузки на изделие при проезде по случайному профилю, имитирующему различные виды дорожного покрытия: асфальт, бетон, грунтовая дорога, бездорожье. [1]

Предлагается методика расчёта, позволяющая решать следующие задачи:

- определять статистические характеристики динамических нагрузок при движении транспортного средства по случайному профилю, описываемому функцией спектральной плотности дорожных неровностей;
- определять статистические характеристики динамических нагрузок при стендовых испытаниях по известной спектральной плотности ускорений платформы стенда.

Задача моделирования динамики транспортирования КР на транспортном средстве по дорожному покрытию со случайным профилем решается в следующих предположениях:

- КР моделируется упругой балкой, упруго соединенной с кузовом автомобиля или полуприцепа в опорных сечениях;

- Автомобиль, использующийся как транспортное средство для КР, представляется твёрдым телом. В случае моделирования автопоезда полуприцеп моделируется также твёрдым телом, соединённым шарнирно с тягачом.
- все характеристики упругости и демпфирования считаются линейными;
- предполагается, что профиль дороги под правыми и левыми колесами одинаков;
- процесс движения считается стационарным случайным процессом;
- движение колёс по дорожному покрытию считается безотрывным.

Учитываются следующие параметры:

- жесткости рессор и шин;
- демпфирование шин и амортизаторов;
- разновременность наезда колес на дорожные неровности вследствие наличия расстояния между колесами в направлении движения;
- масса колёс.

Перемещения упругой балки, моделирующей КР, раскладываются в ряд по собственным формам колебаний. При расчётах динамики учитываются низшие два, три тона собственных колебаний балки на упругих опорах.

Уравнения динамики составляются с помощью уравнений Лагранжа второго рода и имеют окончательный вид:

$$C \cdot \ddot{Q}(t) + A \cdot Q(t) + H \cdot \dot{Q}(t) = Y(t) \quad (1)$$

$C$  - матрица инерционных коэффициентов;

$A$  матрица жесткостных коэффициентов;

$H$  - матрица демпфирующих коэффициентов;

Поскольку система уравнений (1) линейна, функции спектральной плотности динамических параметров могут быть получены как произведение спектральной плотности входа на квадрат модуля соответствующей передаточной функции.

При моделировании стендовых испытаний платформа стенда считается твёрдым телом, совершающим поступательное движение вверх-вниз с ускорением, определяемым спектральной плотностью внешнего воздействия. КР, установленная на платформе стенда, считается упругой балкой, так же, как и при моделировании транспортирования по случайному профилю.

Составлены соответствующие программы расчёта, реализованные в среде Mathcad, позволяющие получать спектральные плотности изгибающих моментов и ускорений КР. На

рисунке 1 представлены результаты, получившиеся при моделировании транспортирования КР в кузове полуприцепа по грунтовой дороге в составе автопоезда.

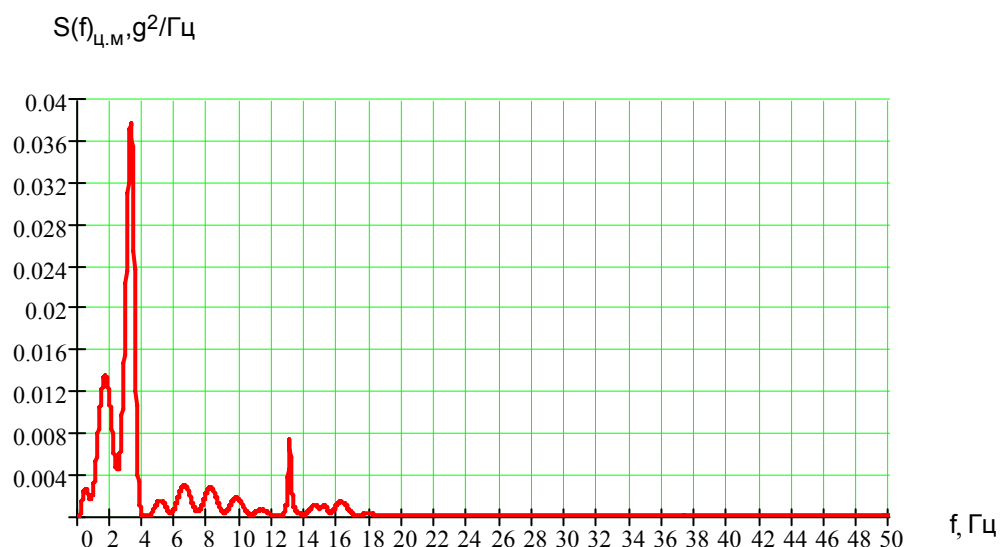


Рисунок 1. Спектральная плотность виброускорений центра масс кузова полуприцепа

Результаты расчётов показывают, что основная мощность процесса колебаний КР при транспортировании по дорожным покрытиям различного типа, лежит в диапазоне частот 0..20 Гц. Колебания происходят в основном на частотах, определяющихся параметрами подвески транспортного средства. Тот же самый результат наблюдается и по результатам измерений при натуральных транспортировках.

## **2. Моделирование движения транспортного средства с КР по детерминированным неровностям.**

Для определения максимальных нагрузок на КР при транспортировании составлены соответствующие программы расчёта наезда на различные типы неровностей, такие, как синусоида, эскарп, трамплин. [2]

Для имитации переезда через эти неровности уравнения (1) интегрируются методом Эйлера. Правые части уравнений определяются протяжённостью, высотой, и формой неровности.

На рисунке 2 представлены результаты решения тестовой задачи переезда через неровность, называемую "лежачий полицейский".

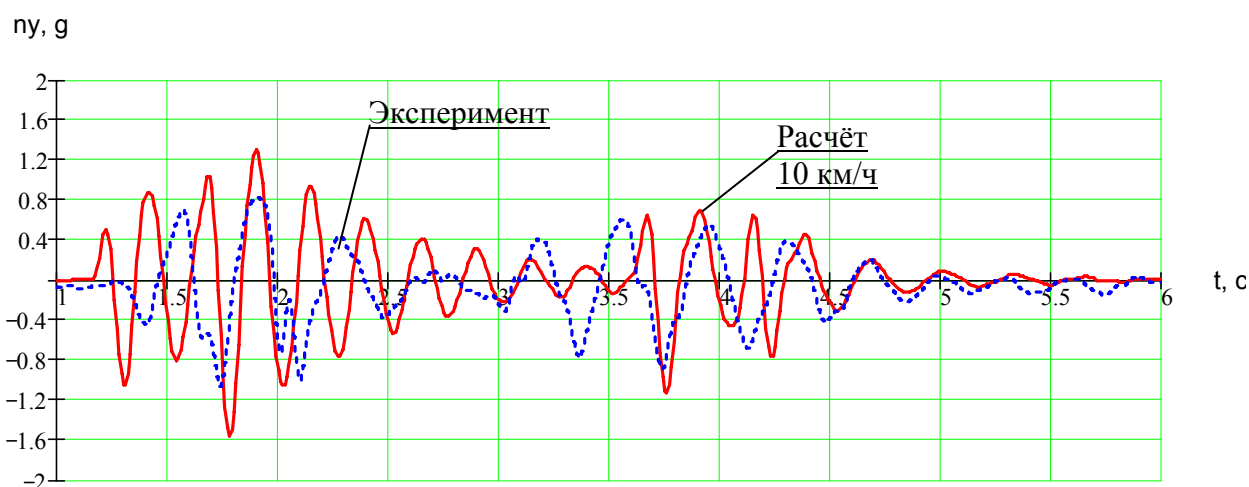


Рис.2 Динамическая составляющая перегрузки контейнера КР в переднем опорном сечении.

Результаты расчёта показывают, что представляемая автором методика расчёта может быть использована для определения нагрузок на КР и обеспечения её прочности при транспортировании.

### **3. Средства для обработки и анализа экспериментальных данных, назначения режимов стендовых испытаний, а также оценки повторных нагрузок на КР при транспортировании.**

Для обработки и анализа результатов измерений при натуральных транспортировках, назначения режимов стендовых испытаний, а также оценки повторных нагрузок на КР при транспортировании, в среде Mathcad реализованы следующие программы:

- программа расчёта спектральной плотности реализации случайного процесса с использованием прямого быстрого преобразования Фурье;
- программа построения реализации случайного процесса по заданной спектральной плотности и дисперсии процесса с использованием обратного быстрого преобразования Фурье;
- программа расчёта числа циклов определённого уровня реализации случайного процесса с использованием известного метода "дождя";

На ранних этапах проектирования предлагается оценивать усталостную прочность изделия при транспортировании, исходя из повторных нагрузок, полученных следующим образом:

- из результатов расчётов динамики транспортирования по случайному профилю получается спектральная плотность и дисперсия изгибающих моментов в определённом сечении КР;
- строится реализация случайного процесса по этой известной спектральной плотности и дисперсии;
- методом "дождя" рассчитывается распределение числа циклов по уровням изгибающих моментов;
- усталостная прочность оценивается на основании кривой усталости материала и гипотезы линейного суммирования повреждений.

При наличии измерений повторяемость нагрузок вычисляется непосредственно по реализациям изгибающих моментов, полученных с помощью тензодатчиков, или вычисленных с использованием измеренных величин ускорений по длине КР.

#### **4 Формирование режимов стендовых испытаний на транспортабельность.**

За основу берётся реализация динамического процесса при натурной эксплуатации: запись сигналов датчиков ускорений или сигналов тензодатчиков, установленных на изделии. Возможно также использование реализации полученной расчётом с помощью математической модели, верифицированной по результатам натуральных транспортировок на ограниченную дальность или испытаниям прототипов.

Процедура формирования режимов стендовых испытаний на основании экспериментально полученной реализации включает в себя следующие шаги:

- выбор характеристического датчика, в наибольшей степени отражающий предполагаемый критический параметр нагружения. Например, для изгибающего момента в переднем опорном сечении, в качестве характеристического можно выбрать тензодатчик в этом сечении или датчик ускорений на носу изделия. По показаниям этого датчика в дальнейшем контролируется режим стендовых испытаний;
- формируется типовой цикл транспортирования, включающий в себя участки транспортирования по основным типам дорожного покрытия – асфальт, бетон, грунт. Для достаточно длинной реализации динамического процесса (не обяза-

тельно стационарного), соответствующего этому циклу, строится функция нормированной спектральной плотности. Эта спектральная плотность используется при задании режимов, определяя спектральный состав возмущения платформы стенда;

- Методом "дождя" получается совокупность циклов, эквивалентная типовому динамическому процессу. Выбирается показатель кривой усталости и показатель надёжности и подсчитывается повреждаемость с использованием принципа линейного суммирования повреждений.
- Дисперсия стационарного испытательного режима назначается из условия эквивалентности по повреждаемости типовой реализации нестационарного динамического процесса, включающего в себя различные участки, стационарному режиму стендовых испытаний.



## **5. Выводы**

Построена система методик и программ, реализующих комплексный подход к решению задач назначения нагрузок и обеспечения прочности крылатой ракеты при транспортировании. Разработанные подходы и вычислительные средства позволяют использовать при проектировании как возможности математического моделирования динамики движения, так и стендовое оборудование для имитации реальных условий транспортирования и результаты измерений при натуральных транспортировках. Кроме того, представленные подходы, методики и программы, позволяет реализовать изложенную в ГОСТ 25147-82 идеологию испытаний для обеспечения прочности КР при транспортировании.

## **Библиографический список**

[1] А.А. Силаев "Спектральная теория подрессоривания транспортных машин" Издательство "Машиностроение" Москва 1972, 190 с.

[2] Н.Н. Яценко, О.К.Прутчиков "Плавность хода грузовых автомобилей" Издательство "Машиностроение" Москва 1969, 217 с.

## **Сведения об авторах**

Алекушин Сергей Владимирович, Начальник группы норм прочности и динамики конструкции, ОАО "ГосМКБ "Радуга" им А.Я.Березняка, serg\_al@inbox.ru».Тел:89055305973