

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ С ВВЕДЕННЫМ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРОМ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЕТРОВОГО УГЛА АТАКИ

Работа посвящена проблеме обеспечения устойчивости движения ракеты-носителя (РН) на атмосферном участке полета. В последнее время на РН используется цифровая система управления (СУ). С целью выполнения требований по ограничению в полете угла атаки (скольжения) в пределах  $3^\circ$  в районе максимальных скоростных напоров наряду с традиционными контурами угловой и нормальной стабилизации в автомате стабилизации (АС) РН введен контур управления ветровым углом атаки. Особенности АС оказывают существенное влияние на устойчивость движения РН.

Рассматриваются уравнения возмущенного движения РН на первой ступени полета в связанной системе координат.

Коэффициенты уравнений возмущенного движения зависят от геометрических, центровочных, инерционных, аэродинамических характеристик РН; характеристик двигательных установок; параметров траектории активного участка полета РН и атмосферы. Коэффициенты изменяются во времени, и в общем случае они задаются по траектории таблично как функции времени.

Самым сложным с точки зрения обеспечения устойчивости является этап полета, соответствующий работе первой ступени, когда имеют место максимальные скоростные напоры.

К возмущениям, действующим на РН, относятся технологические возмущения и ветровые возмущения. Ветровые возмущения зависят от угла атаки и оказывают наибольшее воздействие.

На РН типа «Союз-2» используется СУ, принципиально отличающаяся от ранее используемых. Для решения задачи ограничения аэродинамических нагрузок, обусловленных воздействием ветра, в систему вводится дополнительный контур регулирования по перегрузке или по «оценке» ветровой составляющей угла атаки (скольжения), получаемой от комплекса командных приборов. Этот канал регулирования плавно включается на участке больших скоростных напоров, то есть система стабилизации реализуется как система с переменной структурой.

На начальном участке полета система функционирует как система угловой стабилизации, в районе полета с большими скоростными напорами – как система ограничения углов атаки (нагрузок), в конце атмосферного участка обеспечивается «жесткая»

стабилизация относительно программной траектории. Изменение структуры осуществляется путем программного изменения коэффициентов усиления по времени или скорости полета. Такая структура системы стабилизации позволяет для аэродинамически неустойчивых РН обеспечить ограничение максимальных величин углов атаки на уровне 3-4 градусов.

С учетом алгоритма вычисления оценки ветровой составляющей угла скольжения, алгоритма вычисления поправки к углу рыскания, а также структурной схемы алгоритмов стабилизации первой ступени РН по каналу рыскания получен аналоговый эквивалент уравнения АС.

Проводилось численное моделирование движения РН в канале рыскания на первой ступени полета. Для этого использовалась математическая модель системы, которая включает следующие уравнения:

- уравнения возмущенного движения РН, рассматриваемой как абсолютно жесткое тело, в связанной системе координат в канале рыскания;
- уравнение АС.

Определение параметров возмущенного движения РН в канале рыскания, исследование устойчивости движения РН, а также оценка выполнения требования по ограничению угла скольжения в районе

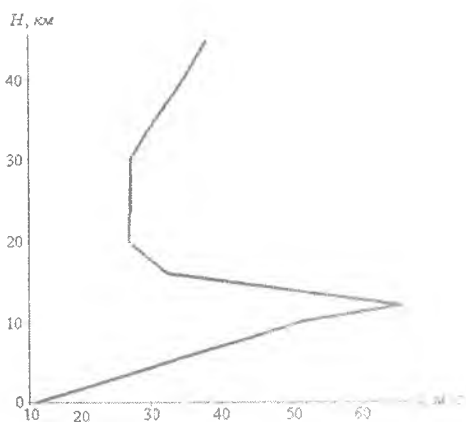


Рис. 1. Профиль поголого ветра

максимальных скоростных напорах проведены на основе численного моделирования с учетом различных ветровых возмущений.

Значения коэффициентов уравнений возмущенного движения определены для РН «Союз-2» с головным обтекателем большого диаметра. Коэффициенты рассчитаны с использованием разбросов параметров РН.

Моделирование проводилось при действии поголого ветра (задаваемого для месяца июля, широты 46°) и для турбулентного ветра.

Профиль поголого ветра (зависимость скорости ветра  $w$  от высоты  $H$ ) представлен на рисунке 1.

На рисунке 2 приведена зависимость угла скольжения  $\beta$  от времени по результатам численного моделирования движения в канале рыскания на первой ступени полета с учетом разбросов параметров РН при действии пологого ветра.

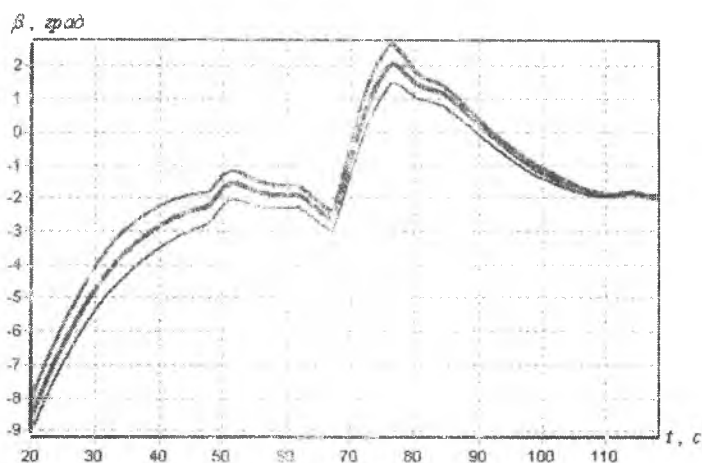


Рис. 2. График  $\beta(t)$  при действии пологого ветра для АС с включенным контуром (----- номинальный режим, ——— нижний режим, ——— верхний режим)

Проведено исследование эффективности работы контура ограничения углов атаки (скольжения). Рассматривался АС с отключенным контуром. Полученный в результате график  $\beta(t)$  представлен на рисунке 3. При действии пологого ветра снижение максимального угла скольжения в номинальном режиме составляет 11%.

Аналогично проводилось численное моделирование движения в канале рыскания на первой ступени полета с учетом разбросов параметров РН при действии турбулентного ветра. Проведено исследование эффективности работы контура ограничения углов атаки (скольжения). Рассматривался АС с отключенным контуром. При действии турбулентного ветра снижение максимального угла скольжения в номинальном режиме составляет 13%.

Результаты проведенного моделирования показывают, что устойчивость движения РН в канале рыскания в номинальном, нижнем, верхнем режимах при действии различных ветровых возмущений (пологого и турбулентного ветра) на участке полета первой ступени обеспечивается.

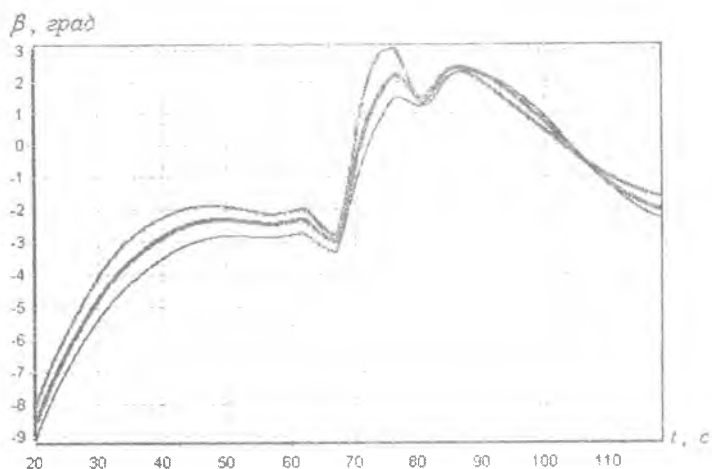


Рис. 3. График  $\beta(t)$  при действии пологого ветра для АС с отключенным контуром (— номинальный режим, — нижний режим, — верхний режим)

Требование по ограничению угла скольжения не более  $3^\circ$  в районе максимальных скоростных напоров с учетом ветровых возмущений в номинальном, нижнем, верхнем режимах выполняется.