

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Самарский государственный
аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева
(национальный исследовательский университет)» (СГАУ)**

**Государственный научно-производственный ракетно-космический центр
«ЦСКБ – Прогресс»**

Самарский научный центр Российской академии наук

**Поволжское региональное отделение Российской академии космонавтики
имени К. Э. Циолковского**

Самарское отделение Академии навигации и управления движением

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ И НАВИГАЦИЯ

ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Сборник трудов
XVI Всероссийского семинара
по управлению движением и навигации
летательных аппаратов
(Самара, 18-20 июня 2013 г.)**

Часть I

Самара 2013

Управление движением и навигация летательных аппаратов: Сборник трудов XVI Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов: Часть I. Самара, 18-20 июня 2013 г. – Самара, Изд-во СНЦ РАН, 2013. 246 с.

В сборник научных трудов включены материалы XVI Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов, прошедшего 18-20 июня 2013 года в г. Самара.

Организаторами семинара являлись Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс», Самарский научный центр Российской академии наук, Поволжское региональное отделение Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского, Самарское отделение Академии навигации и управления движением.

Семинар проведен при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 13-08-06039-г).

Научный редактор сборника:

заместитель председателя СНЦ РАН, профессор, д.т.н. Лазарев Ю.Н.

Ответственные за выпуск сборника:

профессор кафедры космического машиностроения, д.т.н. Балакин В.Л.

доцент кафедры космического машиностроения, к.т.н. Кочян А.Г.

ISBN 978-5-93424-673-1

© Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С. П. Королева
(национальный исследовательский университет)

Шквар Е.А., Саченко М.А., Зинченко Д.Н., Козлова Т.В.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ОБТЕКАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗГИБАЮЩЕЙСЯ ПЛАСТИНЫ

Существует широкий круг задач аэродинамики, в которых имеет место аэроупругое взаимодействие между телом и обтекающим его потоком. Одной из таких задач является движение пароплана, жесткость поверхности которого достигается в результате наддува. Таким образом, на определенных режимах обтекания возможно возникновение автоколебательных режимов купола. Задача моделирования течения, индуцированного колебаниями упругой пластины, актуальна для аэродинамики и представляет собой математическое описание условий, подобных тем, при которых возникает панельный флаттер.

В настоящее время расчеты сложных турбулентных потоков в условиях реальных режимов обтекания и геометрии выполняются, как правило, с использованием полуэмпирических моделей турбулентности, которые предназначены для замыкания осредненных по Рейнольдсу исходных уравнений (RANS). Особенно широко распространены дифференциальные модели $k-\varepsilon$ и $k-\omega$, которые реализованы в большинстве коммерческих CFD (Computational Fluid Dynamics) пакетов, ориентированных на решение задач аэрогидродинамической направленности [1].

В данной работе рассматривается модельная задача обтекания гибкой прямоугольной пластины размерами $1 \times 1 \times 0.1$ м, которая выполняет изгибные колебания в потоке несжимаемой жидкости (рис. 1). Расчеты выполнены в программном комплексе ANSYS. Для выполнения расчетов использовался программный модуль CFX, являющийся одной из составляющих этого пакета.

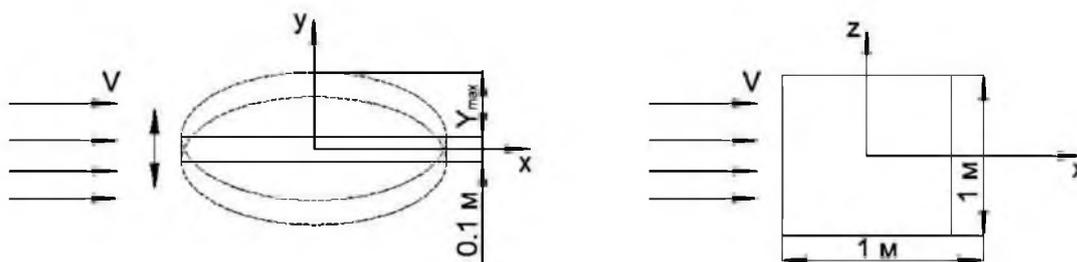


Рис. 1. Схематизация задачи

В проведенных расчетах использована наиболее совершенная из двухпараметрических дифференциальных моделей турбулентности – SST (Shear Stress Transport), разработанная Ф.Ментером. Деформация поперечного сечения пластины задавалась на данном этапе исследования следующим периодическим законом в вертикальной плоскости:

$$y = 0.2(1 - (1 - 2x)^2) \sin(\omega t),$$

где $\bar{x} = \frac{x}{L}$, $\bar{y} = \frac{y}{L}$ – продольная и нормальная координаты, обезразмеренные по длине пластины L ; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – угловая частота деформаций с периодом T ; t – временная переменная.

Период изгибных деформаций пластины задавался равным $T=0.5$ с.

В расчетах использовалась неструктурированная сетка, состоящая из 408864 ячеек и имеющая сгущение по мере приближения к обтекаемому телу (рис. 2).

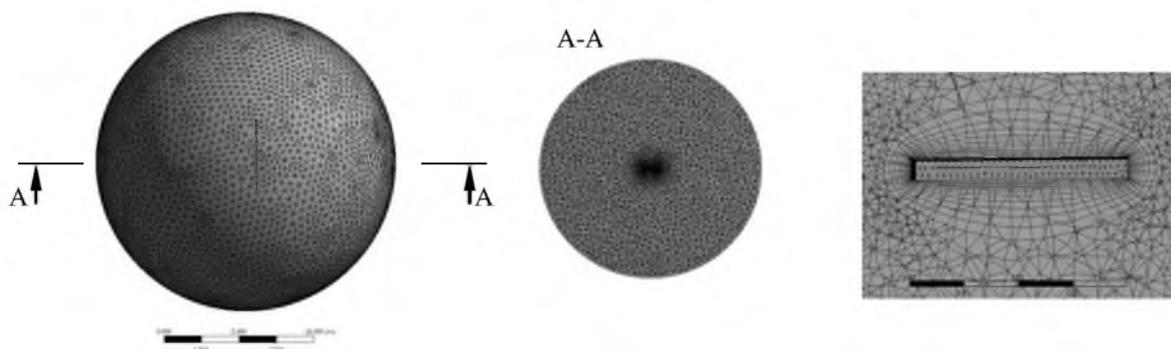


Рис. 2. Расчетная сетка

Учитывая геометрию обтекаемой пластины, задача решалась в полной трехмерной постановке (без наложения условия симметрии на срединной плоскости $z=0$). Расчетная область представляла собой сферу радиусом 10 м. На границах области задавался равномерный поток со скоростью по продольной оси x : $U_x=10$ м/с. Сначала решалась стационарная задача и после достижения заданной точности ее результаты использовались как начальные условия для решения динамической задачи, в которой формировались периодические изгибные колебания пластины и рассчитывалось инициированное ими течение. Шаг по времени составлял 0.005 с, расчет длился на протяжении 4-х полных периодов, то есть 2 с.

Характер и свойства вихрегенерации в следе, индуцированном заданным видом деформации пластины, иллюстрируется рис. 3, на котором показаны мгновенные поверхности Q-критерия, который выявляет в потоке вихревые структуры (области, где вращение жидкости преобладает над сдвигом) [2]. Среди особенностей течения можно отметить достаточно большой угол раскрытия струи (до 60°), а также высокую степень хаотичности и наличие большого количества вихрей, имеющих сложную пространственную структуру, наследующую, тем не менее, периодичность изгибных деформаций пластины.

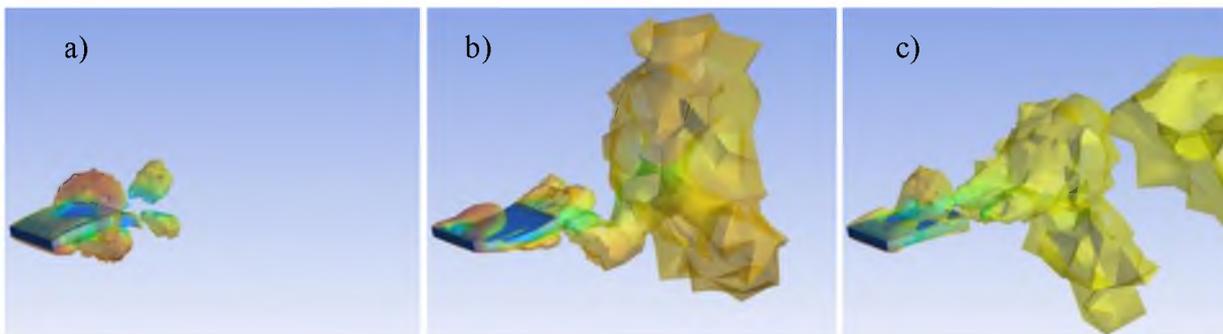


Рис. 3. Мгновенные поверхности области вихреобразования в следе в моменты времени: а) $t=0.1$ с; б) $t=0.4$ с; в) $t=1$ с

Графические иллюстрации полей осредненной скорости в продольных сечениях (плоскостях симметрии) течения представлены на рис. 4.

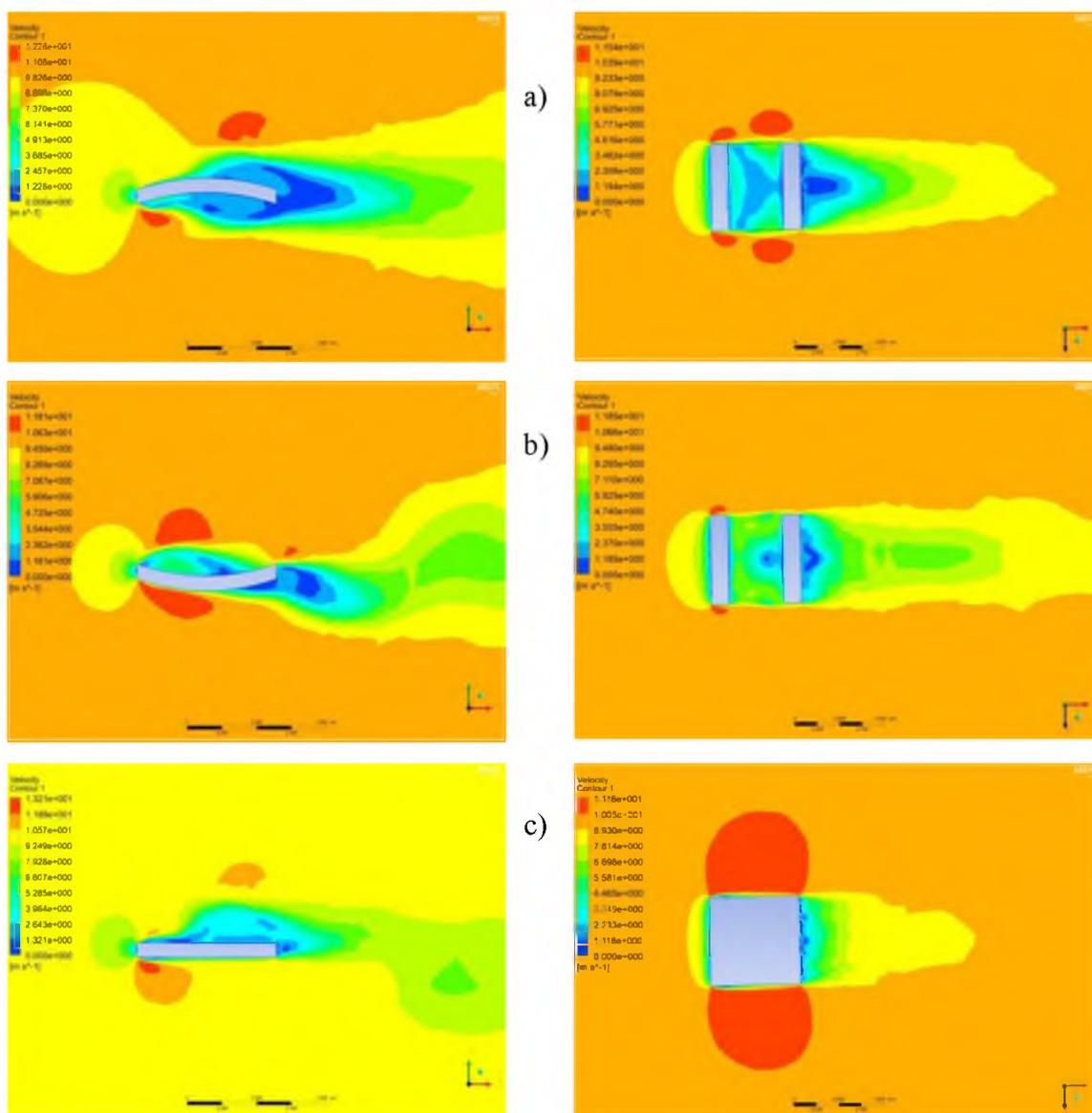


Рис. 4. Распределение осредненной скорости в сечениях $z=0$ (слева) и $y=0$ (справа) в моменты времени: а) $t=0.1$ с; б) $t=0.4$ с; в) $t=1$ с

Выводы

1. Смоделировано сложное турбулентное течение, которое инициировано заданным видом периодических изгибных деформаций упругой пластины конечной ширины. Изучена структура течения в следе за пластиной, получены мгновенные поля скоростей, давления и завихренности.

2. Показано, что даже незначительный по максимальной амплитуде периодический изгиб пластины искажает в потоке вихревую динамику области следа, придавая ей сложную структуру, также характеризующуюся периодичностью.

3. В результате проведенных расчетов установлено, что линейные масштабы вихревых структур за деформируемой пластиной намного превышают как амплитуды деформаций, так и размеры самой пластины.

4. Продемонстрировано, что для моделирования подобных течений можно с успехом использовать подходы типа RANS, по крайней мере, для случаев периодических деформаций с частотами, значительно меньшими частот, характерных для вихреобразования, порождаемого возмущенным турбулентным движением. Но для повышения универсальности расчетных процедур и обеспечения большей разрешающей способности результатов расчета авторы считают более перспективным применение метода моделирования больших вихрей (LES – Large Eddy Simulation). Учитывая ограниченность известных результатов и опыта использования подобных вихре-разрешающих формулировок к расчету обтекания тел, испытывающих колебательные деформации, можно подытожить, что дальнейшие исследования в данном направлении являются актуальными, на что будут направлены дальнейшие усилия авторов.

Библиографический список

1. Isaev S.A. Mathematical modeling of turbulent vortical flows – the fundamental direction of modern fluid dynamics: different approaches, problems, outcomes and perspectives / S.A. Isaev, G.A. Voropaiev, V.T. Movchan., E.O. Shkvar // Aviation in the XXI-st Century. Safety in Aviation and Space Technologies: the Fifth World Aviation Congress, 25-27 September 2012: Proceedings. – К., 2012. – V.1. – С. 1.12.14–1.12.18.
2. Шквар Е.А. Математическое моделирование управления вихревой структурой пристенных течений / Е. А. Шквар, В. В. Кравченко, С. А. Шевченко, Д. Н. Зинченко, В. В. Зилинка, М. А. Саченко // Материалы Международной НПК «Математика в современном техническом университете», 19–20 апреля 2013, Киев. – С. 201-204. (на украинском).