

Библиографический список

1. Анимица В. А., Леонтьев В. А. О "самопроизвольном" вращении одновинтовых вертолётов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2011. – №. 172. – С. 96-102.
2. Анимица В. А., Крымский В. С., Леонтьев В. А. Расчётные исследования характеристик рулевых винтов с различными значениями заполнения на режиме висения при вращении вертолётa // Труды МАИ. – 2017. – №. 92.
3. Игнаткин Ю. М., Макеев П. В., Шомов А. И., Ивчин В. А. Расчётные исследования аэродинамических характеристик рулевого винта одновинтового вертолётa с учётом индуктивного воздействия вихревого следа несущего винта на режимах висения при боковом ветре // Научный вестник МГТУ ГА. 2016. №6.
4. Онушкин Ю. П., Сизов Д. А. Математическая модель движения вертолётa при выполнении манёвра «Воронка» // Управление движением и навигация летательных аппаратов. – 2020. – С. 152-157.

УДК 533.6.013.12

Фролов В.А., Ле Ван Ха

ВЛИЯНИЕ ПЛОСКИХ ПЛАСТИН, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ СИММЕТРИИ ЦИЛИНДРА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ «ЦИЛИНДР–ПЛАСТИНЫ» ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ

Снижение сопротивления цилиндрических тел актуально в разных областях современной науки и техники, например, у надземных висячих проводов, кабелей, антенных сооружений, газовых и нефтяных труб, башен, опор мостов и особенно стоек ветроэнергетических установок. В работе [1] была рассмотрена задача снижения коэффициента лобового сопротивления системы цилиндр-пластины, где плоские пластины были расположены впереди цилиндра. Результат показывает, что можно достичь снижения коэффициента лобового сопротивления на 30% по сравнению с коэффициентом лобового сопротивления изолированного цилиндра. В настоящей работе исследуется лобовое сопротивление системы цилиндр-пластина при расположении пластины в горизонтальной плоскости симметрии цилиндра при его поперечном обтекании (рис. 1).

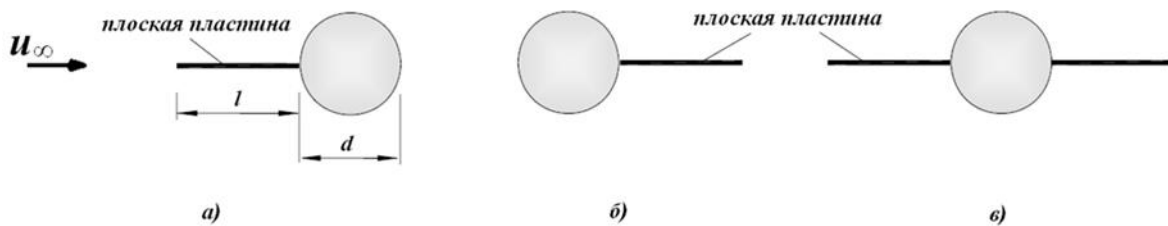


Рис. 1. Схема обтекания цилиндра с пластинами:

- а) пластина расположена впереди цилиндра; б) пластина расположена сзади цилиндра;
 в) пластины расположены спереди и сзади цилиндра

В статье рассмотрены две постановки задачи: в двумерном и трёхмерном случаях. Моделирование выполнено в вычислительном пакете ANSYS Fluent при числе Рейнольдса $Re=10^5$ в обоих случаях. Рассмотрим сначала двумерное течение вокруг изолированного цилиндра в поперечной плоскости. Принимались следующие геометрические и кинематические параметры цилиндра и течения: диаметр цилиндра $D=0,0625$ м, скорость потока $V=24$ м/с, термодинамические параметры воздуха соответствовали температуре $T=293$ К.

Расчёты проводились для размера расчётной области с изолированным цилиндром: $10D$ – впереди цилиндра; $15D$ – сзади цилиндра; $5D$ – сверху и снизу цилиндра. Гибридная сетка в соответствии со значением числа Рейнольдса $Re=10^5$ построена с размером первой (ближайшей к поверхности цилиндра) ячейки $0,1$ мм ($y^+=10$). Типы граничных условий задавались: на входе *velocity_inlet*, а на выходе – *pressure_outlet*. Максимальное количество итераций равнялось 1000 итераций. Использовалась модель турбулентности $k-\omega$ SST. Результат моделирования в некоторый момент времени показан на рис.2.

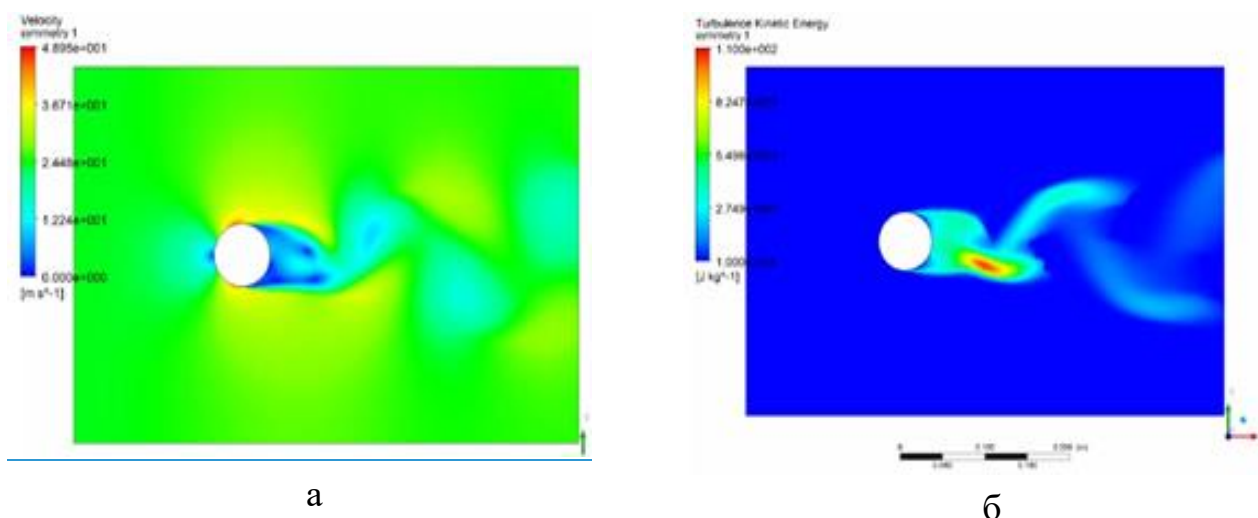


Рис. 2. Поле скорости (а) и кинетической энергии турбулентности (б) изолированного цилиндра

Коэффициент лобового сопротивления C_{xa} определялся следующим образом:

$$C_{xa} = \frac{X_a}{0,5\rho V_\infty^2 S}, \quad (1)$$

где X_a – сила лобового сопротивления; S – характерная площадь, для 2D-случая $S=D \cdot 1, m^2$. Полученный результат коэффициента сопротивления, осреднённый по заданному периоду времени для последней итерации $C_{xa}=1,2$, хорошо совпадает с известными данными [2].

Для 3D-случая удлинение цилиндра λ равно $\lambda = \frac{L}{D}$, где L – длина цилиндра.

С целью уменьшения количества ячеек, что приводит к сокращению количества вычислений и времени, размер расчётной области изменялся в зависимости от длины пластины, а размер первой ячейки оставался постоянным и равным 1 мм, остальные параметры сохранялись как для 2D-случая.

Коэффициент сопротивления трёхмерного цилиндра обозначим как $C_{xa\lambda}$, который вычисляется по формуле (1), но характерная площадь S равна $S=L \cdot D$. Отношение $\frac{C_{xa\lambda}}{C_{xa}}$, где C_{xa} – коэффициент сопротивления цилиндра при поперечном обтекании или цилиндра бесконечно большого удлинения, есть некоторая функция от удлинения

$$\frac{C_{xa\lambda}}{C_{xa}} = f(1/\lambda). \quad (2)$$

Зная удлинение и коэффициент сопротивления цилиндра при поперечном обтекании, по формуле (2) можно определить коэффициента сопротивления трёхмерного цилиндра по формуле (2). Сравнение расчётной зависимости (3) и экспериментальной, приведённой в книге Девнина [3] представлено на рис. 3.

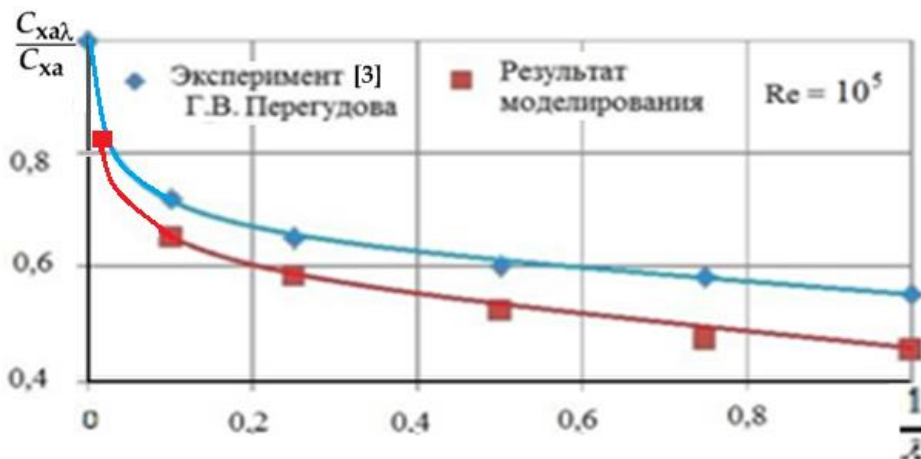


Рис. 3. Сравнение отношения (2) с экспериментом

Рассмотрим двумерный случай цилиндра с пластинами. К цилиндру крепятся пластины разной длины с постоянной толщиной 2 мм. Исследовалась безразмерная длина пластин $\bar{l} = l/D$ (где l – длина пластины). Исследовался диапазон этого параметра 0,1-10. Для случая установки пластины за цилиндром результаты расчёта коэффициента лобового сопротивления системы цилиндр-пластина в за-

зависимости от относительной длины пластины представлены на рис. 4, где показаны для сравнения экспериментальные данные [5] для изолированного цилиндра.

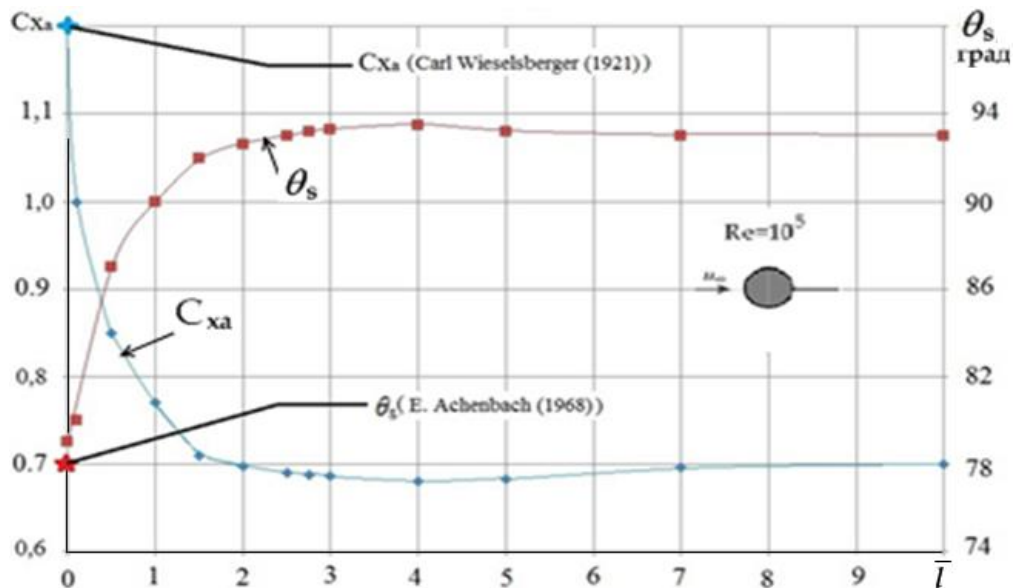


Рис. 4. Зависимости коэффициента лобового сопротивления и меридионального угла точки отрыва от относительной длины пластины

Результаты расчётов указывают, что для случая $Re=10^5$ коэффициент сопротивления комбинации цилиндра с пластиной с относительной длиной равной 4,0 и расположенной сзади цилиндра на 43% меньше по сравнению с изолированным цилиндром. Для случая установки пластины впереди цилиндра результат моделирования показывает, что коэффициент лобового сопротивления не зависит от длины пластин и примерно равен величине коэффициента для изолированного цилиндра. Результаты расчёта коэффициента сопротивления для случаев размещения пластин перед цилиндром, сзади цилиндра и одновременного расположения двух пластин спереди и сзади цилиндра представлены в таблице.

Таблица. Коэффициент сопротивления для комбинаций цилиндр-пластина

Относительная длина пластины \bar{l}	1 пластина перед цилиндром	1 пластина за цилиндром	2 пластины
$\bar{l} = 0,5$	1,2	0,85	0,83
$\bar{l} = 1$	1,2	0,77	0,71
$\bar{l} = 2$	1,2	0,69	0,71

Итак, во всех случаях коэффициент лобового сопротивления зависит только от длины задней пластины. Минимальное снижение лобового сопротивления отмечается для случая пластины с относительной длиной равной 4,0 и расположенной сзади цилиндра.

Библиографический список

1. Frolov, V.A., Kozlova, A.S. Influence of Flat Plate in Front of Circular Cylinder on Drag /V.A. Frolov, A.S. Kozlova //AIP Conference Proceeding, U.S.A (2027). – 2018. – 030088. DOI: <http://doi.org/10.1063/1.5065182>.
2. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя /Г. Шлихтинг. – Москва: Наука, 1974. – 712 с.
3. Девнин, С.И. Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций: справочник. – Л.: Судостроение, 1983. – 320 с.
4. Wieselsberger, C., Neuere Feststellungen über die Gesetze des Flüssigkeits und Luftwiderstands”, Phys. Z. 22, 321–328 (1921).
5. Achenbach, E. Distribution of local pressure and skin friction around a circular cylinder in cross-flow up to $Re=5 \times 10^6$. Journal of Fluid Mechanics, 34 (4). 625-639 (1968).

УДК 533.69

Ципенко В.Г, Сагайдак М.В., Шевяков В.И.

ОБ УЛУЧШЕНИИ АЭРОДИНАМИКИ САМОЛЁТОВ ПРИ ПОМОЩИ ВИХРЕГЕНЕРАТОРОВ

Ухудшение аэродинамических характеристик (АДХ) самолётов происходит, в первую очередь, из-за отрывов потока на его поверхности. Причина отрывных явлений на хорошо обтекаемых поверхностях - увеличение угла атаки или возрастание скорости полёта. Устранение отрывных явлений или их затягивание по углу атаки или скорости позволит улучшить АДХ самолёта, а значит и его конкурентоспособность.

Один из способов затянуть появление отрывов – организация устойчивых вихревых образований в предполагаемых зонах отрывов при помощи специальных устройств – вихрегенераторов (ВГ). В авиации применяют различные типы ВГ. Наиболее распространены ВГ простой формы в плане в виде треугольника с малым удлинением или трапеции, иногда вихрегенераторы объединяют в пары (рис. 1).

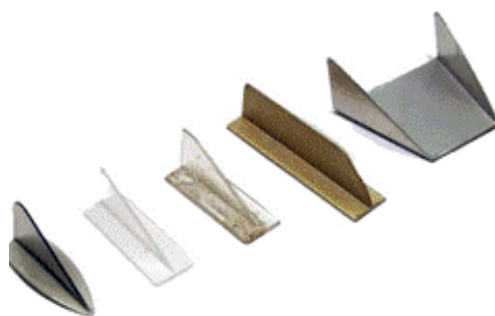


Рис. 1. Различные виды вихрегенераторов