

## ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРАЛОВЫХ ПЛОСКИХ РАСПОРНЫХ ДОСОК

Кадн. техн. наук А. И. ЯКОВЛЕВ

Еще Ньютоном и рядом других исследователей (Рэлей, Ламб и др.) предпринимались попытки определить величину сопротивления наклонных пластинок, обтекаемых потоком жидкости, путем применения аналитических методов гидродинамики.

Рэлей, применив идею струйной теории Кирхгоффа, предположил, что срывающиеся с ребер бесконечно длинной пластинки струи не смыкаются, образуя за пластинкой мертвую зону, давление в которой равно давлению в потоке. Величина силы, действующей нормально к плоскости пластинки, в этом случае будет

$$R = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} \rho F v^2,$$

а вследствие перпендикулярности силы  $R$  к плоскости пластинки

$$C_y = \frac{2 \pi \sin \alpha \cos \alpha}{4 + \pi \sin \alpha},$$

где  $\alpha$  — угол атаки пластинки (угол между плоскостью пластинки и направлением движения);

$\rho$  — плотность жидкости;

$F$  — площадь пластинки;

$v$  — скорость набегающего потока жидкости;

$C_y$  — коэффициент подъемной силы.

Феппл, проведя в 1910 г. в аэродинамической трубе опыты по определению сопротивления пластинок различного удлинения<sup>1</sup> и сопоставив свои результаты с результатами, даваемыми формулой Рэрея, показал (рис. 1), что формула Рэрея непригодна для практических целей. Причина несоответствия результатов заключалась в том, что явление, происходящее за пластинкой в действительности, не согласуется с допущениями, сделанными Рэреем при решении задачи. Вместо области спокойной жидкости с давлением, соответствующим давлению в потоке, в реальных условиях позади пластинки наблюдаются вихревые движения, пониженное давление при больших углах атаки и отсутствие срыва потока с переднего ребра пластинки при малых углах атаки.

Результаты, более близкие к действительности дает вихревая циркуляционная теория, разработанная Н. Е. Жуковским для двухразмерного потока.

<sup>1</sup> Удлинением называется отношение длины пластинки к ее ширине.

Изучение потока жидкости около наклонных пластинок показывает, что при малых углах атаки срывов потока у ребра атаки пластинки не наблюдается. Поэтому существование большого лобового сопротивления у пластинки даже при малых углах атаки не может быть объяснено полностью наличием сопротивления формы и сопротивления трения. Следовательно, у пластинки, движущейся под углом к направлению потока, существует еще дополнительное сопротивление, называемое индуктивным сопротивлением. Возникновение индуктивного сопротивления вызывается условиями обтекания пластинки конечного удлинения. Индук-

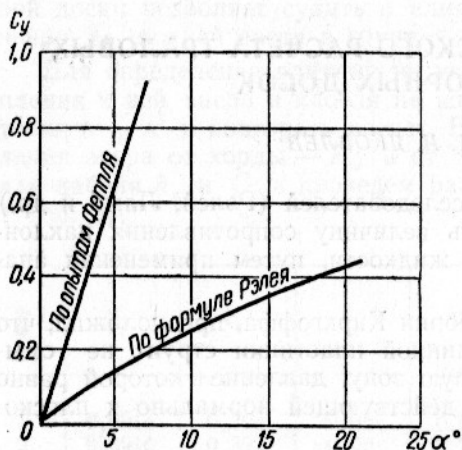


Рис. 1. Значение коэффициента подъемной силы  $C_y$  в зависимости от угла атаки  $\alpha$  по опытам Фепля и по формуле Рэлея.

тивное сопротивление увеличивается по мере уменьшения удлинения пластинки и увеличения ее угла атаки. Теория индуктивного сопротивления дает возможность определить аэродинамические коэффициенты уже для случая трехмерного потока с учетом конечного удлинения пластинки.

Рассмотрим силы, возникающие при обтекании пластинки, расположенной под углом атаки  $\alpha$  к направлению набегающего потока жидкости. Давление, возникающее на нижней поверхности пластинки, превышает давление на верхней поверхности, следствием чего и является возникновение подъемной силы у пластинки, обтекаемой потоком жидкости при определенных значениях угла атаки. Распределение давления

по обеим сторонам пластинки показано на рис. 2 пунктирной линией.

Площадь эпюры давления пропорциональна силе  $R_p$ , приложенной в центре давления  $S$  по нормали к плоскости пластинки. При движении пластинки в реальной жидкости, кроме подъемной силы  $R_p$ , действующей по нормали к пластинке, вдоль пластинки будет действовать еще сила трения  $R_t$ . При обтекании потоком пластинки конечного удлинения будет возникать еще и сила индуктивного сопротивления  $R_i$ .

Равнодействующая сила  $R$  всех сил (полная аэродинамическая сила) может быть разложена на две составляющие  $R_x$  и  $R_y$ , называемые в аэродинамике соответственно лобовым сопротивлением и подъемной силой

$$R_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} F;$$

$$R_y = C_y \frac{\rho v^2}{2} F,$$

где:  $C_x$  — коэффициент лобового сопротивления пластинки;

$C_y$  — коэффициент подъемной силы пластинки;

$F$  — площадь пластинки;

$v$  — скорость потока жидкости, обтекающего пластинку;

$\rho$  — плотность жидкости, обтекающей пластинку.

Отсюда будем иметь

$$C_x = \frac{2R_x}{\rho v^2 F};$$

$$C_y = \frac{2R_y}{\rho v^2 F}.$$

Определение величины полной аэродинамической силы  $R$  для пластинки заданных размеров, движущейся в жидкости, сводится к определению ее компонентов  $R_x$  и  $R_y$  через коэффициенты  $C_x$  и  $C_y$ .

Коэффициенты  $C_x$  и  $C_y$  учитывают влияния на величину полной аэродинамической силы ряда факторов, обуславливающих взаимодействие потока с пластинкой, например, удлинение пластинки, ее толщину, угол атаки, характер потока, обтекающего пластинку, и ряд других факторов.

Величины безразмерных коэффициентов  $C_x$  и  $C_y$  в каждом конкретном случае могут быть определены пока только экспериментальным путем.

### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ И ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАСТИНКИ

На величину коэффициентов подъемной силы  $C_y$  и лобового сопротивления  $C_x$  влияет большое количество факторов, основные из них следующие:

- 1) удлинение пластинки;
- 2) форма пластинки в плане;
- 3) толщина пластинки;
- 4) угол атаки пластинки;
- 5) граничные условия;
- 6) характер потока жидкости, обтекающего пластинку.

Рассмотрим более детально влияние указанных основных факторов на величину коэффициентов подъемной силы и лобового сопротивления пластинки.

#### Удлинение пластинки

В аэродинамике для прямоугольной пластинки под удлинением понимается отношение ее длины к ширине  $\lambda = \frac{l}{b}$ , а для пластинки произвольной формы в плане — отношение квадрата длины пластинки к площади

$$\lambda = \frac{l^2}{F},$$

где:  $\lambda$  — удлинение;

$l$  — длина пластинки (размах) в направлении, перпендикулярном направлению движения потока жидкости, обтекающего пластинку;

$b$  — ширина пластинки (хорда) в направлении движения потока жидкости, обтекающего пластинку;

$F$  — площадь пластинки.

Величина удлинения пластинки существенно влияет на характер обтекания пластинки потоком.

Для пластинки бесконечного размаха картина обтекания идентична во всех плоскостях, перпендикулярных размаху пластинки. В этом слу-

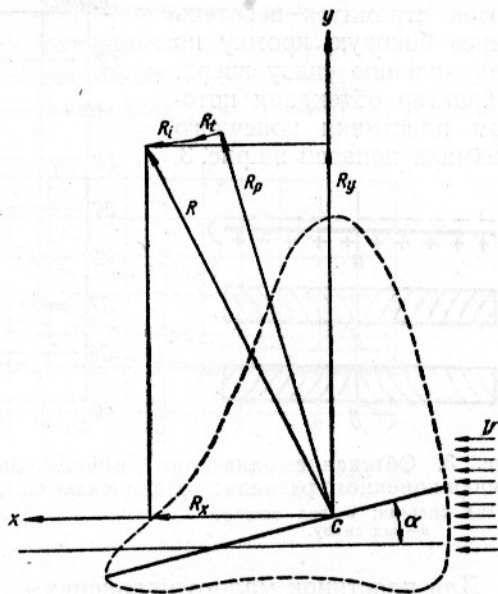


Рис. 2. Схема сил, возникающих при обтекании потоком наклонной пластинки.

чае величины разрежения над верхней поверхностью и повышенного давления на нижнюю поверхность пластинки постоянны вдоль ее размаха.

Для пластинки конечного размаха величины давлений изменяются по мере удаления от ее середины, что приводит к появлению поперечных токов. Вверху над пластинкой линии токов направлены от наружного края пластинки внутрь, а внизу, под пластинкой, наоборот, — от середины пластинки наружу.

У концов пластинки поток стремится перетечь через боковую кромку по направлению снизу вверх. Характер обтекания потоком пластинки конечного размаха показан на рис. 3.

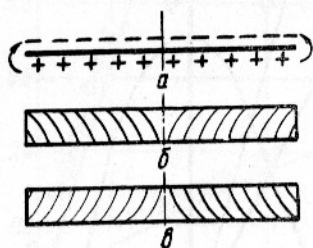


Рис. 3. Обтекание пластинки конечного размаха: а—вид спереди; б—вид сверху; в—вид снизу.

Для пластинок малого удлинения с  $\lambda < 2,5$  непригодна гипотеза плоских сечений, применяемая для расчета пластинок бесконечного удлинения. Иначе говоря, у пластинок малого удлинения обтекание каждого сечения нельзя считать независимым от обтекания смежных сечений. У пластинок с удлинением меньше единицы перетекание потока через боковые кромки особо ощутимо.

Из приведенной на рис. 4 зависимости максимального значения коэффициента подъемной силы  $C_{y \text{ макс}}$  от удлинения пластинки следует, что для прямоугольных пластинок с удлинением  $\lambda < 1$  максимальное значение коэффициента подъемной силы наблюдается при значении  $\lambda = 0,5$ .

Следует заметить, что здесь и ниже нами рассматриваются изолированные пластинки. Иные случаи мы будем оговаривать особо.

Для пластинок с  $\lambda > 1$  (рис. 5) максимальная величина коэффициента подъемной силы  $C_{y \text{ макс}}$  уменьшается с увеличением удлинения пластинки. Качество прямоугольной пластинки (отношение коэффициентов подъемной силы и лобового сопротивления  $K = \frac{C_y}{C_x}$ ) при малых углах атаки зависит от удлинения. При увеличении угла атаки свыше  $20^\circ$  качество пластинки практически уже не зависит от удлинения (рис. 6).

#### Форма пластинки в плане

Из аэродинамики известно, что пластинка эллиптической формы в плане обладает наименьшим индуктивным сопротивлением, а следовательно, и большей подъемной силой при прочих равных условиях. Для прямоугольной пластинки с округленными концами распределение подъемной силы по размаху приближается к распределению подъемной силы у эллиптической пластинки.

Пластинки трапецевидной формы в плане имеют подъемную силу, меньшую чем эллиптические и прямоугольные пластинки (рис. 5).

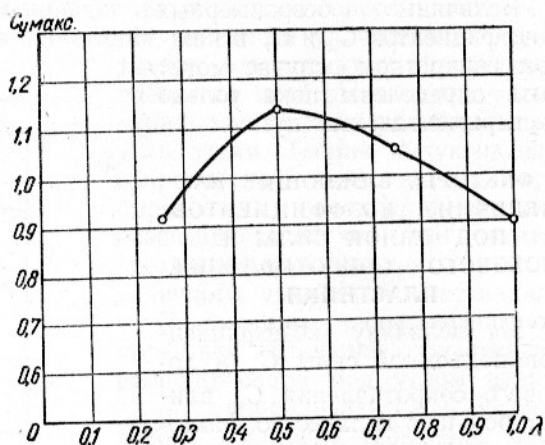


Рис. 4. Зависимость коэффициента подъемной силы  $C_{y \text{ макс}}$  от удлинения  $\lambda$  для прямоугольной пластинки.

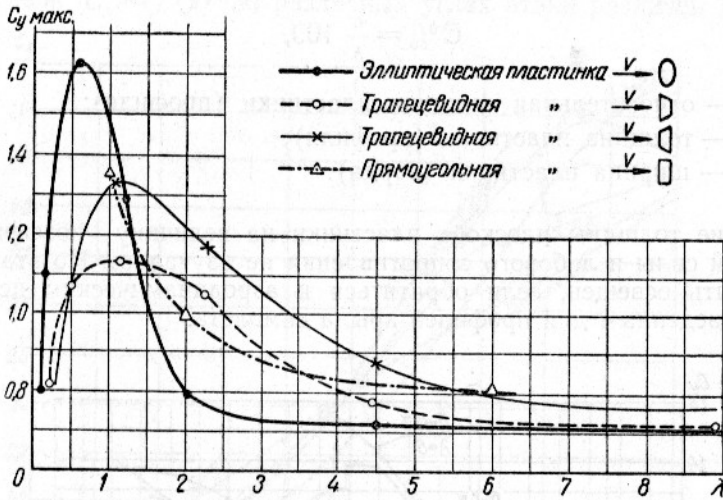


Рис. 5. Зависимость коэффициента подъемной силы  $C_{y \text{ макс}}$  от удлинения  $\lambda$  для пластинок различной формы в плане.

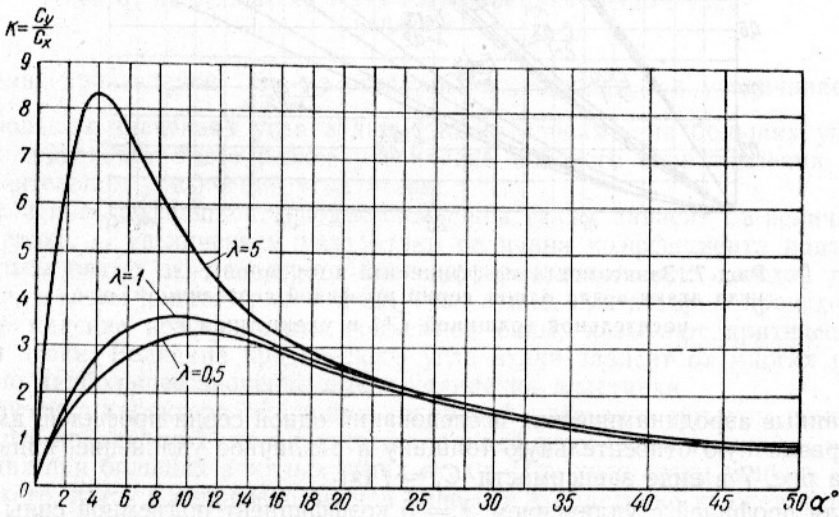


Рис. 6. Зависимость качества  $K$  от угла атаки  $\alpha$  для прямоугольных пластинок различного удлинения  $\lambda$ .

## Толщина пластинки

В аэродинамике для характеристики толщины профиля (пластинки) введено понятие его относительной толщины.

Относительной толщиной профиля называют отношение его толщины к ширине, выраженное в процентах

$$\bar{c} \% = \frac{c}{b} 100,$$

где:  $\bar{c} \%_0$  — относительная толщина пластинки (профиля);

$c$  — толщина пластинки (профиля);

$b$  — ширина пластинки (хорда).

Влияние толщины плоской пластинки на величину коэффициентов подъемной силы и лобового сопротивления не изучалось. Но этот вопрос может быть освещен, если обратиться к аэродинамическим исследованиям, проведенным для профилей крыла самолета.

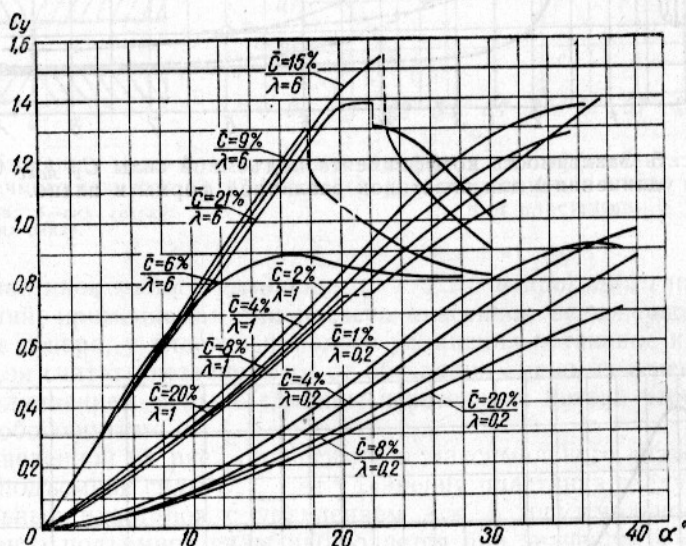


Рис. 7. Зависимость коэффициента подъемной силы  $C_y$  от угла атаки  $\alpha$  для одной серии профилей с различной относительной толщиной  $\bar{c} \%$  и удлинением  $\lambda$ .

Данные аэродинамических исследований одной серии профилей, имеющих различную относительную толщину и различное удлинение, приведены на рис. 7 в виде зависимости  $C_y = f(\alpha)$ .

Для профилей с удлинением  $\lambda = 6$  коэффициент подъемной силы  $C_y$  растет с увеличением относительной толщины профиля. Для профилей малого удлинения  $\lambda < 1$  мы наблюдаем обратную картину. Коэффициент подъемной силы убывает при увеличении относительной толщины профиля.

При уменьшении удлинения для профиля одинаковой относительной толщины значение критического угла атаки увеличивается. Если для рассмотренных нами профилей с удлинением  $\lambda = 6$  величина критического угла атаки находится в пределах  $\alpha_{кр} = 16 \div 23^\circ$ , то для этих же профилей с  $\lambda < 1$  эта величина выше значений  $\alpha_{кр} = 30^\circ$ .

## Угол атаки пластинки

Величина коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  растет по мере увеличения угла атаки и в пределе равна коэффициенту лобового сопротивления для пластинки, установленной нормально к направлению движения.

Ход кривой  $C_x = f(\alpha)$  на различных углах атаки различен (рис. 8).

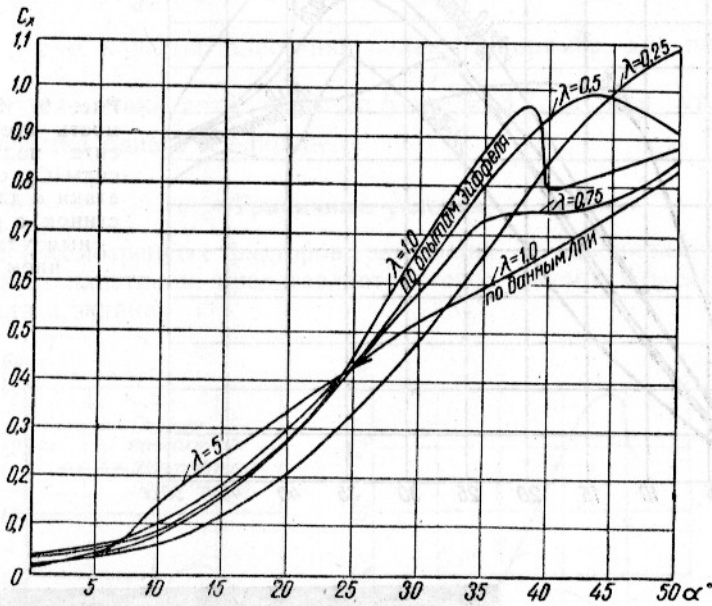


Рис. 8. Зависимость коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  от угла атаки  $\alpha$  для пластинок с различным удлинением  $\lambda$ .

Значение производной  $\frac{dC_x}{d\alpha}$  не остается постоянным, а увеличивается при больших значениях угла атаки. Иными словами, на больших углах атаки происходит более резкое увеличение лобового сопротивления при незначительном увеличении угла атаки.

Величина коэффициента подъемной силы также зависит от величины угла атаки. С увеличением угла атаки величина коэффициента подъемной силы растет до некоторого значения, различного для каждой пластинки, а затем падает (рис. 7 и 9). Угол атаки, при котором происходит резкое падение коэффициента подъемной силы, называют критическим углом атаки. Величина критического угла атаки зависит от многих причин, но наибольшее значение имеет удлинение пластинки.

Изучение характера обтекания наклонной пластинки потоком показывает, что критический угол является границей двух типов течений, возникающих при больших и малых углах атаки. При угле атаки меньше критического, поток в непосредственной близости к пластинке движется, прилегая на большом протяжении к ее верхней стороне. Если величина угла атаки больше критического угла, то струи потока срываются с пластинки вблизи ее переднего ребра, образуя между собой и поверхностью пластинки область вихревого движения, что сопровождается уменьшением подъемной силы и одновременным увеличением лобового сопротивления (рис. 10).

Ход кривой  $C_y = f(\alpha)$  отличается от аналогичной зависимости  $C_x = f(\alpha)$  при соответствующих значениях угла атаки. Значение производной  $\frac{dC_y}{d\alpha}$  остается почти постоянным в зоне до критических углов атаки.

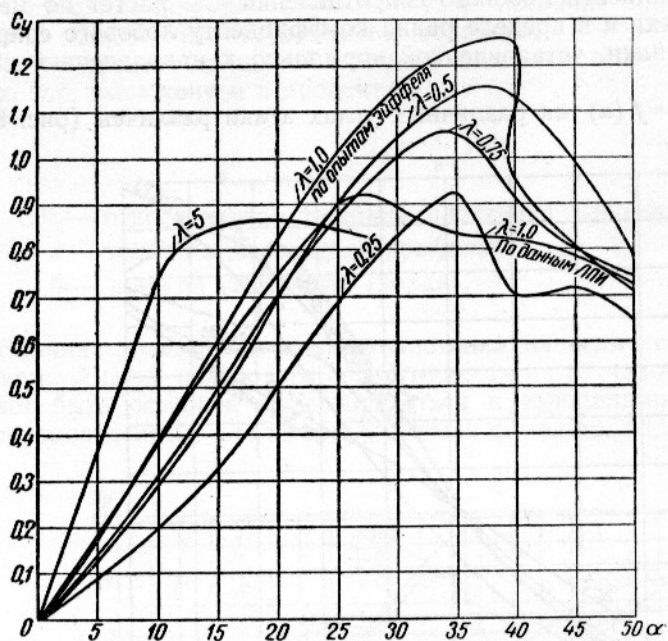
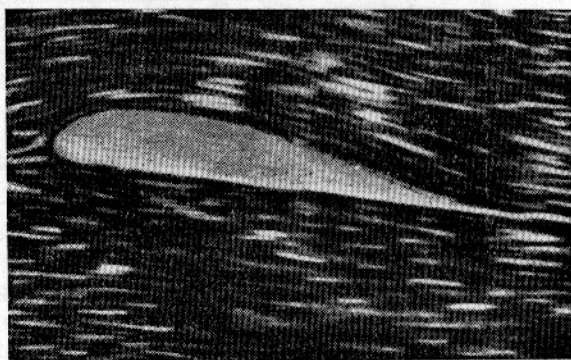


Рис. 9. Зависимость коэффициента подъемной силы  $C_y$  от угла атаки  $\alpha$  для пластинок с различным удлинением  $\lambda$ .



*a*

Рис. 10. Характер обтекания потоком профиля крыла:

*a*—при угле атаки меньше критического; *b*—при угле атаки больше критического.



*b*



Величина производной  $\frac{dC_y}{d\alpha}$  на малых углах атаки больше значения производной  $\frac{dC_x}{d\alpha}$ , чем и объясняется большая величина качества пластинок на малых углах атаки (см. рис. 6). С увеличением угла атаки значение производной  $\frac{dC_x}{d\alpha}$  растет при почти неизменном значении производной  $\frac{dC_y}{d\alpha}$ , т. е. качество пластинки падает. Например, для пластинки с  $\lambda = 1$  при угле атаки  $\alpha = 9^\circ$  качество  $K = \frac{C_y}{C_x} = 3,7$ , а при угле атаки  $\alpha = 40^\circ$  качество близко к единице.

### Граничные условия

Кроме рассмотренных факторов, влияющих на аэродинамические характеристики пластинок, представляет интерес рассмотреть влияние шероховатости и экрана.

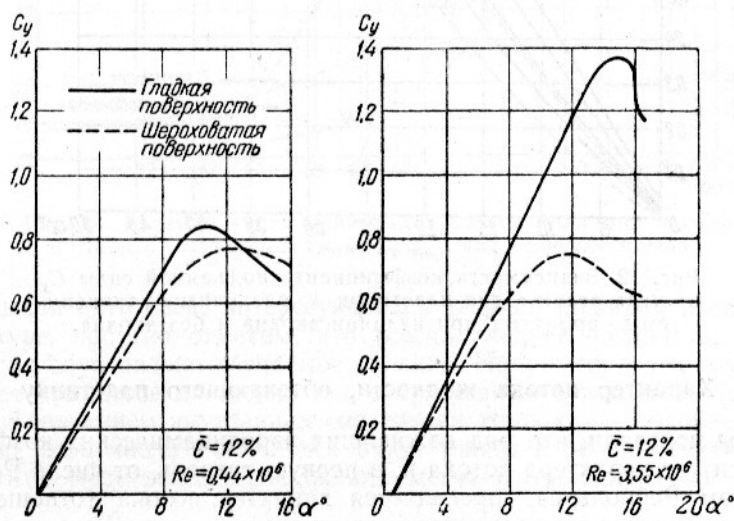


Рис. 11. Влияние шероховатости на величину коэффициента подъемной силы  $C_y$  при различных значениях числа Рейнольдса для профиля крыла.

Не требует пояснений то, что при увеличении шероховатости поверхностей пластинки растет ее лобовое сопротивление. Шероховатость поверхностей резко снижает и величину подъемной силы пластинки при увеличении скорости потока, набегающего на пластинку (рис. 11). В этом случае при повышении скорости потока, набегающего на пластинку, зона отрыва потока от ее верхней поверхности перемещается к переднему краю пластинки, увеличивая область вихревого движения. Таким образом, с увеличением шероховатости поверхностей пластинки происходит уменьшение ее подъемной силы с одновременным уменьшением величины критического угла атаки.

Как нами уже указывалось, большое влияние на аэродинамические характеристики пластинок конечного размаха оказывает перетекание потока через их боковые стороны.

Для расчета траловых распорных досок представляет интерес случай, когда пластинка одной стороной опирается на плоскость (экран). Исследования пластинок в аэродинамической трубе показали, что наличие экрана влияет на величину их подъемной силы (рис. 12).

Наличие экрана приближает характер обтекания пластинки малого удлинения к условиям обтекания пластинки бесконечного размаха вследствие уменьшения индуктивного сопротивления. Величина подъемной силы пластинок малого удлинения при этом уменьшается, что сопровождается одновременно и уменьшением критического угла атаки.

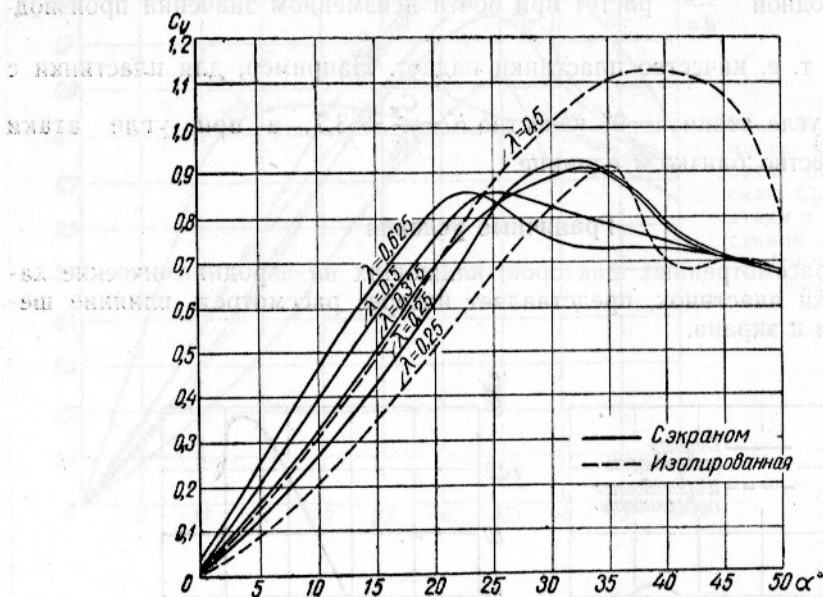


Рис. 12. Зависимость коэффициента подъемной силы  $C_y$  от угла атаки  $\alpha$  для пластинок с различным удлинением  $\lambda$ , продуваемых при наличии экрана и без экрана.

### Характер потока жидкости, обтекающего пластинку

Опыты показали, что ряд важнейших аэродинамических коэффициентов зависит от характера потока и, в первую очередь, от числа Рейнольдса. Числом Рейнольдса определяется характер потока (отношение сил вязкости к силам инерции), обтекающего тело, в виде зависимости

$$Re = \frac{vl}{\nu}$$

где:  $Re$  — число Рейнольдса;

$v$  — скорость потока;

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости;

$l$  — характерный линейный размер тела в направлении движения.

При малых значениях числа Рейнольдса мы имеем ламинарное течение, при увеличении числа Рейнольдса свыше критического ламинарное течение переходит в турбулентное.

Явления, происходящие внутри потока при переходе от ламинарного течения к турбулентному, коренным образом изменяют характер обтекания тела. Например, для шара было установлено, что при достижении критического числа Рейнольдса  $Re \approx 3 \times 10^5$  величина коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  резко уменьшается, достигая значений меньше 0,1 по сравнению с величиной  $C_x = 0,45 - 0,48$  при  $Re$  в пределах от  $1 \times 10^3$  до  $3 \times 10^5$ . При дальнейшем увеличении числа Рейнольдса свыше  $2 \times 10^6$  для шара опять происходит некоторое увеличение коэффициента лобового сопротивления. Аналогичная картина, но менее ярко выраженная, наблюдается и при обтекании пластинок.

Также зависит от числа Рейнольдса и величина коэффициента подъемной силы. На рис. 13 приведены кривые, иллюстрирующие зависимость коэффициента подъемной силы для профилей крыла различной толщины в зависимости от величины числа Рейнольдса.

Зная, что характер потока, обтекающего пластинку, влияет на величину аэродинамических коэффициентов, следует при использовании результатов модельных или натуральных исследований использовать только сопоставимые данные. Результаты модельных исследований могут быть перенесены на натуру только в том случае, если условия проведения эксперимента были подобны натурным условиям.

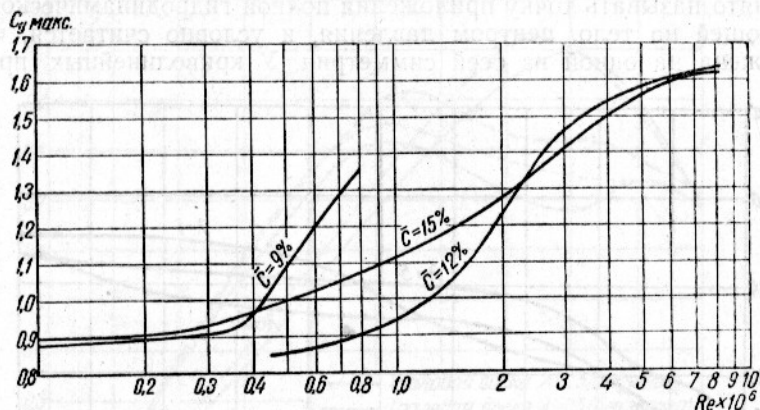


Рис. 13. Влияние числа Рейнольдса  $Re$  на величину коэффициента подъемной силы  $C_{y макс}$  для профиля крыла.

Отсылая читателей, интересующихся теорией подобия, к специальной литературе, попутно отметим, что всегда следует различать, действием каких сил обусловлено изучаемое явление. Например, в тех случаях, когда рассматривается движение тел, погруженных в жидкость (с преобладающим значением внутренних сил трения жидкости), подобие будет соблюдено, если числа Рейнольдса будут равны в обоих случаях, то есть результаты модельных исследований могут быть перенесены на натуру

в том случае, если  $Re_m = Re_n$  или  $\frac{v_n l_n}{\nu_n} = \frac{v_m l_m}{\nu_m}$ .

Например, если мы проводим исследования модели в жидкости, аналогичной натуре, — воде, то при модели, уменьшенной в десять раз по сравнению с натурой, мы будем обязаны увеличить скорость движения модели по сравнению с натурой также в десять раз для получения одного и того же значения числа Рейнольдса.

В тех случаях, когда движение обусловлено только действием сил тяжести, например, движение тел по поверхности жидкости с образованием поверхностных волн, подобие будет сохранено при равенстве чисел Фруда для модели и натуре.

Число Фруда выражается зависимостью

$$Fr = \frac{v^2}{gl}$$

где:  $Fr$  — число Фруда;

$v$  — скорость;

$l$  — линейный размер тела;

$g$  — ускорение силы тяжести.

<sup>1</sup> Индексом  $n$  обозначены величины, относящиеся к натуре, а индексом  $m$  — соответствующие величины, относящиеся к модели.

При постоянном значении ускорения силы тяжести и уменьшении модели также в десять раз по сравнению с натурой для соблюдения равенства чисел Фруда для модели и природы скорость движения модели должна быть  $v_m \approx 0,317 v_n$ .

Кроме указанных критериев Рейнольдса и Фруда, существует еще ряд других критериев подобия.

### Центр давления пластинки

Кроме рассмотренных вопросов, практический интерес представляет выяснение положения центра давления плоской пластинки.

Принято называть точку приложения полной гидродинамической силы, действующей на тело, центром давления, и условно считается, что она расположена на одной из осей симметрии. У криволинейных профилей

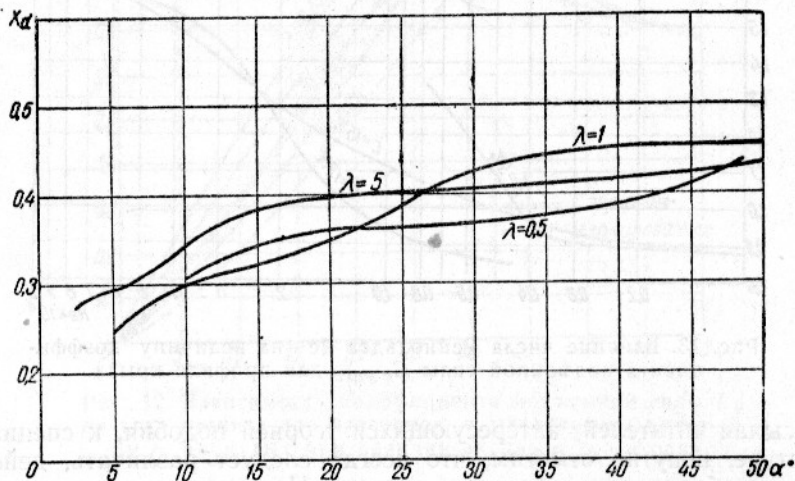


Рис. 14. Зависимость коэффициента центра давления  $X_d$  от угла атаки  $\alpha$  для пластинок с различным удлинением  $\lambda$ .

центр давления считают расположенным на хорде профиля (хордой профиля называется отрезок прямой, соединяющий переднюю и заднюю точки профиля). Для плоской пластинки считают, что центр давления находится на оси симметрии пластинки, расположенной вдоль направления движения.

Положение центра давления определяется координатой, отсчитываемой от переднего ребра пластинки. Эту координату в аэродинамике выражают безразмерным отношением координаты к хорде профиля (ширине пластинки) и называют коэффициентом центра давления  $x_d = \frac{x_1}{b}$ .

Положение центра давления определяется в основном профилем и величиной угла атаки профиля. На рис. 14 приведены зависимости коэффициента центра давления от угла атаки для пластинок различного удлинения.

Теоретическое решение для тонкой пластинки дает величину коэффициента центра давления  $x_d = 0,25$ . Практически для пластинок различного удлинения эта величина колеблется в пределах  $x_d = 0,2 \div 0,45$  в зависимости от угла атаки.

В аэродинамике известны и профили, у которых коэффициент центра давления остается постоянной величиной на значительном диапазоне изменений угла атаки. Если у такого профиля совместить положение центра тяжести с центром давления, то вращающий момент будет равен нулю и профиль будет работать устойчиво при заданном угле атаки.

## О ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТРАЛОВОЙ РАСПОРНОЙ ДОСКИ

Применяющиеся в настоящее время в траловом флоте доски имеют удлинение, близкое к  $\lambda = 0,5$ . Доска конструируется таким образом, чтобы угол атаки ее не превышал величины порядка  $25 \div 30^\circ$ .

При расчете траловой доски донного трала, в связи с тем, что один край доски идет по грунту, рекомендуется для доски с удлинением  $\lambda = 0,5$  принимать величины гидродинамических коэффициентов, полученных при исследованиях изолированных пластинок с удвоенным удлинением, то есть при  $\lambda = 1,0$ .

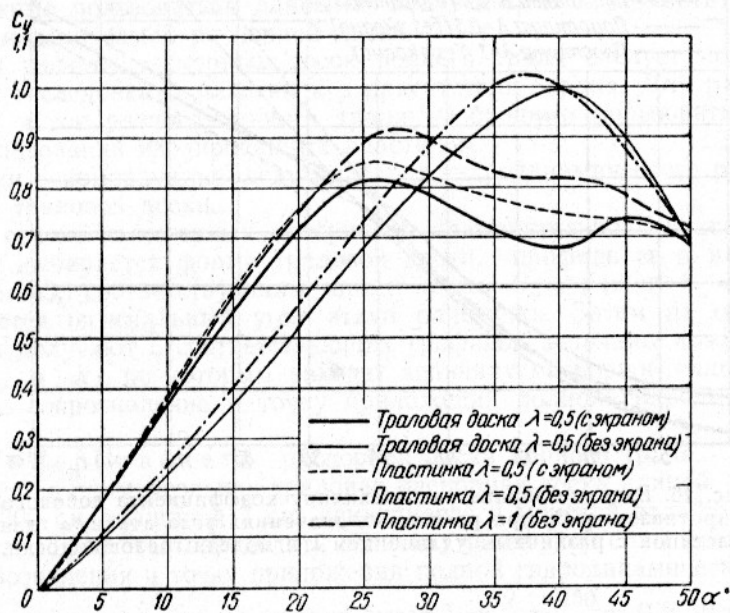


Рис. 15. Влияние экрана на величину коэффициента подъемной силы  $C_y$  при различных значениях угла атаки  $\alpha$  для пластинок с различным удлинением  $\lambda$  и модели траловой доски.

По значениям  $C_x$ ,  $C_y$  и  $x_d$  при принятом угле атаки путем расчетов по приведенным выше формулам определяют величину подъемной силы, лобового сопротивления и положения центра давления. Ошибка такого гидродинамического расчета распорной доски трала кроется в величине принятых гидродинамических коэффициентов  $C_x$ ,  $C_y$  и  $x_d$ . В этом случае распорная доска должна рассматриваться как пластинка, работающая в присутствии экрана. Как нами уже было показано, наличие экрана влияет на величину гидродинамических (аэродинамических) коэффициентов пластинки.

Для изучения этого вопроса были проведены специальные исследования под руководством Л. Г. Лойцанского в аэродинамической трубе. С этой целью была исследована модель траловой доски с  $\lambda = 0,5$  в присутствии экрана и без экрана, параллельно исследовались и пластинки с  $\lambda = 0,5$  и  $\lambda = 1,0$ .

Исследования показали, что расхождения в этом случае получаются ощутимыми (рис. 15, 16 и 17).

Величина коэффициента подъемной силы  $C_{y \text{ макс}}$  модели изолированной траловой доски по сравнению с изолированной пластинкой  $\lambda = 0,5$  отличается на 4%, величина коэффициента лобового сопротивления  $C_{x \text{ макс}}$  стлчается соответственно на 8%, а величина критического угла атаки для траловой доски больше на  $3^\circ$ . Сопоставление результатов исследова-

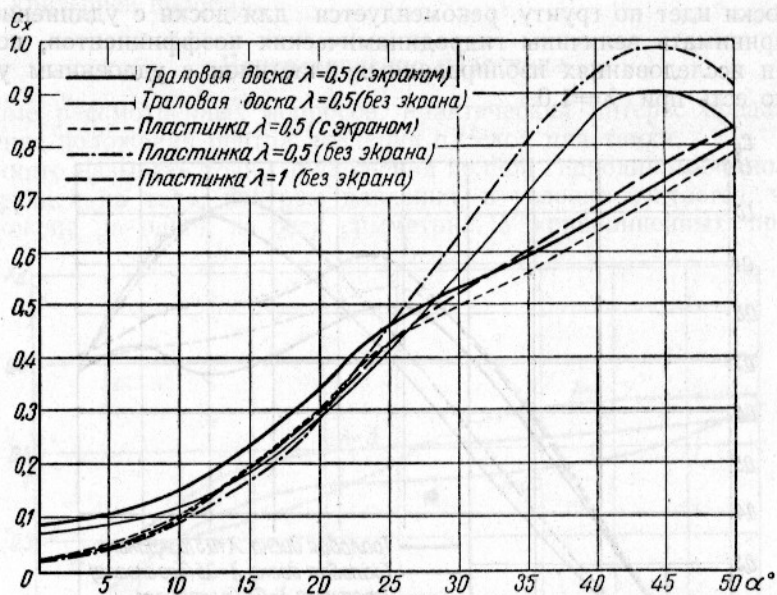


Рис. 16. Влияние экрана на величину коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  при различных значениях угла атаки  $\alpha$  для пластинок с различным удлинением  $\lambda$  и модели траловой доски.

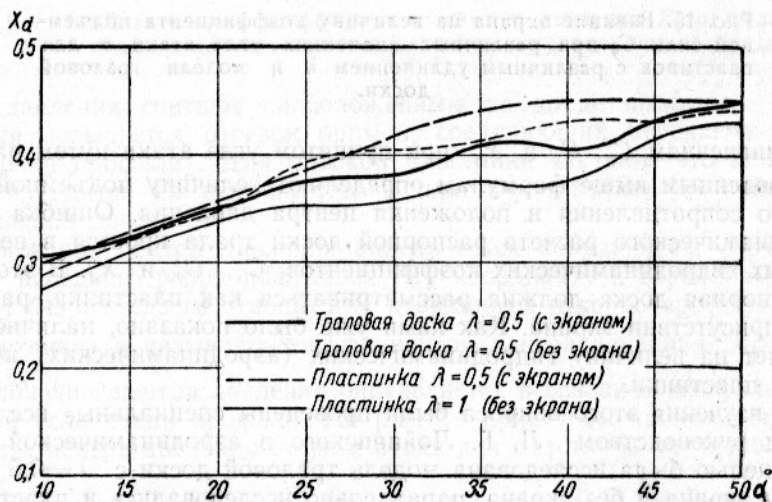


Рис. 17. Влияние экрана на величину коэффициента центра давления  $X_d$  при различных значениях угла атаки  $\alpha$  для пластинок с различным удлинением  $\lambda$  и модели траловой доски.

ний модели траловой доски в присутствии экрана и изолированной пластинки с  $\lambda=1$  дает, что величина коэффициента подъемной силы  $C_{y \text{ макс}}$  для траловой доски меньше на 11% соответствующей величины для пластинки с  $\lambda=1$ . Также меньше и величина критического угла атаки в этом случае.

Сравнение результатов исследований в одинаковых условиях пластинок и модели траловой распорной доски показывает, что для предварительных расчетов могут быть использованы данные, полученные в результате исследований плоских пластинок. Для окончательных расчетов необходимо пользоваться данными, полученными в результате исследований модели самой распорной доски.

Для расчета распорных досок донного трала следует использовать данные исследований пластинок в присутствии экрана. Для расчета распорных досок разноглубинного трала необходимо пользоваться данными исследований изолированных пластинок.

Нами рекомендуется следующий ход гидродинамического расчета распорной доски.

На основе изложенных материалов применительно к конкретным условиям выбирается форма траловой доски, профиль ее и назначаются размеры. По соответствующим зависимостям  $C_y = f(\alpha)$  и  $C_x = f(\alpha)$  определяется оптимальный угол атаки пластинки. Затем на основе этих данных получают с соответствующих графиков величины коэффициентов  $C_x$ ,  $C_y$  и  $x_d$ , по которым находят величину распорной силы доски, ее лобовое сопротивление и точку приложения полной гидродинамической силы.

Пример расчета распорной доски донного трала.

Имеется прямоугольная траловая распорная доска длиной 150 см, шириной 300 см, толщиной 7 см; движущаяся в морской воде со скоростью 1,5 м/сек. Требуется определить величину распорной силы доски, лобового сопротивления и точку приложения полной гидродинамической силы.

Для нашего случая удлинение будет  $\lambda = \frac{l}{b} = \frac{150}{300} = 0,5$ . Для пластинки с  $\lambda=0,5$  в присутствии экрана величина критического угла атаки лежит около  $27^\circ$ . Принимаем для расчета величину угла атаки доски  $\alpha = 25^\circ$ . Из графиков (рис. 15, 16 и 17) будем иметь

$$C_y = 0,82, C_x = 0,43 \text{ и } x_d = 0,38.$$

Величина распорной силы будет

$$R_y = C_y \frac{\rho v^2}{2} F = 0,82 \cdot \frac{104 \cdot 1,5^2}{2} \cdot 4,5 = 862 \text{ кг},$$

а величина лобового сопротивления

$$R_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} F = 0,43 \cdot \frac{104 \cdot 1,5^2}{2} \cdot 4,5 = 452 \text{ кг}.$$

Точка приложения полной гидродинамической силы отстоит от переднего ребра доски на расстоянии  $x_1 = x_d b = 0,38 \cdot 3,0 = 1,14$  м, на чем и заканчивается гидродинамический расчет распорной доски.

## ВЫВОДЫ

1. В результате гидроаэродинамических исследований пластинок различной формы в плане и различного удлинения установлено, что наибольшей величиной подъемной (распорной) силы обладают пластинки эллиптической формы с удлинением порядка  $\lambda=0,6$  (см. рис. 5).

2. Величина проектного угла атаки траловой распорной доски должна быть на  $5\div 7^\circ$  меньше критического угла атаки пластинки той же формы в плане и того же удлинения. Величина критического угла атаки для плоской пластинки колеблется от  $25$  до  $40^\circ$  (рис. 15) в зависимости от условий ее работы.

3. Из сопоставления результатов аэродинамических исследований пластинок различных удлинений и моделей траловых досок в свободном потоке и в присутствии экрана следует, что наличие экрана уменьшает (до 11%) величины соответствующих аэродинамических коэффициентов.

4. При гидродинамическом расчете распорных досок донного трала следует пользоваться данными гидроаэродинамических исследований пластинок в присутствии экрана (рис. 15, 16 и 17). Для разноглубинного трала, когда распорные доски идут в толще воды, соответственно следует пользоваться данными гидроаэродинамических исследований изолированных пластинок (рис. 15, 16 и 17).

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Ф. И., Горизонтальное раскрытие трала, «Рыбное хозяйство». № 2, 1948.
2. Баранов Ф. И., Теория и расчет орудий рыболовства, Пищепромиздат, 1948.
3. Мартынов А. К., Экспериментальная аэродинамика, Оборонгиз, 1950.
4. Михов Ф. М., Трал и техника тралового лова, Пищепромиздат, 1947.