

УДК 533.6.011

В.Т. Калугин, А.Г. Голубев, Е.Г. Столярова, П.А. Чернуха

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ПОДВЕСНОГО
КОНТЕЙНЕРА С ПАССИВНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ
СТАБИЛИЗАЦИЕЙ**

Проведено численное моделирование структур обтекания систем пассивной аэродинамической стабилизации (СПАС), включающей проницаемые жесткие конуса или аэродинамические щитки (стабилизаторы). Основными параметрами моделирования являлись скорость набегающего потока, угол скольжения (при $\alpha=0^\circ$), геометрические характеристики грузов-контейнеров. Проведен подробный анализ структур течения. Определены аэродинамические характеристики (АДХ) конструкции в виде зависимостей коэффициентов продольной силы c_x , поперечной силы c_z и момента рыскания m_y от угла скольжения β при различной геометрии контейнеров и видов СПАС.

Устройства пассивной стабилизации; структуры обтекания; аэродинамические характеристики.

V.T. Kalugin, A.G. Golubev, E.G. Stolyarova, P.A. Chernukha

**NUMERICAL FLOW SIMULATION AROUND THE CONTAINER WITH
PASSIVE AERODYNAMIC STABILIZATION**

Numerical simulation of flow around the container with passive aerodynamic stabilization system (PASS) were carried out. PASS included or aerodynamic shields or perforated cone. The main parameters of the simulation were: free-stream velocity, sideslip angle, geometric parameters of containers. Detailed analysis of the flow structures were carried out. Aerodynamic coefficients of the various stabilization systems were detected and recommendations on their usage were given.

Passive stabilization system; flow structure; aerodynamic property.

Задача повышения скоростных режимов полета вертолетов с переносимыми на внешней подвеске грузами-контейнерами остается актуальной и требует разработки новых и совершенствования существующих устройств стабилизации, позволяющих повысить их устойчивость в полете. Обтекание грузов, перевозимых на внешней подвеске летательных аппаратов (ЛА), сопровождается отрывом потока с образованием нестационарных, периодически повторяющихся срывов вихрей. Такое обтекание вызывает раскачку подвесных элементов (контейнеров) с недопустимыми амплитудами и может приводить к аварийным ситуациям. Известно, что активные методы стабилизации, предполагающие непосредственное участие пилотирующего состава, требуют использования дорогостоящего оборудования, в то время как пассивные методы [1, 2] с применением аэродинамических средств являются более простыми и легкими в эксплуатации.

Ранее авторами был проведен комплекс экспериментальных исследований [3, 4], предусматривавший выбор одной-двух систем стабилизации из большого многообразия возможных конструктивных решений. Критерием выбора служила амплитуда колебаний. В качестве основного варианта была выбрана модель со стабилизатором в виде перфорированного конуса. В качестве второй возможной систем стабилизации были выбраны аэродинамические щитки (стабилизаторы).

Целью настоящих исследований являлся численный расчет АДХ системы «груз-стабилизатор» при изменении углов скольжения β и выбор типа СПАС, устраняющей колебания контейнеров при скоростях полета 0...45 м/с.

Как показали проведенные исследования, работа системы стабилизации во многом определяется геометрическими параметрами груза-контейнера. На рис. 1 и 2 представлены схемы исследуемых СПАС и их основные геометрические параметры. Здесь L , a , b – соответственно длина, высота и ширина груза-контейнера; $h_{шт}$, $b_{шт}$ – высота и ширина щитка; $\delta_{кр}$ – угол отклонения щитка (стабилизатора). Для системы с перфорированным конусом: β_k – угол полураствора конуса; h , l – высота надстройки для крепления конуса и длина крепления. Для характеристики перфорации вводится параметр \bar{S} – степень перфорации, $\bar{S} = \frac{\Sigma S_{отв}}{S_k}$, где $\Sigma S_{отв}$ – суммарная площадь всех отверстий перфорации, S_k – площадь поверхности конуса.

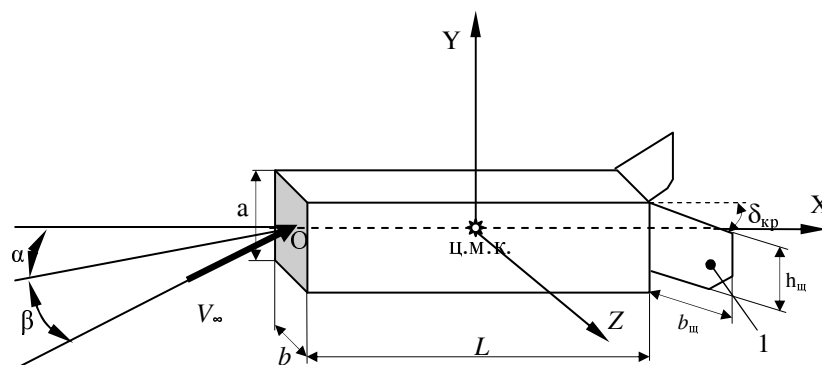


Рис. 1. Схема СПАС со стабилизирующими щитками

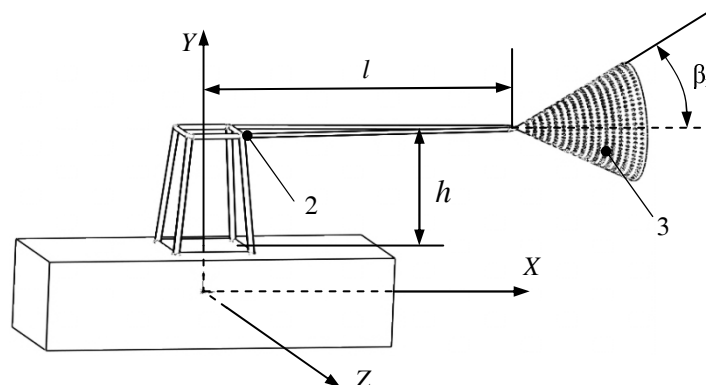


Рис. 2. Схема СПАС с перфорированным конусом: 1 – щитки; 2 – надстройка для крепления конуса; 3 – перфорированный конус

Расчёт грузов-контейнеров со СПАС проводился в коммерческом пакете *Fluent* (лицензия № LA 18-03-03) с использованием *DES* модели турбулентности. Комбинированная расчётная сетка сочетала тетраэдры во внешнем потоке и элементы в форме усечённых пирамид в области пограничного слоя. Граница расчётной области представляла собой параболоид вращения. В зависимости от геометрии модели количество тетраэдров составляло от 2 до 4 млн.

Структуры, соответствующие обтеканию контейнеров с длиной 0,5L, 0,75L, 1 и различными системами стабилизации, представлены на рис. 3.

При обтекании контейнеров малой длины без СПАС отрывная зона охватывает всю поверхность (рис. 3,а). В этом случае щитки находятся практически полностью в области отрывного возмущённого течения (рис.3,в) и повышают неустойчивость системы. Для стабилизации таких контейнеров рекомендуется использовать перфорированный конус, вынесенный за пределы области возмущенного потока (рис. 3,д).

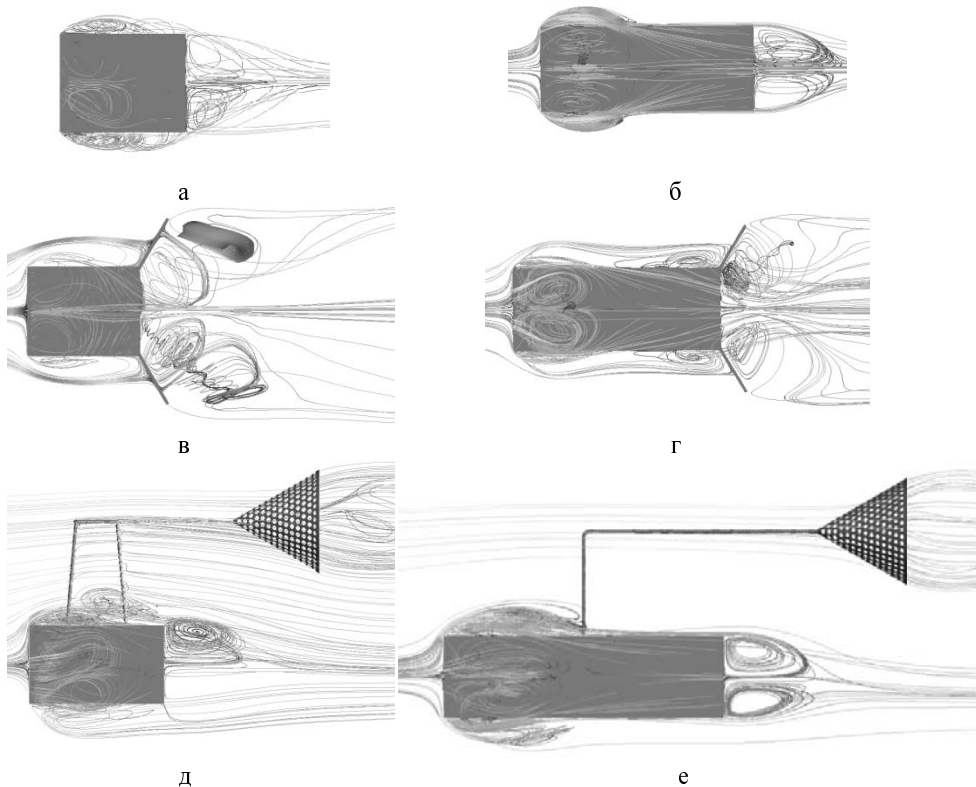


Рис. 3. Линии тока вокруг контейнеров различного удлинения при наличии стабилизирующих устройств и без них ($V_{\infty}=25$ м/с; $\alpha = 0^{\circ}$; $\beta = 0^{\circ}$):
а, в, д: 0,5L; б, г, е: 1,0L

Следует отметить, что система стабилизации с перфорированным конусом может быть применима также для грузов произвольной геометрической формы, перевозимых на внешней подвеске вертолѐта. С увеличением длины контейнера при неизменном поперечном сечении, поток присоединяется на поверхности груза (рис. 3,б), и в этом случае перед аэродинамическими щитками формируется локальная область отрыва, не оказывающая существенного влияния на устойчивость системы. Для контейнеров с промежуточной длиной **0,75L** наблюдаются пульсации области отрыва.

Были получены зависимости аэродинамических коэффициентов продольной силы c_x , поперечной силы c_z и момента рыскания m_y от угла скольжения β для трех различных длин. Две последние зависимости представлены на рис. 4.

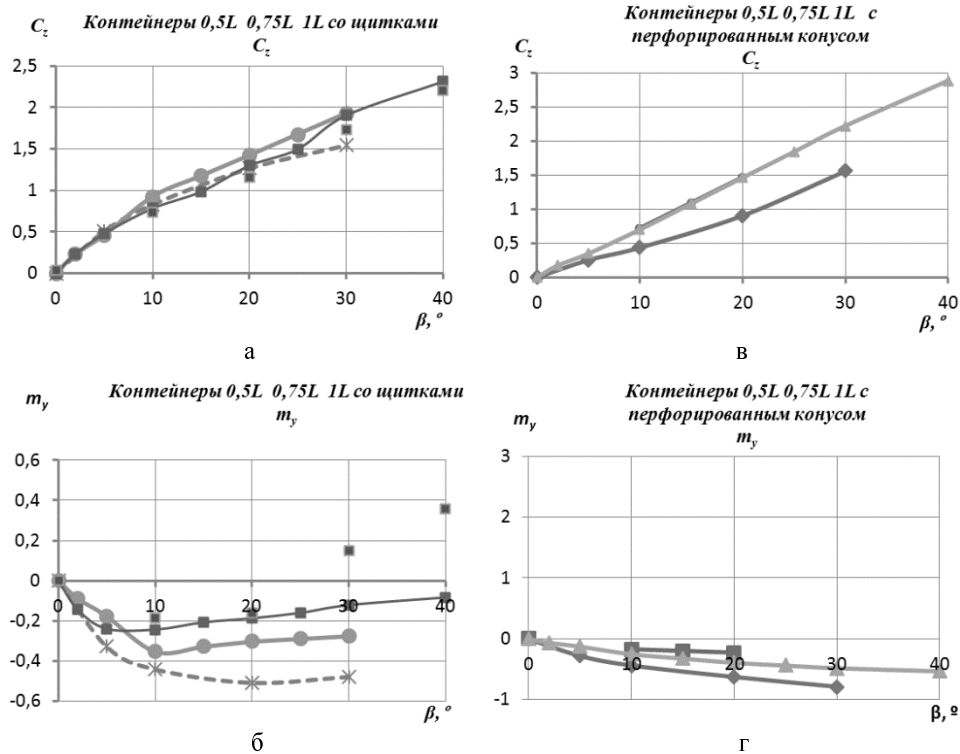


Рис. 4. АДХ контейнеров различного удлинения при наличии стабилизирующих устройств и без них ($V_x=25$ м/с, $\alpha = 0^\circ$):

а, б: —*—*—*— 0,5L —●—●—●— 0,75L —■—■—■— 1,0L ■ — 1,0L эксперимент
 в, г: —◆—◆—◆— 0,5L с длиной $l=0,2$ м —▲—▲—▲— 1,0L с $l=0,2$ м —■—■—■— 1,0L $l=0,1$ м

Коэффициенты поперечной силы и момента рыскания контейнеров со щитками в зависимости от угла β практически одинаковы для всех исследованных удлинений. При $\beta > 10^\circ$ наибольшим моментом обладает контейнер с 0,5L. Что касается сопротивления для СПАС с аэродинамическими щитками в диапазоне малых углов β , то наибольшим обладают контейнеры малого удлинения 0,5L, что связано с воздействием на щиток повышенного динамического давления, обусловленного формированием отрывного течения в носовой части.

Для системы с перфорированным конусом были проведены параметрические исследования влияния длины плеча надстройки l на характер обтекания и АДХ груза. Зависимость коэффициента поперечной силы носит линейный характер и определяется метоположением конуса относительно точки подвеса. Стабилизирующий момент рыскания возрастает с увеличением угла β , при этом, чем меньше удлинение, тем больше m_y . Расчеты показали также, что в данном случае коэффициент c_x слабо зависит от удлинения контейнера.

Выводы:

1. Проведена оценка возможности управления АДХ грузов с помощью СПАС, включающей аэродинамические щитки и жесткие перфорированные конуса. Выбор той или иной системы стабилизации определяется геометрическими параметрами груза-контейнера.

2. СПАС с аэродинамическими щитками подходит для стабилизации грузов с большим удлинением. СПАС с перфорированным конусом является наиболее универсальной и может быть настроена для всех исследованных видов грузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Паршенцев С.А.* Научные основы и практические методы проведения экстренных авиационных работ с применением внешней подвески вертолетов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.14. – М., 2010.
2. *Калугин В.Т., Киндяков Е. Б., Столярова Е.Г.* Обтекание и стабилизация контейнерных устройств на внешней подвеске летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА № 111. Сер. «Аэромеханика и прочность». – М.: МГТУ ГА, 2007. – С. 105-109.
3. *Киндяков Е.Б., Луценко А.Ю., Столярова Е.Г.* Исследование аэродинамических характеристик контейнера на внешней подвеске с системой стабилизации типа «поворотный щиток» // Научный вестник МГТУ ГА. № 125. Сер. «Аэромеханика и прочность». – М.: МГТУ ГА, 2008. – С. 98-102.
4. *Калугин В.Т., Киндяков Е. Б., Чернуха П.А.* Особенности обтекания перфорированных устройств системы стабилизации грузов на внешней подвеске летательных аппаратов // Научный вестник МГТУ ГА. № 151. Сер. «Аэромеханика и прочность». – М.: МГТУ ГА, 2010. – С. 23-27.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. А.Ю. Луценко.

Калугин Владимир Тимофеевич – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; e-mail: kaluginvt@mail.ru, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1; тел.: 84992636385; факультет СМ; д.т.н.; профессор; декан.

Голубев Алексей Геннадьевич – e-mail: alexeygg@mail.ru; факультет СМ; кафедра динамики полета и управления движением ракет и космических аппаратов; старший преподаватель.

Столярова Елена Глебовна – e-mail: egstolyarova@mail.ru, факультет СМ; кафедра динамики полета и управления движением ракет и космических аппаратов; к.н.т.; доцент.

Чернуха Полина Алексеевна – e-mail: polina_ch@mail.ru, факультет СМ; кафедра динамики полета и управления движением ракет и космических аппаратов; к.н.т.; доцент.

Kalugin Vladimir Timoveeffich – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: kaluginvt@mail.ru; 5, 2 Baumanskaya street, Moscow, 107005; phone: +74992636385; faculty of special machinery; dr. of eng. sc.; professor; dean.

Golubev Alexej Genad'evich – e-mail: alexeygg@mail.ru, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia; phone: +74992636385; faculty of special machinery; the department of flight dynamics and motion control of missiles and space vehicles; senior lecturer.

Stolyarova Elena Glebovna – e-mail: egstolyarova@mail.ru, faculty of special machinery; the department of flight dynamics and motion control of missiles and space vehicles; cand. of eng. sc.; associate professor.

Chernukha Polina Alexeevna – e-mail: polina_ch@mail.ru, faculty of special machinery; the department of flight dynamics and motion control of missiles and space vehicles; cand. of eng. sc.; associate professor.