

Использование априорной информации об аэродинамическом нагружении ракеты для обеспечения безопасности отделения

М.Н. Правидло, Е.О. Кузнецова

Аннотация

В работе рассматривается разработка алгоритма формирования начальных сигналов на борту самолета-носителя, передаваемых в инерциальную систему управления ракеты.

Ключевые слова

система отделения ракеты; авиационная управляемая ракета; самолет-носитель; безопасность отделения; аэродинамическая интерференция; относительные траектории

Введение

В процессе разработки авиационных управляемых ракет (АУР) класса «воздух-воздух» должна быть учтена необходимость выполнения одного из основных требований – обеспечение тактического старта АУР без наложения ограничений на режимы полета самолета-носителя (СН).

Под обеспечением старта понимается обеспечение безопасности отделения АУР от СН как в части исключения соударения с носителем стартовавшей ракеты, так и пространственной стабилизации этой ракеты к моменту начала ее наведения на цель.

Технические решения, которые позволяют обеспечить старт АУР, носят комплексный характер, поскольку определяют существенные параметры всех объектов, составляющих систему отделения ракеты, а именно, систему «носитель - пусковая установка - ракета». К таким параметрам относятся [1]:

1. для носителя – линейные и угловые координаты ракеты в ее транспортном положении;
2. для пусковой установки – приобретаемые ракетой за счет движения на пусковой установке приращения линейных и угловых координат и скоростей;

3. для ракеты – структура и настройки системы стабилизации на участке полета АУР в окрестности СН, а также предварительные отклонения рулей и перегрузки ее увода от носителя, которые задаются системой управления после схода ракеты с пусковой установки.

Третья группа параметров используется в случае, когда недостаточно двух первых групп. Такая ситуация возникает весьма часто, поскольку параметры размещения ракеты на СН, а также параметры контура стабилизации (КС) формируются в результате многофакторного анализа эффективности авиационного боевого комплекса, в процессе проведения которого фактор обеспечения безопасности отделения является одним из многих.

Используя априорную информацию о характеристиках аэродинамической интерференции АУР и СН, представляется возможным обеспечить в подобных случаях безопасные относительные траектории АУР и сохранение ее пространственной устойчивости на всех режимах боевого применения СН с помощью разработанного специального алгоритма формирования начальных сигналов на борту СН, передаваемых в инерциальную систему управления АУР.

Передаваемые начальные сигналы являются сигналами управления, поступающими в автопилот АУР для отработки отклонения рулей с целью обеспечения:

- предварительного отклонения рулей в канале крена и в продольных каналах КС;
- формирования сигнала на создание перегрузки увода в продольных каналах КС.

В соответствии с указанным алгоритмом реализуются следующие величины предварительных отклонений рулей δ_{np} и уводящих перегрузок n_{y6} при старте АУР с СН:

$$\begin{cases} \delta_{x\dot{\vartheta}} = \delta_{x\dot{\vartheta}}(\alpha_i, N_i) \\ \delta_{I\dot{\vartheta}} = \delta_{I\dot{\vartheta}}(\alpha_i, N_i) \\ \delta_{II\dot{\vartheta}} = \delta_{II\dot{\vartheta}}(\alpha_i, N_i) \\ n_{\acute{o}aI} = n_{\acute{o}aI}(\alpha_i, N_i) \\ n_{\acute{o}aII} = n_{\acute{o}aII}(\alpha_i, N_i), \end{cases}$$

где: δ_{xnp} –предварительное отклонение рулей в канале крена;

δ_{Inp} , δ_{IInp} – предварительное отклонение рулей в продольных каналах КС;

$n_{y\delta I}, n_{y\delta II}$ – перегрузки увода в продольных каналах КС;

α_n – угол атаки СН,

N_i – номер точки подвески АУР на СН.

Формирование алгоритма предварительных отклонений рулей основано на результатах сравнительного анализа априорной информации о характеристиках аэродинамической интерференции АУР и аэродинамических характеристиках изолированной АУР, проводимого на наиболее напряженном с точки зрения обеспечения безопасности отделения режиме полета СН. С учетом числа M , характеризующего этот режим, строятся зависимости коэффициента аэродинамического момента $m_{из}$ (двух продольных $m_{из}$, $m_{z из}$ и одного поперечного $m_{x из}$) изолированной АУР от угла атаки при различных значениях углов поворота δ рулевых поверхностей. Каждая из указанных зависимостей сравнивается с зависимостью соответствующего момента аэродинамической интерференции $m_{инт}(\alpha)$, построенной для удобства проведения анализа с обратным знаком. На рисунке 1 для примера показаны графики продольных моментов $m_{z из}(\alpha)$ изолированной ракеты с нанесенным на них графиком интерференционного момента $m_{зинт}(\alpha)$, построенного с обратным знаком.

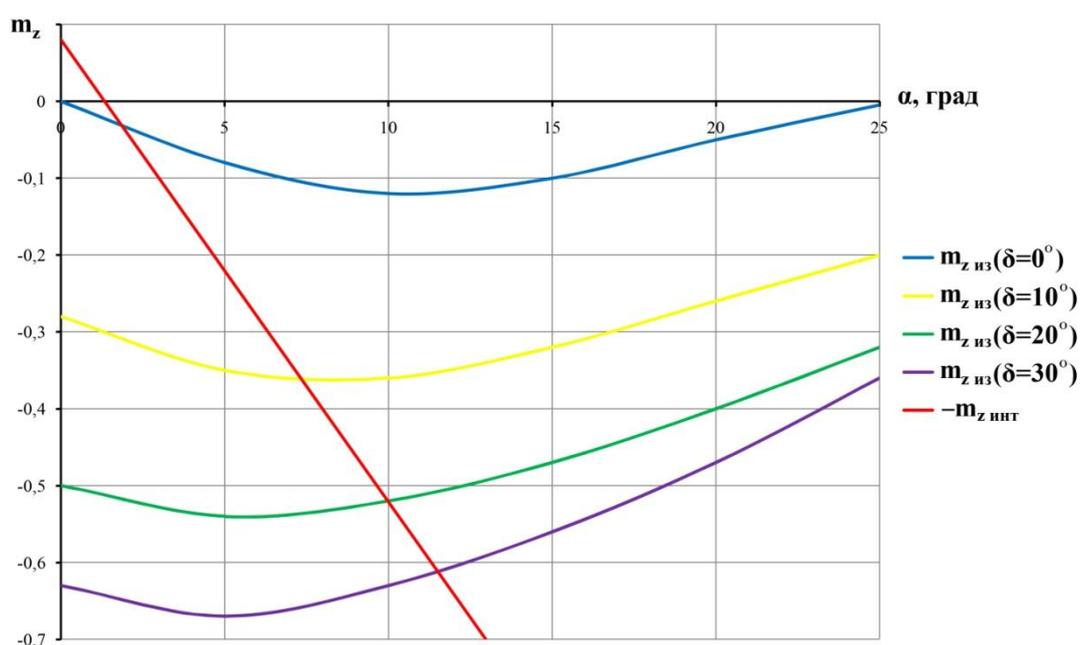


Рис. 1. Характеристики аэродинамического продольного момента АУР для ее изолированного состояния и в присутствии СН

Алгоритм формирования перегрузок увода АУР в продольных направлениях основан на использовании априорной информации о зависимостях от угла атаки коэффициентов

аэродинамических сил интерференции, действующих на АУР в направлении продольных осей Y и Z связанной с ней системы координат.

В результате сформированный на основе проведенного анализа алгоритм проверяется на его эффективность математическим моделированием пространственного движения АУР при ее старте с СН на режиме его полета с рассмотренным числом M , а также с другими значениями числа M из диапазона режимов полета СН, на которых представляется проблематичным обеспечение безопасности отделения только за счет параметров СН и пусковой установки.

В качестве примера рассмотрим старт ракеты средней дальности. В процессе моделирования отделения АУР от СН на малых числах M с помощью параметров СН и пусковой установки удается обеспечить несоударение стартовавшей ракеты с носителем, а также ее стабилизацию. Однако на сверхзвуковом режиме полета СН при больших значениях перегрузки n_y и угла атаки носителя α_n траектория относительного движения АУР и СН становится неприемлемой. Кроме того, происходит «раскачка» АУР по крену.

На рисунках 2 – 5 приведены графики, характеризующие движение АУР в процессе ее отделения на режиме полета СН $H = 20$ км, $M = 2,4$, $\alpha_n = 15$ град.

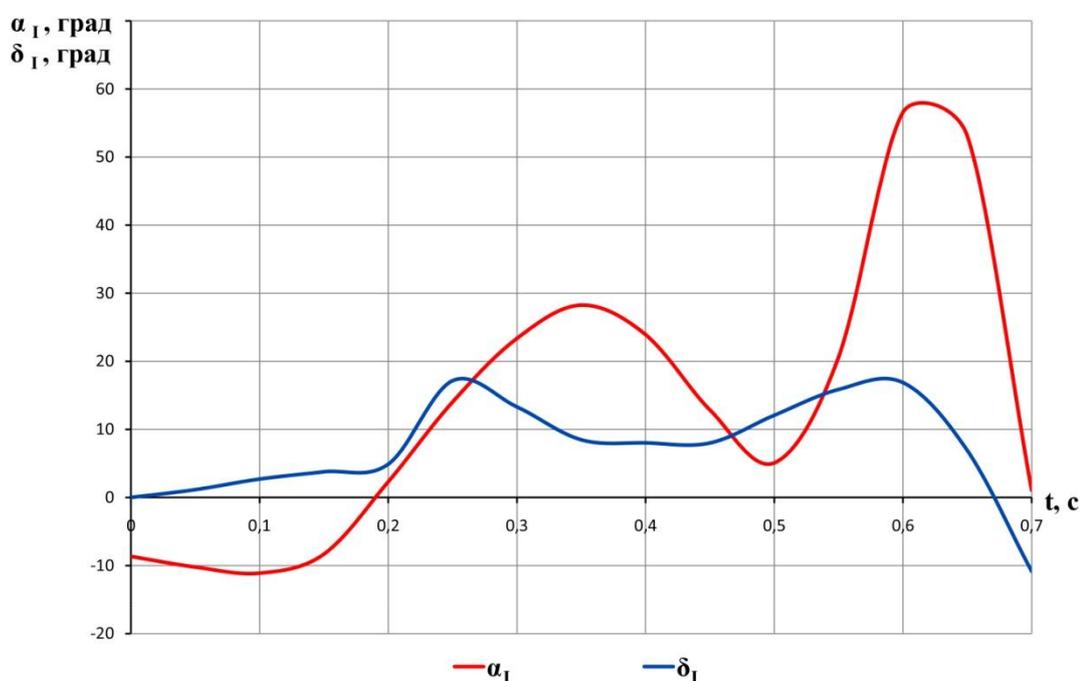


Рис. 2. Угол атаки ракеты и угол отклонения рулей в первом (продольном) канале

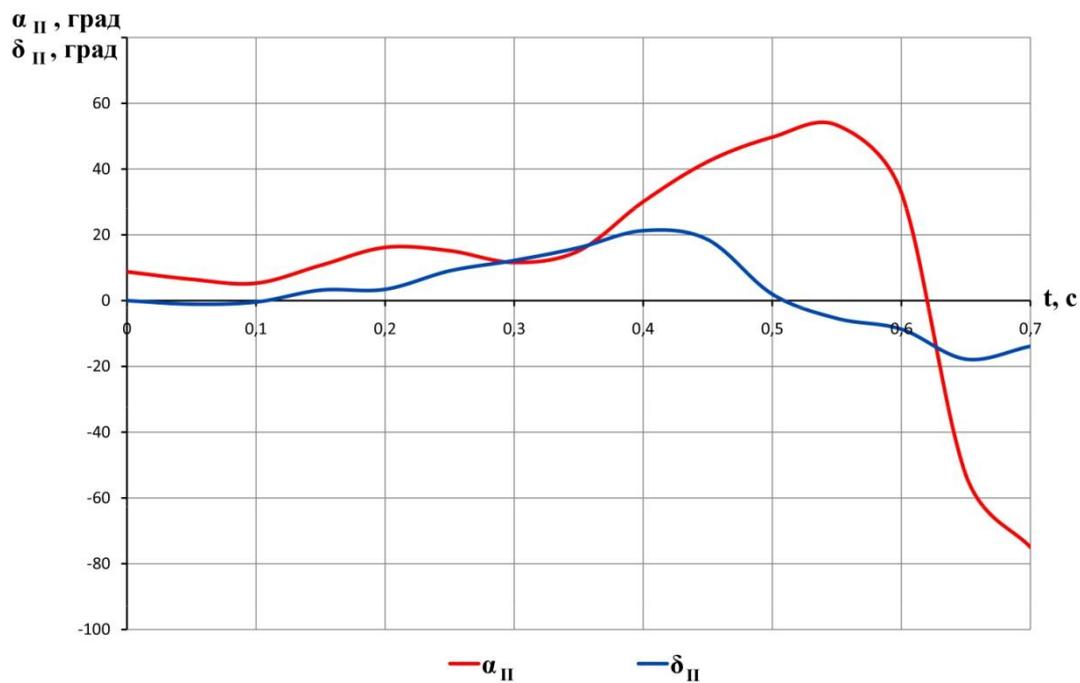


Рис. 3. Угол атаки ракеты и угол отклонения рулей во втором (продольном) канале

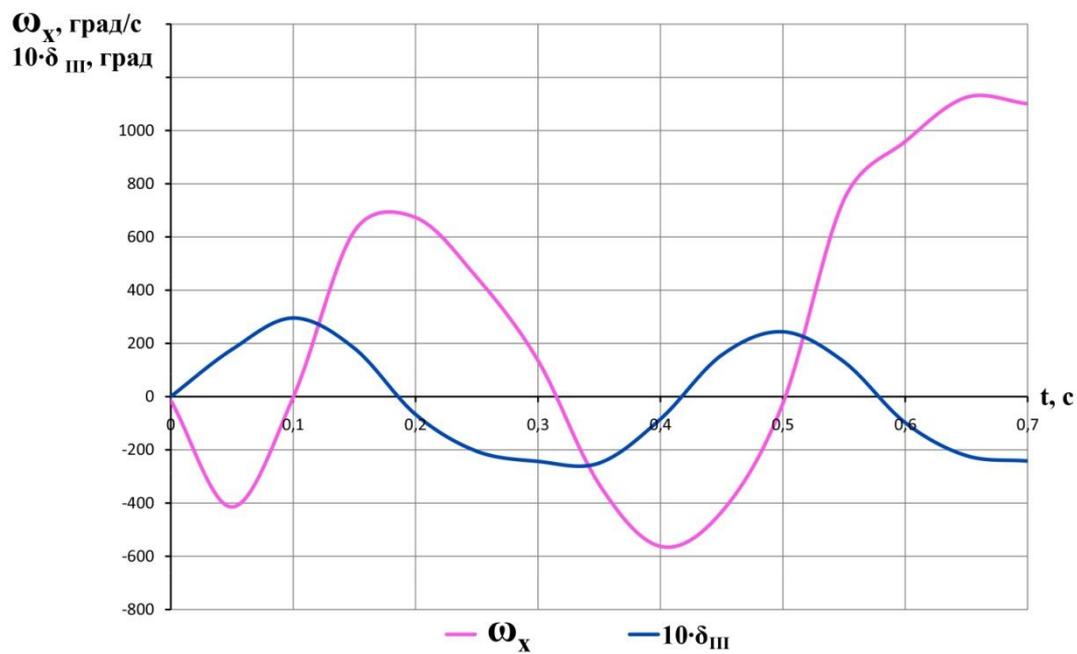


Рис. 4. Угловая скорость крена и угол отклонения рулей АУР в канале кренапри отделении

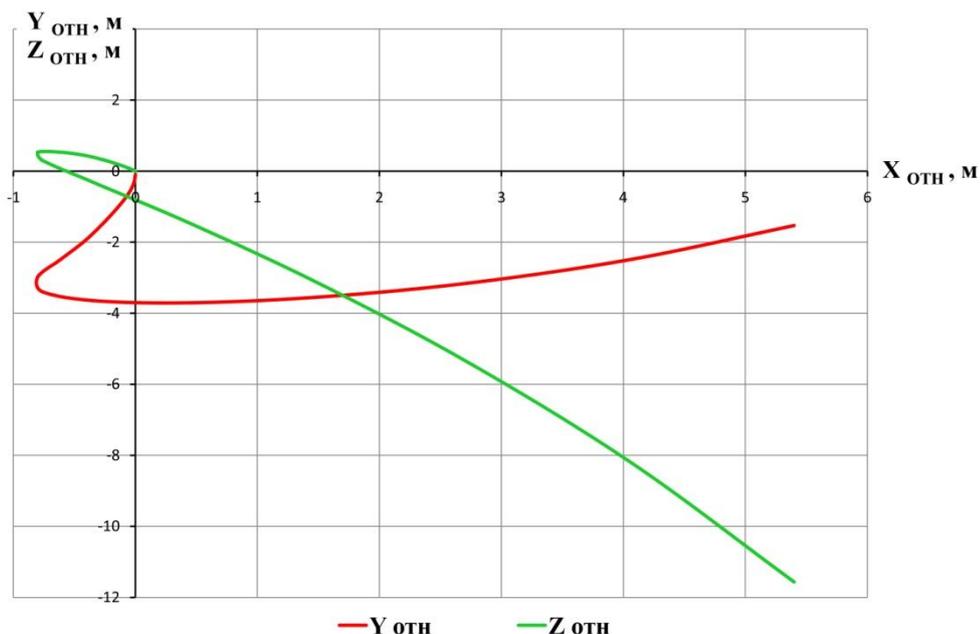


Рис. 5. Траектория отделения АУР относительно СН

Как видно из графиков, рули не способны компенсировать рост канальных углов атаки и обеспечить стабилизацию в канале крена. Кроме того, имеет место небезопасная траектория относительного движения АУР.

На рисунках 6 – 9 приведены характеристики движения АУР на рассматриваемом режиме, полученные с использованием предварительных отклонений рулей и уводящей перегрузки.

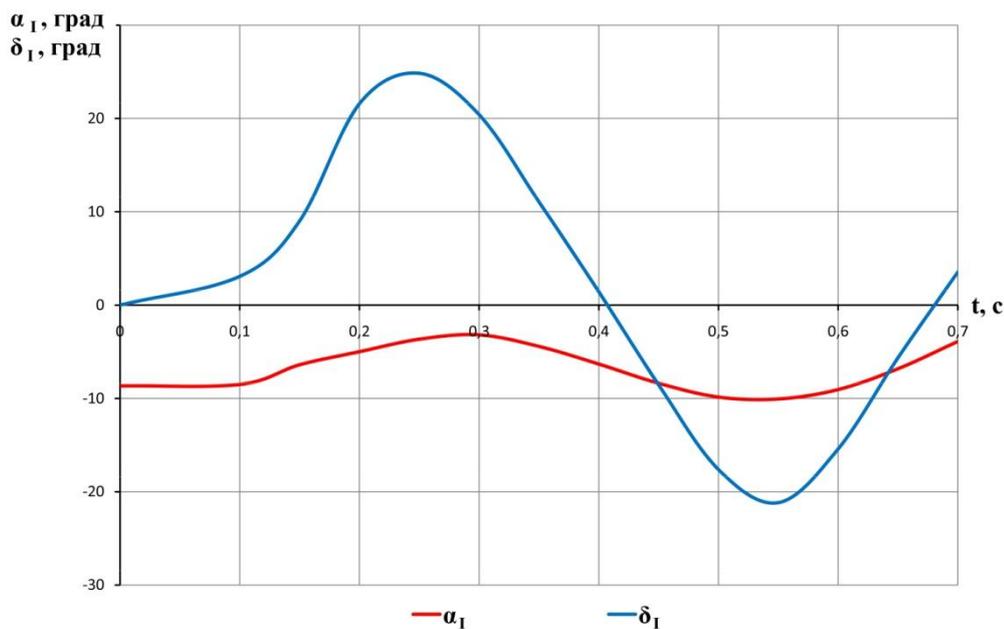


Рис. 6. Угол атаки ракеты и угол отклонения рулей в первом (продольном) канале

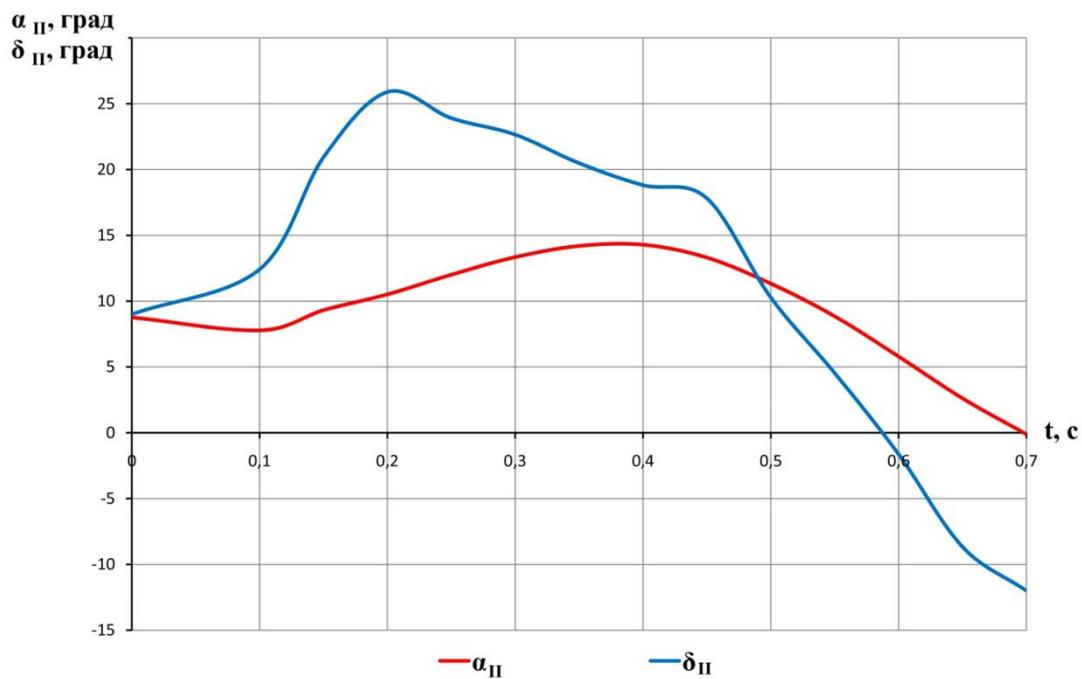


Рис. 7. Угол атаки ракеты и угол отклонения рулей во втором (продольном) канале

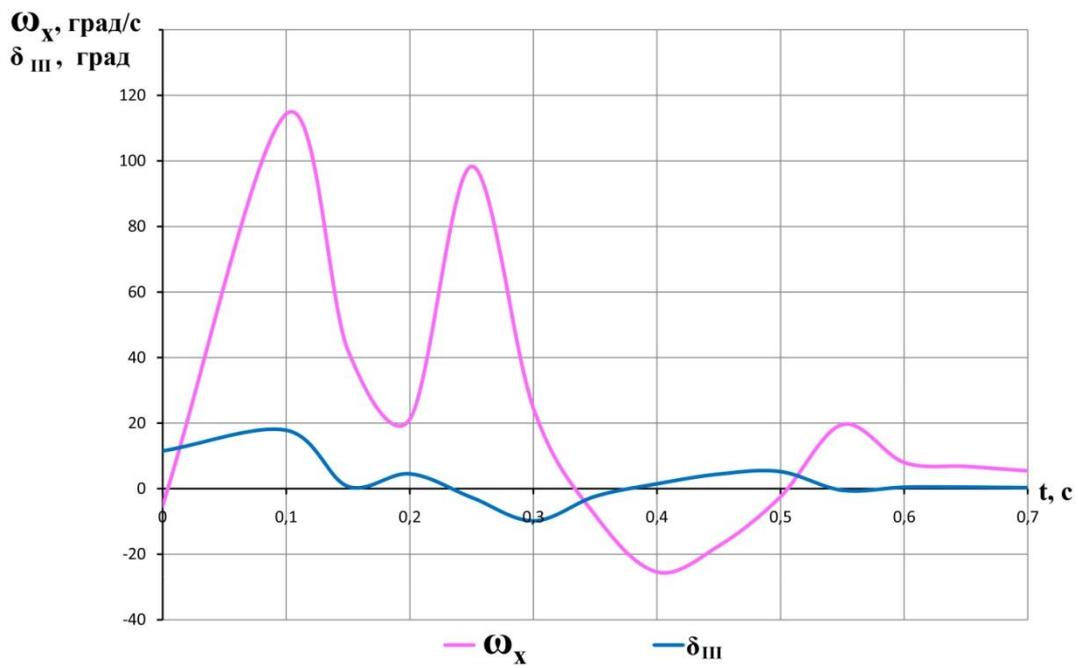


Рис. 8. Угловая скорость крена и угол отклонения рулей АУР в канале крена при отделении

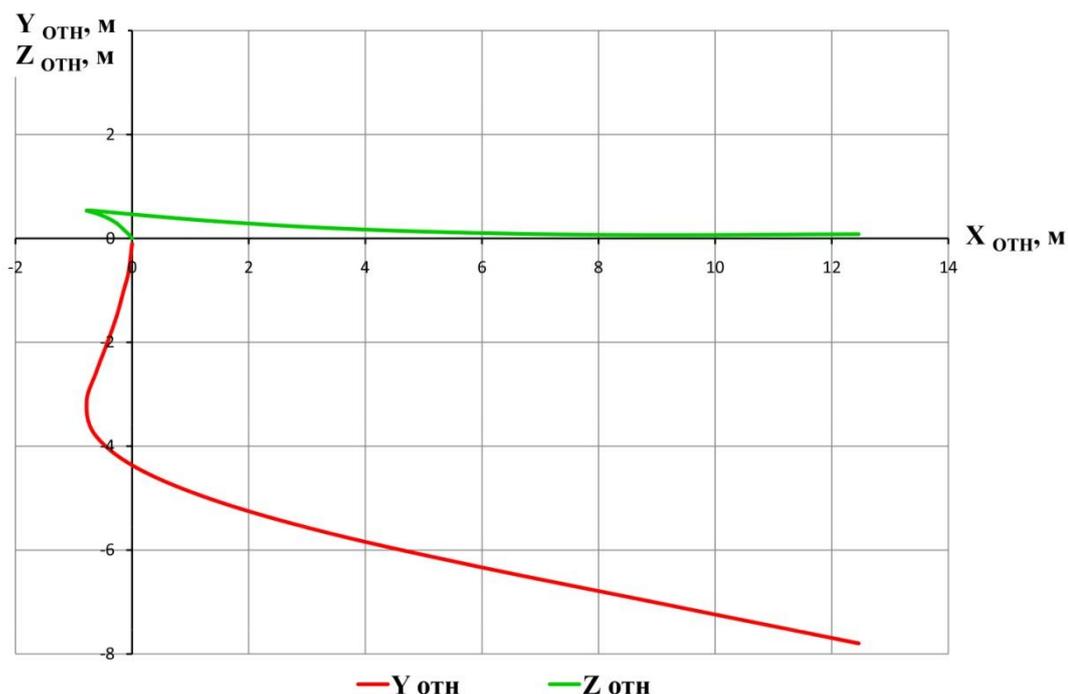


Рис. 9. Траектория отделения АУР относительно СН

Выводы и рекомендации

В результате сравнительного анализа двух вариантов отделения АУР с СН можно сделать следующий вывод. Использование алгоритма формирования начальных сигналов позволило обеспечить безопасную относительную траекторию отделения АУР от СН, а также стабилизировать ракету к моменту ее наведения на цель.

Однако применение данного алгоритма должно быть основано на достоверных сведениях об аэродинамических интерференционных силах и моментах, действующих в процессе старта на ракету вблизи СН. В противном случае задание предварительных отклонений рулевых поверхностей и перегрузок увода может не компенсировать интерференционные воздействия, а усилить их, в результате чего возможна потеря ракеты и самого носителя.

Основным методом получения априорной информации в настоящее время остается эксперимент по совместным продувкам в аэродинамических трубах моделей СН и АУР. Однако, следует признать, что вследствие различных сложностей проведения интерференционных исследований в аэродинамической трубе (АДТ) (например, в АДТ Т-103, Т-106, Т-108, Т-109 ЦАГИ) погрешности в определении коэффициентов аэродинамической интерференции по сравнению с полученными по результатам анализа

летных испытаний составляют 20%...50% – особенно при малых значениях угла α_n атаки СН в диапазоне его скорости $M = 0,8...2,35$ и больших α_n при $M \leq 0,6$. Сложности в получении по результатам трубного эксперимента достоверных интерференционных характеристик связаны со следующими обстоятельствами:

- ограниченные размеры рабочей части АДТ, что вынуждает исследовать интерференционное влияние моделей СН и АУР малого 1:9... 1:12 масштаба изготовления;
- наличие упругих составляющих перемещений моделей, вызванных деформацией модели СН и стенда задания положения модели АУР;
- несоответствие между жесткостями СН и его модели;
- несоответствие между числами Re в натурном и трубном процессах;
- отсутствие струи двигателя АУР при продувках в АДТ.

Поэтому чрезвычайно важно уточнять характеристики аэродинамической интерференции по результатам натурных испытаний АУР [2] с целью корректировки математической модели интерференции АУР и СН, используемой для исследования движения АУР в окрестности СН.

Библиографический список

1. Правидло М.Н. Комплексный анализ системы старта и отделения авиационных управляемых ракет // Вестник МАИ. 2010. Т.17. №4. С. 17 – 25.
2. Правидло М.Н. Методика идентификации характеристик аэродинамической интерференции при анализе материалов летных испытаний // Труды МАИ. 2010. Вып. 37.

Сведения об авторах

Правидло Михаил Натанович, профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н.

МАИ, Волоколамское ш.,4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993;

тел.: 8(499)740-85-96

Кузнецова Елена Олеговна, инженер-математик ОАО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова»,

Волоколамское шоссе, 90, Москва, 125424;

e-mail: alenka_elenka@inbox.ru