

Задача о двух вихрях вблизи твёрдой поверхности

Д.А. Гаджиев^{1,2}, А.М. Гайфуллин^{1,2}

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского.

Работа является фундаментальным исследованием в области вихревой гидродинамики.

Рассмотрена двумерная нестационарная задача о двух, первоначально точечных, ламинарных вихрях с противоположными значениями циркуляции в вязкой (при больших числах Рейнольдса) несжимаемой жидкости вблизи бесконечной прямолинейной твёрдой поверхности. Решение такой задачи позволяет понять, во-первых, физику взаимодействия вихревых течений с твёрдыми поверхностями, а, во-вторых, механизмы разрушения реального вихревого следа за самолётом с крылом большого удлинения при полёте на малой высоте над Землёй.

Течение должно удовлетворять уравнениям Навье-Стокса с условиями прилипания на твёрдой поверхности, отсутствия особенностей во всём поле течения и затухания на бесконечности.

На малых временах влияние вязкости локализовано вблизи центров вихрей и твёрдой поверхности. Из-за малых размеров вязких областей численное решение уравнений Навье-Стокса невозможно, поэтому течение определяется решением уравнений пограничного слоя в вязких областях, а также уравнения перемещения вихря. Решение показывает, что пограничный слой отрывается от поверхности. Поле скоростей, полученное в некоторый предотрывный момент, используется в качестве начального условия для дальнейшего численного решения уравнений Навье-Стокса, которое производится совместно с решением уравнений пограничного слоя около дальней части поверхности, не вошедшей в расчётную область.

Решение показывает, что вихри наматывают оторванный пограничный слой на себя (рис. 1). Взаимодействие с противоположно завихренным слоем замедляет перемещение вихрей, поднимает их вверх (рис. 2) и ускоряет затухание (рис. 3). Проведено исследование зависимости решения задачи от двух параметров: числа Рейнольдса и отношения высоты вихрей над поверхностью к расстоянию между ними в начальный момент времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Проект № 16-01-00128).

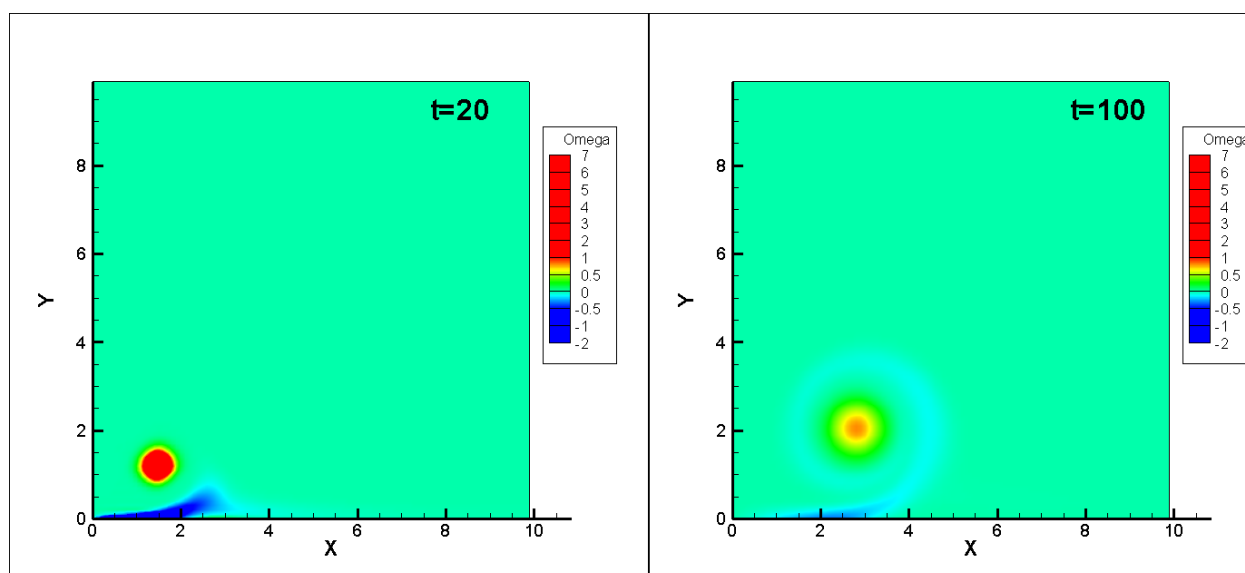


Рис. 1. Поле завихренности в правой полуплоскости при $t = 20$ и $t = 100$

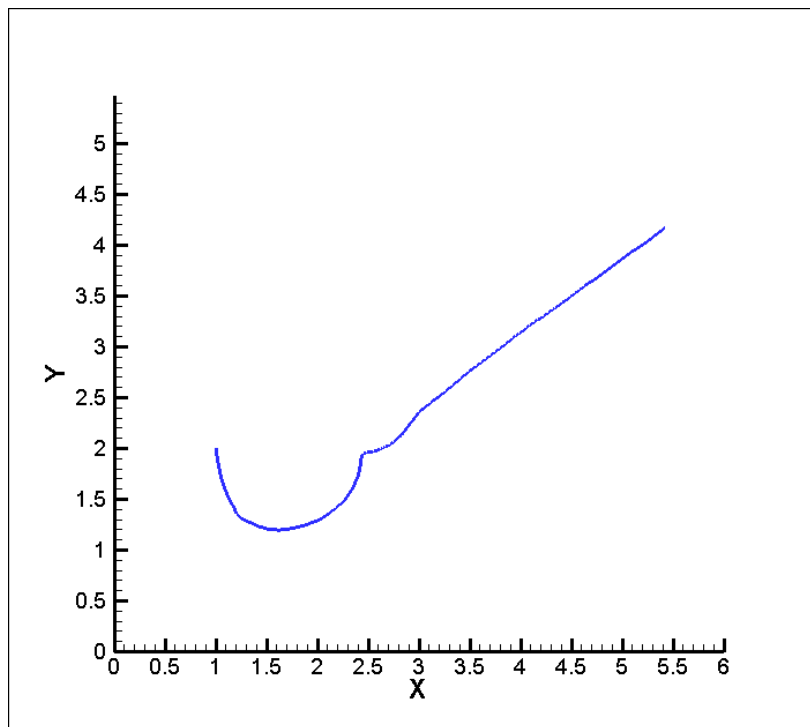


Рис. 2. Траектория движения центра правого вихря

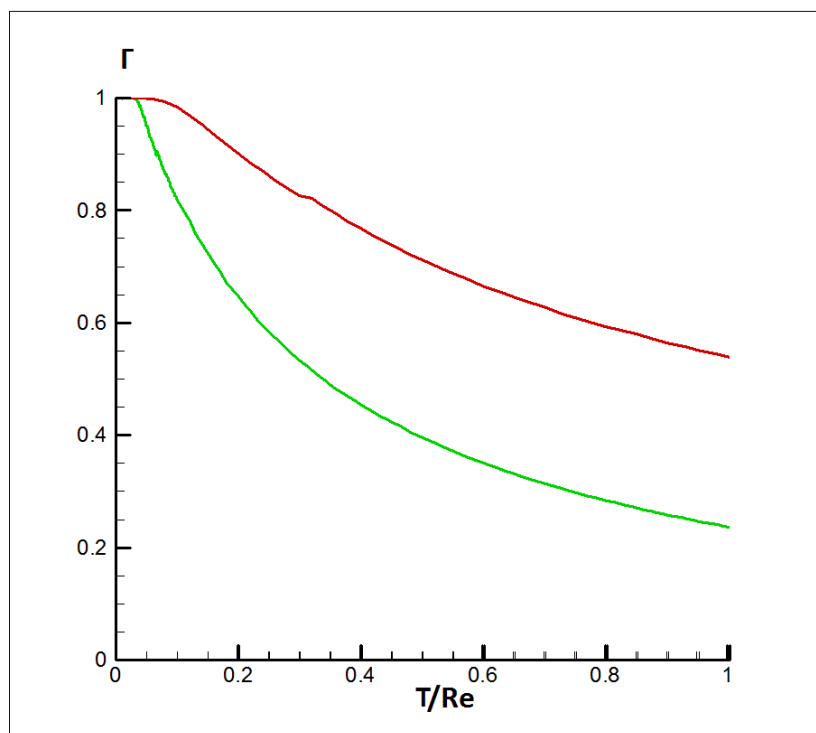


Рис. 3. Уменьшение со временем циркуляции вихрей. Нижняя кривая – случай двух вихрей вблизи поверхности. Верхняя – два вихря в безграничной жидкости (решение взято из [1]).

Литература

1. Гайфуллин А.М., Зубцов А.В, Диффузия двух вихрей. // Изв. РАН. МЖГ. 2004. №1. С. 126 - 142.