

УДК 532.5

УСТАНОВИВШЕЕСЯ ГЛИССИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ ВЕСОМОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ЗАДАННОЙ НАГРУЗКЕ И СВОБОДНОМ УГЛЕ ХОДА

М. В. МАКАСЕЕВ

Национальный технический университет Украины "КПИ", Киев

Получено 14.11.2002

Методом интегральных уравнений решена задача об установившемся глиссировании слабо изогнутой пластины по поверхности весомай жидкости при заданной нагрузке и свободном (неизвестном) угле хода. Получены зависимости смоченной длины, угла хода и осадки задней кромки от числа Фруда при различных положениях центра тяжести глиссера.

За методом інтегральних рівнянь розв'язана задача про стале глисування слабо зігнутої пластины по поверхні вагомої рідини при заданому навантаженні та вільному (невідомому) куту ходу. Отримані залежності змоченої довжини, кута ходу й осадці задньої кромці від числа Фруда при різних положеннях центру тяжіння глиссера.

The problem about a steady planing of feebly curved plate on a surface of a powerful fluid at a given loading and free (unknown) an angle of a course is solved with the methods of integral equations. The associations of wetted length, angle of a course and settling of a trailing edge from a Froude number at various positions of a barycentre of glider are obtained.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] (см. также [2]) с помощью метода интегральных уравнений исследованы возможные установившиеся движения пластины по поверхности весомай жидкости. В [1] решена, в частности, задача об установившемся глиссировании пластины при заданной нагрузке и фиксированном угле хода. В качестве характерной длины взята величина $a = \sqrt[3]{\Delta/\rho g}$ (здесь Δ – нагрузка, ρg – удельный вес воды), используемая обычно на практике и при проведении экспериментов [3]. Смоченная длина пластины при этом неизвестна и определяется из решения задачи.

В настоящей работе рассматривается еще один вид установившегося движения пластины – глиссирование при заданной нагрузке и свободном (неизвестном) угле хода. Точка приложения внешней нагрузки предполагается фиксированной. Так как задача линеаризованная, то фактически задается проекция точки приложения внешней силы на ось абсцисс. Если внешняя нагрузка – вес глиссера, то по условию задано положение центра тяжести. Для замыкания задачи используется дополнительное соотношение, выражающее равенство нулю суммы моментов относительно некоторой точки всех сил, действующих на пластину.

1. СИСТЕМА ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Установившееся глиссирование пластины с заданной нагрузкой и неизвестной смоченной длиной l описывается сингулярным интегральным уравнением [1, 2]:

$$\frac{1}{\pi} \int_0^l \frac{\gamma(s)}{x-s} ds + \nu \int_0^l \gamma(s) R(\nu, x-s) ds + \nu \int_0^l \gamma(s) \cos \nu(x-s) ds = -f'(x) - \nu(A_1 \cos \nu x + A_2 \sin \nu x) \quad 0 < x < l, \quad (1)$$

с условием

$$\int_0^l \gamma(x) dx = \nu, \quad (2)$$

где $\gamma(x)$ – неизвестное распределение перепада давления на пластине; $\nu = 1/Fr^2$; $Fr = V_0/\sqrt{ga}$ – число Фруда; V_0 – скорость движения пластины; $f(x)$ – функция, описывающая форму слабо изогнутой пластины; A_1 и A_2 – константы, задающие амплитуду свободных независимых волн перед пластиной;

$$R(x, \nu) = \left[\frac{\pi}{2} \operatorname{sgn} x + \operatorname{Si}(\nu x) \right] \cos \nu x - \operatorname{Ci}(\nu |x|) \sin \nu x;$$

$\operatorname{Si}(x)$ и $\operatorname{Ci}(x)$ интегральные синус и косинус [4]. Для слабо изогнутой пластины положим $f(x) =$

$= f(l) - kx + f_1(x)$, где $f(l)$ – осадка задней кромки; $k = \operatorname{tg} \alpha$; α – угол наклона хорды пластины к оси абсцисс, или угол хода пластины; $f_1(x)$ – функция, задающая распределение малой кривизны формы пластины. Точку приложения внешней нагрузки (центр тяжести) зададим ее отстоянием b от задней кромки. Условие равенства нулю суммы моментов всех сил относительно задней кромки пластины будет иметь вид

$$\int_0^l \gamma(x)(l-x) dx = \nu b. \quad (3)$$

Таким образом, уравнение (1) теперь необходимо решать при двух условиях (2) и (3) с неизвестными $\gamma(x)$, l и k .

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Численное решение системы (1)–(3) находим, как и в [1], методом дискретных вихрей с определением нелинейно входящей неизвестной l методом последовательной минимизации [5]. Приведем основные результаты расчетов для плоской пластины при отсутствии свободных волн, т. е. когда $f_1(x) \equiv 0$ и $A_1 = 0$, $A_2 = 0$. На рис. 1 представлена зависимость смоченной длины, отнесенной к b , от числа Фруда при различных зна-

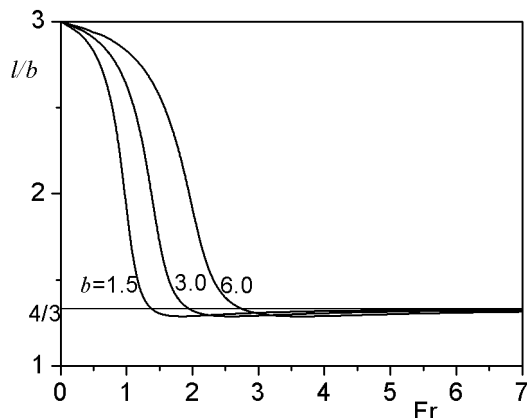


Рис. 1. Зависимость смоченной длины глссирующей пластины от числа Фруда при заданной нагрузке и различных положениях центра тяжести

чениях b . При $Fr \rightarrow \infty$ (или $\nu \rightarrow 0$) смоченная длина стремится к величине $4b/3$. Это означает, что центр тяжести расположен на расстоянии $1/4$ смоченной длины от передней кромки пластины, т. е. в центре давления, соответствующем известному точному решению для глссирующей пластины при $Fr \rightarrow \infty$. На малых скоростях хода при

$Fr \rightarrow 0$ смоченная длина приближается к величине $3b$, т.е. центр тяжести лежит на расстоянии $1/3$ смоченной длины от задней кромки. Этой точке соответствует положение центра тяжести прямоугольного треугольника с малым углом α при вершине, лежащем на невозмущенном уровне свободной поверхности. Следовательно, нагрузка при предельно малых скоростях хода уравнивается почти полностью гидростатической силой. Полученные результаты для предельно малых и предельно больших чисел Фруда согласуются с выводами Л.И.Седова [6], сделанными на основе решения задачи с заданной смоченной длиной.

На рис. 2 показана зависимость угла наклона пластины в градусах от числа Фруда при тех же

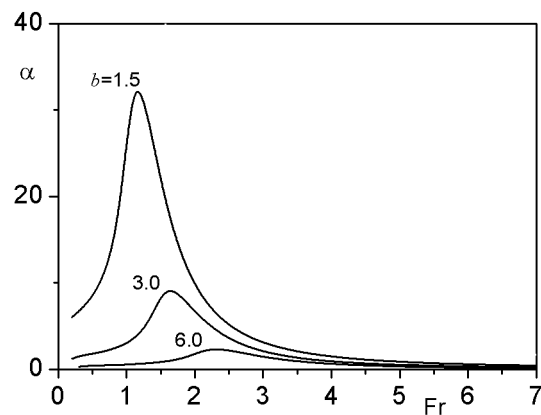


Рис. 2. Зависимость угла наклона глссирующей пластины от числа Фруда при заданной нагрузке и различных положениях центра тяжести

значениях b , что и на рис. 1. При $Fr \rightarrow \infty$ угол наклона стремится к нулю. Зависимость осадки задней кромки от числа Фруда показана на рис.3. При больших скоростях ($Fr \rightarrow \infty$) задняя кромка

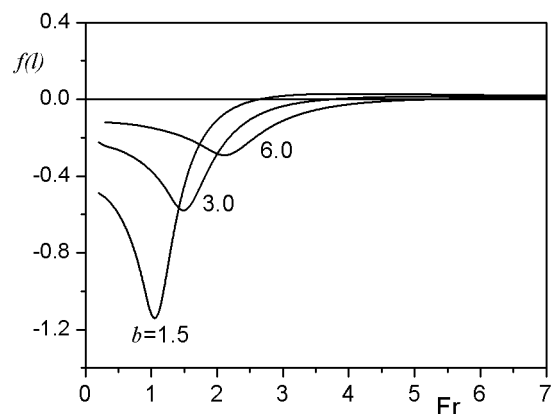


Рис. 3. Зависимость осадки задней кромки глссирующей пластины от числа Фруда и различных положениях центра тяжести

пластины остается всегда выше невозмущенного уровня свободной поверхности. Результаты расчета осадки задней кромки качественно согласуются с известными экспериментальными данными на диаграммах Г.Е.Павленко [3, стр. 266].

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом интегральных уравнений решена задача о глиссировании слабо изогнутой пластины при заданной нагрузке, фиксированном положении центра тяжести и свободном угле хода. Установлено, что угол хода на малых скоростях движения (при малых числах Фруда) с увеличением скорости движения вначале увеличивается, затем, начиная с некоторого значения числа Фруда, уменьшается и стремится к нулю при $Fr \rightarrow \infty$. Смоченная длина при этом стремится к определенному конечному значению $l = 4b/3$, где b – расстояние от задней кромки до центра тяжести. Установлены зависимости смоченной длины, угла хода и осадки задней кромки от числа Фруда для плоской пластины при различных положениях центра тяжести.

Для предельно больших и предельно малых чисел Фруда полученные результаты по положению центра давления соответствуют результатам Л.И.Седова [6].

1. Макасеев М.В. Установившиеся движения пластины по поверхности весоной жидкости // Прикладна гідромеханіка.– 2002.– Том 4 (76), N 2.– С. 41-49.
2. Ефремов И.И., Макасеев М.В. Замечания к статье "Установившиеся движения пластины по поверхности весоной жидкости" // Прикладна гідромеханіка.– 2002.– Том 4 (76), N 4.– С. 74-75.
3. Справочник по теории корабля. Том 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания.– Л.: Судостроение, 1985.– 544 с.
4. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции.– М.: Наука, 1977.– 342 с.
5. Роман В.М., Макасеев М.В. Расчет формы каверны за суперкавитирующим крылом конечного размаха // Динамика сплошной среды с нестационарными границами.– Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та.– 1984.– С. 103 - 109.
6. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики.– М.: Наука, 1981.– 448 с.