

ГИДРОДИНАМИКА

Л. А. ЭПШТЕЙН

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ЯВЛЕНИИ ГЛИССИРОВАНИЯ

(Представлено академиком Н. Е. Кочиным 19 I 1940)

1. В настоящей заметке мы приводим новые экспериментальные данные об установившемся глиссировании плоской пластинки. Эксперименты с плоскими глиссирующими пластинками производились в течение последних 30 лет во всех странах, имеющих опытовые бассейны (1-7). Эти опыты не дают достаточных материалов относительно зависимостей основных гидродинамических характеристик от скорости движения и геометрических параметров, определяющих ориентацию пластинки. В частности, влияние числа Фруда $F_b = \frac{v}{\sqrt{gb}}$ (v —скорость движения, b —ширина пластинки, g —ускорение силы тяжести) и поведение осадки задней кромки ($-h$) освещены весьма неполно. В связи со специальными опытами по устойчивости глиссирования плоской пластинки мы попутно произвели ряд дополнительных измерений, позволяющих установить существенно новые факты и зависимости, которые, помимо чисто физического интереса, имеют также прикладное значение, в частности в проблеме устойчивости глиссирования.

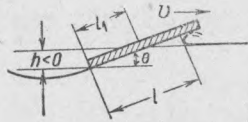
2. Согласно воззрениям, установившимся на основании работ (1-7), глиссирование плоской пластинки сопровождается подпором, т. е. местным повышением уровня около передней части пластинки (фиг. 1). За счет подпора смоченная длина под уровнем * $l_1 = \frac{-h}{\theta}$ всегда меньше, чем действительная смоченная длина l . С увеличением скорости движения пластинка, свободно глиссирующая при заданных угле бега и нагрузке, постепенно всплывает, и, следовательно, величина l_1 убывает, оставаясь, однако, всегда, при всех опытах, большей нуля.

Теоретическое исследование (8) задачи о плоскопараллельном движении пластинки по поверхности весомой жидкости показывает, что, начиная с некоторого значения числа Фруда $F_l = \frac{v}{\sqrt{gl}}$, пластинка располагается выше уровня свободной поверхности и при $F_l \rightarrow \infty$ всплывает бесконечно высоко при фиксированных значениях смоченной длины и угла атаки. Тем обстоятельством, что экспериментально никогда не было получено значение $h > 0$, в то время как теоретически при указанных выше условиях h могло быть доведено до любой, сколько угодно большой величины, создавался разрыв между опытом и теорией.

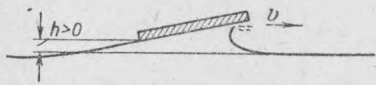
* Углы бега малы ($\theta < 15^\circ$).

3. Описываемыми испытаниями, проведенными в бассейне ЦАГИ в 1939 г., было впервые экспериментально показано, что

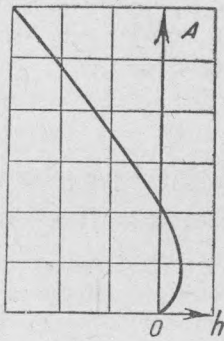
1. Существуют такие режимы, когда вся пластинка поднимается выше невозмущенного уровня воды (фиг. 2). Установлено, что эти режимы имели место и в предыдущих опытах и не были обнаружены только потому, что осадка в них измерялась ошибочно. Детальным анализом условий эксперимента выявлены причины, которые могли вызвать эти ошибки.



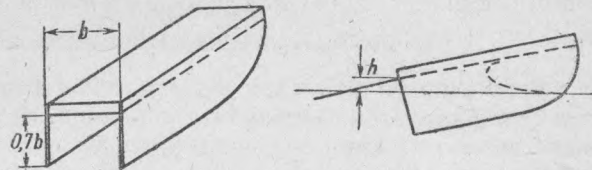
Фиг. 1. Схема глиссирования плоской пластинки.



Фиг. 2. Схема глиссирования в случае, когда вся пластинка расположена выше невозмущенного уровня воды.

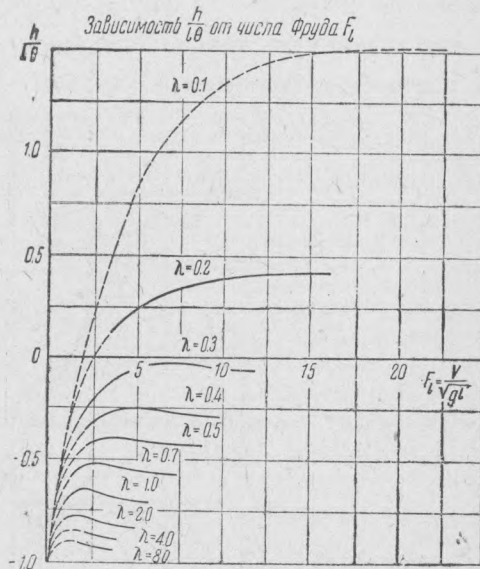


Фиг. 5. Зависимость подъемной силы от осадки при постоянных значениях угла бега и скорости.



Фиг. 4. Пластинка с накладками, препятствующими поперечному растеканию.

2. Пластинка, глиссирующая при постоянных смоченной длине l и угле бега θ , всплывает только до определенной скорости; а при дальнейшем ее увеличении обнаруживается некоторая тенденция к погружению. Последнее обстоятельство можно объяснить поперечным растеканием накопившейся перед пластинкой воды. При постоянных l и θ давление в жидкости, на которую опирается пластинка, возрастает, грубо говоря, пропорционально квадрату скорости, в то время как по краям пластинки давление атмосферное; поэтому очевидно, что с возрастанием

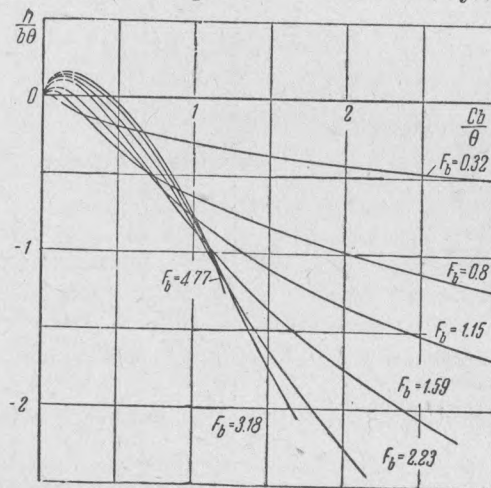


Фиг. 3. Экспериментальные кривые для зависимости $\frac{h}{l\theta} = \frac{l_1}{l}$ от числа Фруда

$F_l = \frac{v}{\sqrt{gl}}$ и удлинения λ .

скорости, т. е. с увеличением перепада давления, начинается постепенное растекание подпора, а следовательно, увеличение осадки.

На фиг. 3 приводятся экспериментально найденные кривые зависимости осадки ($-h$) от смоченной длины (l), угла бега (θ), скорости (v) и ширины пластинки (b). По осям координат отложены безразмерные коэффициенты, позволяющие отобразить на одном графике зависимость осадки от всех перечисленных величин. Для данной пластинки, глиссирующей при постоянной смоченной длине и угле бега, эти кривые дают просто изменение осадки по скорости. Из фиг. 3 следует, что отрицательная осадка ($h > 0$) может возникнуть только при малом удлинении $\lambda = \frac{l}{b}$, когда жидкость не успевает растекаться в стороны. Чем меньше удлинение, тем выше



Фиг. 6. Экспериментальные кривые $\frac{h}{b\theta} \left(\frac{C_b}{\theta} \right)$ при различных постоянных значениях числа

$$\text{Фруда } F_b = \frac{v}{\sqrt{gb}}$$

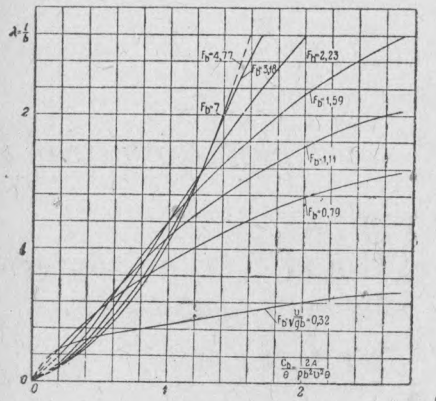
поднимается пластинка над уровнем и тем больше значение числа Фруда $F_b = \frac{v}{\sqrt{gl}}$, при котором начинается опускание пластинки. Для $\lambda = 0$, т. е. для бесконечного размаха, теоретическое решение показывает, что пластинка поднимается неограниченно высоко. Это вполне согласуется с опытными данными. Гипотеза о влиянии на осадку поперечного растекания была так же подтверждена специальным опытом с пластинкой, по сторонам которой укреплялись накладки—тонкие металлические листы (фиг. 4). Присутствие накладок, препятствовавших поперечному растеканию, приводило к резкому всплыванию по сравнению с аналогичным режимом пластинки без накладок. Путем простых рассуждений, из самого факта наличия отрицательной осадки, немедленно получается, что характер зависимости подъемной силы A от погружения при прочих неизменных параметрах имеет вид, изображенный на фиг. 5. По данным, приведенным в работах (1-7), кривая $A(h)$ располагалась только в левой четверти и не имела двузначности.

На фиг. 6 и 7 мы приводим экспериментально найденные кривые

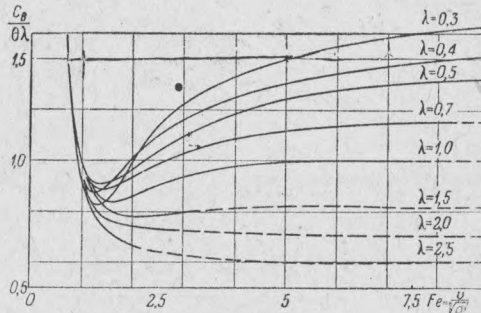
$$\frac{h}{b\theta} \left(\frac{C_b}{\theta}; F_b \right) \text{ и } \lambda \left(\frac{C_b}{\theta}; F_b \right), \text{ где } C_b = \frac{2A}{\rho b^2 v^2}$$

(ρ — плотность жидкости). Пользуясь этими кривыми, можно для заданного режима найти две любые величины, входящие в эти соотношения. Для данной пластинки, движущейся с постоянной скоростью и углом бега, фиг. 6 дает зависимость подъемной силы от осадки.

Фиг. 7 показывает, что влияние числа Фруда на зависимость подъемной силы от удлинения становится несущественным при достаточно больших значениях $F_b > F_{b1}$. Величина F_{b1} возрастает с увеличением



Фиг. 7. Экспериментальные кривые $\lambda \left(\frac{C_b}{\theta} \right)$ при различных постоянных значениях числа Фруда $F_b = \frac{v}{\sqrt{gb}}$.



Фиг. 8. Экспериментальные кривые для величины $\frac{C_b}{\lambda \theta}$ в зависимости от числа Фруда $F_l = \frac{v}{\sqrt{gl}}$ и удлинения λ .

соченного удлинения λ . Для $\lambda < 2$ можно принять, что $F_{b1} = 5$. При $F_b > 5$ и $\lambda < 0,8$ подтверждается полуэмпирическая формула

$$\frac{C_b}{\theta} = \frac{0,7 \pi \lambda}{1 + 1,4 \lambda},$$

полученная в работе (9).

Для любых λ и чисел Фруда влияния конечности размаха и веса воды тесно переплетаются между собой и могут существенно сказаться при предельных переходах. Для более наглядного представления влияния удлинения на подъемную силу мы приводим на фиг. 8 экспериментальные кривые $\frac{C_b}{\lambda \theta} (F_l)$ при постоянных значениях λ . Следует отметить, что графики, изображенные на фиг. 3 и 8, качественно согласуются с теоретическими расчетами для плоской задачи*, т. е. для случая, когда $\lambda = 0$.

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

Поступило
24 I 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. S. Baker & G. H. Millar, R & M, № 70 (1912). ² W. Sottorf, Werft-Reederei-Hafen, № 21 (1929). ³ E. G. Barrillon, Hydromech. Probleme des Schiffsantriebes, p. 139—159 (1932). ⁴ К. Косоуров, Н. Володин и К. Харитонов, Сб. Н.-и. ин-та воен. кораблестр. ВМС РККА, № 2 (1934). ⁵ Y. Shoemaker, Techn. Notes Nat. Advisory Committee for Aeronautics, № 509 (1934). ⁶ А. С. Перельмутр, Техн. зам. ЦАГИ, № 48 (1935). ⁷ A. Sambraus, Luftfahrtforschung, № 8 (1936). ⁸ Л. И. Седов, Тр. Конф. по теории волн. сопротивл., ЦАГИ (1937). ⁹ Л. И. Седов, Судостроение, № 2 (1937).

* См. фиг. 2 и 4 заметки Ю. С. Чаплыгина, помещенной в этом же номере.