

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ ОКОЛО ИЗОЛИРОВАННОГО ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ И ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ С КРЫЛОМ И РЕБРАМИ ПРИ ЧИСЛЕ МАХА, РАВНОМ ДВУМ

В. И. АЛФЕРОВ, Т. И. ОКЕРБЛОМ, А. И. САРАНЦЕВ

(Москва)

При обтекании тел со срывом потока характерно образование вихревых жгутов. Поток в ядре вихря отличается низким давлением и высокими осевыми скоростями. Вихревые жгуты вызывают существенную нелинейность аэродинамических характеристик и большие дополнительные аксиальные и окружные скорости потока.

Эта неоднородность течения в зонах вихрей приводит к сильной интерференции между различными частями летательного аппарата. С существованием вихрей связано также образование зон с повышенными температурами на поверхности летательного аппарата, а разрушение (взрыв) вихря, если оно происходит над поверхностью тела, приводит к уменьшению подъемной силы и изменению моментов.

При проектировании летательных аппаратов очень важно знать траектории вихревых жгутов, чтобы избежать вредной интерференции, а также попадания вихрей в воздухозаборник, на оперение и другие части летательного аппарата.

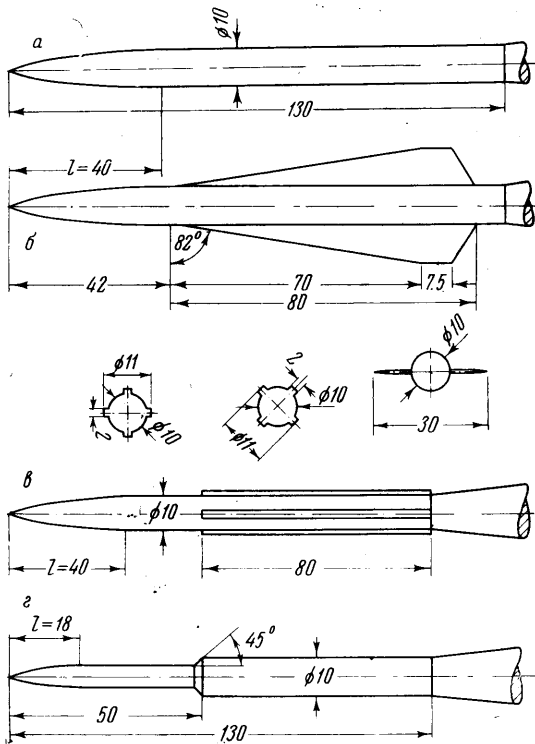
Метод высоковольтного разряда позволяет получить пространственную картину течения с образовавшимися вихрями.

В работе даны картины течения около гладкого тела вращения, тела вращения с крылом малого удлинения или с ребрами и двухступенчатого тела вращения. Показано взаимодействие вихрей, сходящих с тела, с вихрями, образующимися на крыле или ребрах.

1. Исследования проводились в незамкнутой аэродинамической трубе закрытого типа с размером рабочей части 150×150 мм при числе $M = 2$ и числе Рейнольдса $R \approx 1 \times 10^6$.

Для визуализации траекторий вихревых жгутов был применен метод высоковольтного разряда, описанный подробно в [1]. Методика данного исследования была такой же, как в работе [1].

При наличии нескольких пар вихревых жгутов на модели, одно положение электрода не позволило обнаружить сразу все вихри. Для обнаружения всех пар вихрей подвижный электрод (анод) поворачивался последовательно в несколько положений так, чтобы просмотреть всю подозреваемую область.



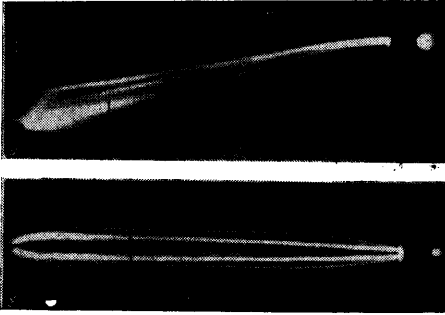
Фиг. 1. Схемы моделей: а — гладкое тело вращения; б — тело вращения с крылом; в — тело вращения с ребрами в схеме + и в схеме X; г — двухступенчатое тело вращения

Метод высоковольтного разряда позволяет наблюдать вихревой жгут в тех случаях, когда он близко подходит к поверхности и даже находится на поверхности и измерения насадком становятся невозможными [2].

Испытывались модели гладкого тела вращения, тела вращения с ребрами, расположенными по схеме X и схеме +, тела вращения с крылом, плоскость которого совпадает с осью тела, и модель двухступенчатого тела вращения. Схемы моделей представлены на фиг. 1.

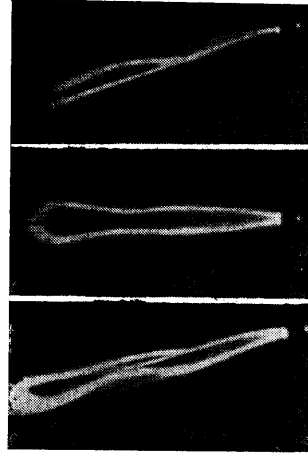
2. На фиг. 2—6 представлены снимки вихревых неоднородностей, полученные методом высоковольтного разряда для исследованных моделей. Из рассмотрения их следует, что при обтекании гладкого тела вращения при достаточно больших углах атаки образуются три пары вихрей (фиг. 2) (схема вихреобразования приведена при $x = 7d$ на фиг. 7, б).

Самая мощная — основная пара вихрей *1* отходит от поверхности, две другие пары — поверхностные вихри. Одна из поверхностных пар *2* находится под основными вихрями и связана с существованием основной пары вихрей. Она образуется в результате отрыва пограничного слоя в области неблагоприятного градиента давления, создаваемого основной вихревой парой. Для иллю-



Фиг. 2

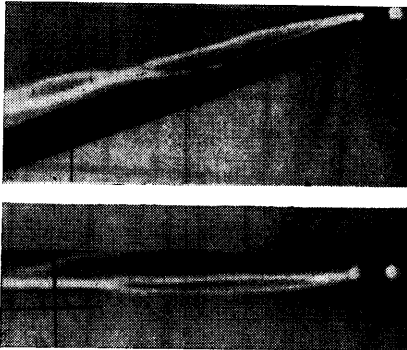
Фиг. 2. Визуализация вихревой системы гладкого тела вращения: *a* — $\alpha = 15^\circ$, $\gamma = 0^\circ$; *b* — $\alpha = 20^\circ$, $\gamma = 90^\circ$



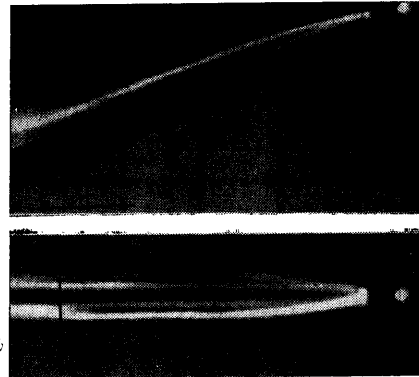
Фиг. 3

Фиг. 3. Визуализация вихревого течения около тела вращения с крылом при угле атаки $\alpha = 20^\circ$: *a* — $\gamma = 0^\circ$; *b* — $\gamma = 90^\circ$; *в* — $\gamma = 45^\circ$

страции этого на фиг. 7, *a* представлено сравнение коэффициента давления C_p , взятое из [2], приблизительно вдоль одной из линий тока в сечении $x/d = 7.6$ (x — расстояние от носика модели до данного сечения, d — диаметр модели), на которой крестиками нанесено положение вихрей, полученных в данном опыте.



Фиг. 4. Вихревое течение около тела вращения с ребрами, расположенными по схеме +, при $\alpha = 20^\circ$: *a* — $\gamma = 0^\circ$; *b* — $\gamma = 90^\circ$



Фиг. 5. Вихревая система около тела вращения с ребрами, расположенными по схеме X, при $\alpha = 20^\circ$: *a* — $\gamma = 0^\circ$; *b* — $\gamma = 90^\circ$

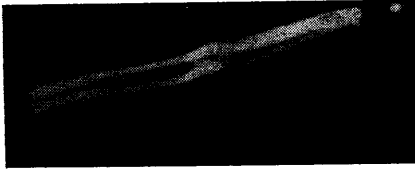
Вторая поверхностная вихревая пара *3*, связанная с первоначальным отрывом потока от поверхности, располагается выше всех остальных по потоку сразу же за линией отрыва.

Траектории вихрей, полученные методом высоковольтного разряда, хорошо согласуются с траекториями, полученными авторами работы [2] в результате исследования поля полного давления около тела вращения (фиг. 7, *в*).

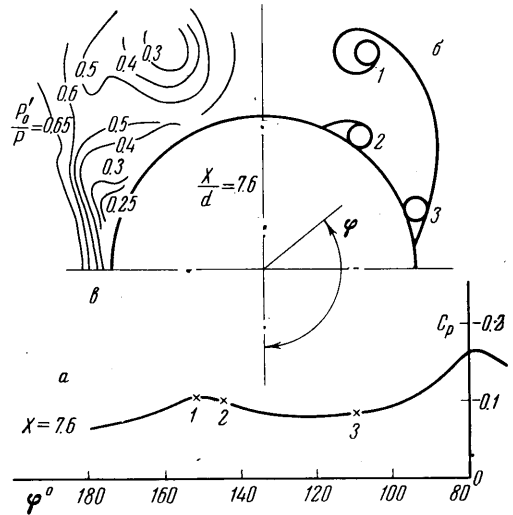
Различного вида надстройки на боковой поверхности тела приводят к появлению дополнительных срывов и вихревых жгутов, взаимодействующих с вихрями корпуса.

Вихревая система, образующаяся при обтекании тела вращения с крылом (фиг. 3) при достаточно больших углах атаки отличается от вихревой системы как изолированного крыла [4], так и изолированного тела вращения. В месте, где свободные вихри, сбегающие с корпуса, ближе всего подходят к вихрям, сходящим с крыла, происходит силовое взаимодействие вихрей и в результате траектория крыловых вихрей сильно меняется (фиг. 3, б).

На моделях корпуса с крылом и корпуса с ребрами, расположенными по схеме + (фиг. 3 и 4), наблюдается интересное взаимодействие двух вихрей. Поверхностный вихрь, сходящий с тела вращения и расположенный выше других по потоку, — вихрь 3, — встречая на своем пути кромку крыла или ребро, увеличивает интенсивность крыловых вихрей или вихрей, образующихся на ребрах, подпитывает их, в результате имеет место резкий отход от поверхности этих вихрей. Этого явления не наблюдается, если ребра расположены по схеме X, потому что, как показывают фотографии, поверхностный вихрь, сходящий с



Фиг. 6



Фиг. 7

Фиг. 6. Вихревая система около двухступенчатого тела вращения при $\alpha = 20^\circ$, $\gamma = 45^\circ$
 Фиг. 7. Положение вихрей около гладкого тела вращения $M = 2$, $\alpha = 15^\circ$, $R = 0,15 \times \times 10^6$: а — коэффициент давления C_p по полярному углу φ , [2]; б — положение вихрей, полученных методом высоковольтного разряда, и схема течения; в — линии равных давлений, замеренные трубкой Пито [2]

тела вращения, проходит где-то посередине между двумя соседними ребрами (фиг. 5).

Вихревая система тела вращения с ребрами, расположенными по схеме X, близка к вихревой системе гладкого тела вращения за исключением существования слабых вихрей на ребрах.

На снимке фиг. 6 показана вихревая система тела вращения, составленного из двух цилиндрических поверхностей (первой и второй ступени), соединенных конической юбкой. При угле атаки 20° вихревая система состоит из вихрей, сходящих с носовой части, вихрей, начинающихся со второй ступени около юбки, и поверхностных вихревых пар. Отход вихрей, сходящих с носовой части первой ступени, в месте расположения юбки, такой, что вихри попадают на поверхность второй ступени, увеличивая интенсивность вихрей, начинающихся на поверхности второй ступени. В результате наблюдается ранее описанное явление резкого отхода вихря от поверхности второй ступени. При меньших исследованных углах атаки этого явления не наблюдается вследствие того, что вихри с носовой части не достигают поверхности второй ступени.

В заключение авторы хотят поблагодарить А. В. Подмазова, В. С. Тихонова, В. К. Масленникова за помощь в проведении эксперимента.

Поступило 19 III 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов В. И., Окерблом Т. И., Саранцев А. И. Экспериментальное исследование вихревого течения около крыльев малого удлинения и круглых конусов при числе Маха, равном двум. Изв. АН СССР, МЖГ, 1967, № 5.
2. Iorgensen L., Perkins E. Investigation of some wake vortex characteristics of an inclined ogive — cylinder body at Mach Number 2. NACA Rep., 1958, No. 1371.