

17.057

УДК 629.782:531.391.5

Динамика полета, системы управления ракетно-космической техникой,  
пилотируемые космические полеты**РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ  
ПРИ НАЛИЧИИ НЕНАБЛЮДАЕМЫХ НЕУСТОЙЧИВЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

С.В. Левин

Научный руководитель: д.т.н. В.Г. Динеев

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,

Россия, Московская область, г. Королёв, ул. Пионерская, 4, 141070

E-mail: [levin\\_s\\_v@mail.ru](mailto:levin_s_v@mail.ru)

Одной из важных задач, решаемых системой управления полётом, является обеспечение устойчивости движения, в том числе, в случае наличия структурной неустойчивости колебаний жидкого наполнителя в баках летательного аппарата. Структурная неустойчивость характеризуется наличием в динамической схеме летательного аппарата близких частот колебаний жидкости, налагающих противоположные требования к фазовым характеристикам автомата стабилизации, это проявилось в процессе эксплуатации некоторых ракет-носителей и разгонных блоков [1]. В большинстве случаев структурная неустойчивость приводит к невозможности устойчивого управления полётом с традиционной структурой автомата стабилизации, реализованной, в основном, на пропорционально-интегрально-дифференцирующих регуляторах и обеспечивающей устойчивость движения в рамках твёрдого тела. Конструктивные способы борьбы со структурной неустойчивостью эффективны, но приводят к дополнительным весовым затратам при установке демпферов в виде перегородок и ребер внутри топливных баков [2, 3].

В рамках выполнения работы необходимо было решить задачу разработки способа обеспечения устойчивости движения летательного аппарата со структурной неустойчивостью колебаний жидкого наполнителя средствами системы управления. Было предложено вместо конструктивных способов решения данной задачи использовать введение в автомат стабилизации ряд дополнительных фильтров для фазовой стабилизации структурно неустойчивых колебаний жидкого наполнителя летательного аппарата.

Практическая значимость заключается в том, что разработанный способ обеспечения устойчивости движения в случаях структурной неустойчивости колебаний жидкого наполнителя позволяет ослабить применение конструктивных методов решения данной задачи, которые приводят к весовым затратам при установке демпферов в топливных баках летательного аппарата.

С целью демпфирования структурной неустойчивости для фазовой стабилизации структурно неустойчивых колебаний жидкого наполнителя топливных баков летательного аппарата предлагается использовать резонансные фильтры в сочетании с полосовыми фильтрами, не в ущерб основным требованиям к системе управления.

Для данного случая характерно то, что годограф амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы в окрестности парциальной частоты структурно неустойчивого осциллятора (СНО) располагается на комплексной плоскости таким образом, что происходит охват годографом критической точки  $(1; j0)$ . Такая система с точки зрения критерия Найквиста становится неустойчивой и на практике в подобных случаях в качестве основного средства обеспечения устойчивости используется установка демпферов в соответствующем баке. С целью оценки возможности альтернативного решения этого вопроса средствами алгоритмов системы управления, в данной работе рассмотрен вопрос построения фильтра на основе использования эффекта резонанса между искусственно ведённым в систему управления колебательным контуром и колебаниями СНО. Для обеспечения синфазных с СНО колебаний на вход фильтра подавались сигналы, имитирующие инерционные и позиционные воздействия на СНО согласно математической модели летательного аппарата. Исследования системы управления с резонансным фильтром, подключенным параллельно существующему контуру стабилизации, показали, что выходные сигналы резонансного фильтра, имея

противоположную фазу на частоте СНО, оказывают стабилизирующее воздействие, компенсирующее неустойчивость колебаний СНО. Для оценки робастности системы с резонансным фильтром был проведён анализ факторов, влияющих на устойчивость движения, из которого выяснилось, что максимальное влияние имеют разбросы парциальной частоты СНО. Для усиления робастности системы управления с резонансным фильтром к разбросам частоты СНО была рассмотрена нейронная сеть, реализовавшая алгоритм принятия решения по коррекции частоты резонансного фильтра в соответствии с нелинейной функцией активности по показаниям узкополосного фильтра на основе быстрого преобразования Фурье.

В результате проведённой работы проведена оценка робастности системы путём ввода в математическую модель случайных разбросов физических параметров и проведение статистического моделирования, которое позволяет оценить вероятность обеспечения устойчивости. По полученным результатам проведена оценка функции влияния на величину функционала разбросов физических параметров, по которой определены наиболее критические разбросы физических параметров, что позволило оптимизировать настройки фильтров с учетом наиболее вероятного предельного режима разбросов и сделать практические рекомендации по возможному увеличению доверительной вероятности решения задач устойчивости путём ужесточения требований к отдельным разбросам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович Б.И. Введение в динамику ракет-носителей космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. – 416 с.
2. Бабин А.В., Мыгдарев А.И. Стабилизация структурно неустойчивых объектов ракетно-космической техники с топливными баками на основе алгоритма с эталонной моделью // Космонавтика и ракетостроение. – 2015. – вып. 6(85).
3. Бужинский В.А., Новоселецкий Д.В. О стабилизации движения верхних ступеней ракет при собственной динамической неустойчивости // Космонавтика и ракетостроение. – 2017. – вып. 4(97).