

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ВЫВЕДЕНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕТРА СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ТУРБУЛЕНТНЫМИ ПУЛЬСАЦИЯМИ

Современный этап развития ракетно-космической техники связан с использованием на ракетах-носителях (РН) крупногабаритных надкалиберных головных обтекателей. Одна из основных задач системы управления (СУ) РН заключается в обеспечении устойчивости движения РН при воздействии ветровых возмущений. К СУ предъявляются жёсткие требования по обеспечению запасов устойчивости и качества переходных процессов. Причём самым сложным с точки зрения обеспечения устойчивости является этап полёта, соответствующий работе первой ступени РН, когда скоростной напор имеет большую величину.

СУ РН, решая эту задачу, должна также снижать нагрузки на корпус РН. Для ограничения аэродинамических нагрузок, обусловленных воздействием ветра, в СУ введён дополнительный контур регулирования по перегрузке или по «оценке» ветровой составляющей угла атаки (скольжения). Этот канал регулирования плавно включается на участке больших значений скоростного напора. Структура системы стабилизации позволяет обеспечить значения максимальных величин углов атаки (скольжения) на уровне допустимых по условию ограничения нагрузок на конструкцию РН.

Дополнительные возможности для ограничения нагрузок и обеспечения устойчивости движения предоставляют программные способы управления, основанные на использовании предстартового измерения ветра. В настоящее время при расчёте бортового полётного задания (ПЗ) учитываются систематические составляющие скорости ветра. Требования по управляемости и ограничению углов атаки (скольжения) РН обеспечиваются при достаточно жёстких ограничениях, накладываемых на величины скорости ветра и градиента скорости ветра.

Профили ветра, полученные по результатам зондирования атмосферы в районе космодрома, имеют «турбулентный» характер, то есть ветровые воздействия характеризуются значительными турбулентными пульсациями. Профиль ветра, учитываемый в полётной программе, должен быть достаточно «гладким» с учётом динамических характеристик РН.

В работе предлагается для расчёта программ выведения РН проводить формирование профилей ветра, не учитывая значительные турбулентные пульсации ветровых

воздействий в районе космодрома, с сохранением устойчивости движения РН и качества переходных процессов.

Разработана программа, позволяющая проводить среднеквадратичную линейную аппроксимацию с единичным весом.

Используются предстартовые измерения скорости ветра, которые проводятся с шагом по высоте в 1 км. Функция профиля ветра $w(H)$ представлена таблицей, узлами которой являются точки с координатами скоростей ветра и высот зондирования.

Функция $w(H)$ на высотах H_i ($i = 0, \dots, N$), на которых имеются данные зондирования, при линейной аппроксимации заменяется функцией

$$\varphi(H) = \sum_{k=0}^n a_k \varphi_k(H)$$

с числом членов $n \leq N$.

В качестве аппроксимирующих функций выбраны полиномы

$$\varphi_k(H) = H^k \text{ при } 0 \leq k \leq n.$$

Коэффициенты аппроксимации a_k находятся из системы уравнений

$$\sum_{k=0}^n (H^m, H^k) a_k = (w, H^m), \quad 0 \leq m \leq n.$$

Здесь скалярные произведения определяются формулами

$$(H^m, H^k) = \sum_{i=0}^N \rho_i H_i^{m+k}, \quad (w, H^m) = \sum_{i=0}^N \rho_i w(H_i) H_i^m,$$

где $\rho_i > 0$ – вес.

Хорошее сглаживание будет при $n \ll N$. Оптимальное число коэффициентов зависит от функции $w(H)$, числа узлов $(N+1)$, их расположения, весов и от выбранной системы $\varphi_k(H)$.

На рис. 1 приведены исходный профиль ветра (построенный по данным зондирования) и профиль ветра после проведения двукратной среднеквадратичной линейной аппроксимации с единичным весом $\rho_i = 1$.

Н, км

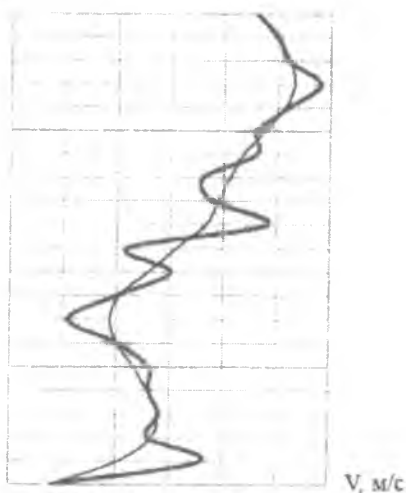


Рис. 1. Профиль ветра

— исходный профиль,

— профиль после проведения двукратной аппроксимации

Окончательное решение о возможности проведения пуска с использованием сформированного по разработанной методике профиля ветра принимается после моделирования полёта, анализа нагружения конструкции и выполнения задач пуска РН.

Разработана программа моделирования возмущённого движения РН при различных характеристиках ветровых воздействий на основании структурной схемы алгоритмов стабилизации первой ступени РН по каналу тангажа (рыскания) с учётом алгоритма вычисления оценки ветровой составляющей угла атаки (скольжения) и алгоритма вычисления поправки к углу тангажа (рыскания).

Моделирование движения РН на участке полёта первой ступени проведено для канала рыскания как наиболее «тяжёлого» с точки зрения обеспечения устойчивости движения.

На рис. 2 приведено сравнение зависимостей угла отклонения рулевых органов РН от времени δ (τ) по результатам моделирования движения РН в канале рыскания на участке полёта первой ступени при действии ветра с профилями, представленными на рис. 1. Здесь τ — относительное время полёта первой ступени, то есть по оси абсцисс отложено время полёта, отнесённое ко времени конца работы первой ступени РН.

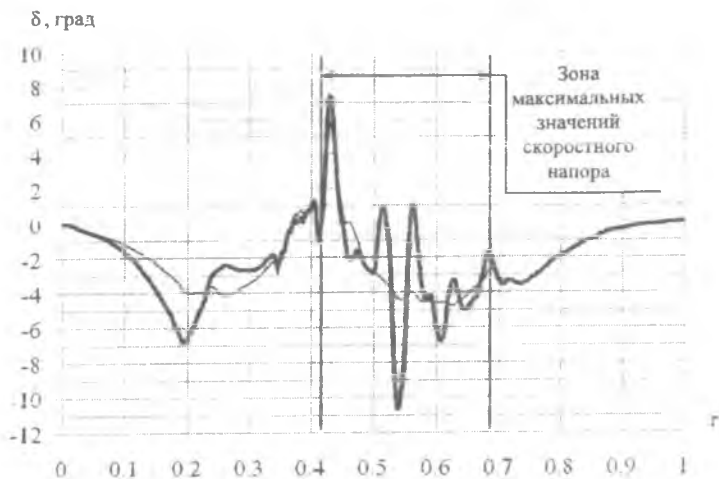


Рис. 2. Зависимость $\delta(\tau)$ на участке полёта первой ступени РН при действии ветра
 — с исходным профилем.
 — с профилем после проведения двукратной аппроксимации

Анализируя график, представленный на рис. 2, можно сделать вывод о том, что возмущённое движение РН при учтённом в программе выведения сформированном профиле ветра характеризуется значительно меньшими значениями углов отклонения рулевых органов РН.

В конечном итоге, учёт в бортовом ПЗ ветрового профиля, сформированного по разработанной методике, приводит к снижению нагрузки на конструкцию РН.