

О понятии «фокус» в теории глиссирования

Понятие «фокус» как точка приложения приращения силы давно используется при анализе устойчивости крыльевых систем, но практически не разработано применительно к глиссирующим поверхностям, в то время как обеспечение устойчивости движения, к примеру, поперечно-реданированных корпусов представляет собой известную техническую проблему. Данная статья специалиста-гидродинамика, канд. техн. наук Е. А. Крамарева поможет взглянуть на нее по-новому.



В литературе нередко встречается путаница в понятиях «балансировка», «статическая» и «динамическая устойчивость» движения судна с динамическим типом поддержания. Поэтому целесообразно детальнее остановиться на их определениях.

Под *сбалансированностью* понимается уравнивание всех действующих на корпус сил и моментов. Так, суммарная аэрогидродинамическая сила поддержания равна весу рассматриваемого объекта, сила тяги движителей – сопротивлению среды, а суммарный момент всех упомянутых сил относительно центра тяжести (ЦТ) равен нулю.

Под *устойчивостью* движения понимается способность объекта, отклоненного сколь угодно малыми внешними силами от исходного сбалансированного режима движения, возвращаться к нему после прекращения действия возмущений. Различают статическую и динамическую устойчивость. Статическая устойчивость – это способность объекта противодействовать линейному или угловому перемещению, изменяющему ходовую посадку. Например, в случае приложения к катеру момента, дифферентующего его на корму, должен возникнуть гидродинамический момент, дифферентующий на нос. Наличие статической устойчивости является необходимым, но не достаточным условием наличия устойчивости в более широком понимании этого термина.

При большом запасе статической устойчивости, т. е. при возникновении значительных восстанавливающих сил и моментов в ответ на незначительные перемещения, возможна так называемая динамическая неустойчивость.

Кроме избытка статической устойчивости ей способствуют инерционность объекта (в частности, значительный момент инерции массы) и слабое гашение (демпфирование) колебаний, связанное, например, у глиссирующего судна с малой длиной смоченной поверхности.

При упомянутых условиях после прекращения возмущения происходит стремительное возвращение к исходному сбалансированному положению, по инерции оно «проскакивается», возникают значительные силы и моменты уже обратного знака и начинаются колебания. Чаще всего они быстро нарастают, но иногда сохраняют постоянную амплитуду.

При исследовании устойчивости полета самолета широко используется понятие «аэродинамический фокус» – точка, где приложено приращение подъемной силы при изменении угла атаки. В теории крыла обычно оперируют другим определением фокуса: как точки, момент относительно которой не зависит от угла атаки. Это определение связано со способом вычисления координат фокуса, оно менее наглядно, но совершенно тождественно первому. Действительно, поскольку изменение угла атаки сопровождается положительным или отрицательным приращением подъемной силы, момент относительно фокуса может оставаться постоянным только в том случае, если это приращение приложено в фокусе.

Легко понять, что условием статической устойчивости самолета является расположение фокуса позади ЦТ, так как в этом случае, например при случайном увеличении угла атаки, приложенное в фокусе приращение подъемной

силы будет способствовать возвращению к исходному положению.

При полете экраноплана картина усложняется, так как аэродинамические характеристики зависят не только от угла атаки, но и от высоты полета над экраном, которым обычно является поверхность воды. В этом случае наряду с упомянутым фокусом по углу атаки используют понятие фокуса по высоте полета как точки, в которой приложено приращение подъемной силы при изменении отстояния от экрана.

Условие статической устойчивости в этом случае также усложняется: необходимо, чтобы фокус по высоте находился впереди фокуса по углу. Качественную сторону дела легко понять, учитывая, что вблизи экрана подъемная сила с увеличением угла атаки растет, как и вне экрана, а с увеличением высоты полета падает. Поэтому, например, если под действием порыва встречного ветра произошел подлет, то при неизменном угле атаки подъемная сила упала бы, способствуя обеспечению статической устойчивости. Но если фокус по высоте полета сильно смещен назад, то отрицательное приращение подъемной силы приводит к увеличению угла атаки и за счет этого, напротив, к увеличению подъемной силы. Если это приращение окажется больше упомянутого падения подъемной силы за счет высоты полета, то статическая устойчивость будет потеряна. Наоборот, если фокус по высоте полета сильно смещен вперед, то запас статической устойчивости велик, но следует опасаться динамической неустойчивости – появления нарастающих угловых и вертикальных колебаний.

Гидродинамические характеристики глиссирующего судна, как и экрано-

плана, зависят от угла атаки и величины погружения–всплытия. Поэтому и к глиссирующему судну, в принципе, можно применить аналогичный подход, хотя, насколько известно, этого еще не делалось. Вообще, если в аэродинамике методика исследования устойчивости на базе продувок в аэродинамической трубе тщательно отработана, то вопросы устойчивости глиссирующих судов исследованы значительно слабее.

Попробуем для начала определить положение фокусов для глиссирующей плоской пластины в двухмерной постановке задачи, гидродинамические характеристики для которой наиболее полно исследованы теоретически и экспериментально. Эти исследования свидетельствуют о том, что при больших числах Фруда подъемная сила, действующая на глиссирующую пластину, пропорциональна углу атаки α , смоченной длине пластины l и скоростному напору $\rho v^2/2$, а сама эта сила приложена на расстоянии $0.75l$ от задней кромки пластины (Я.И.Войткунский, Р.Я.Першиц, И.А.Титов, «Справочник по теории корабля»).

При определении фокусов учитывается, что углы атаки обычно невелики, поэтому можно принимать $\sin \alpha \approx \alpha$ (рад.), $\cos \alpha \approx 1$. Рассматриваются малые угловые перемещения глиссирующей поверхности $\Delta \alpha$ и малые значения линейного заглубления Δh , а также малые изменения смоченной длины Δl , что позволяет пренебречь произведениями и квадратами этих величин.

С учетом перечисленных предпосылок найдем положение фокуса F_h по вертикальному перемещению глиссирующей пластины длиной l , расположенной под углом атаки α к поверхности воды. При увеличении, например, погружения пластины на величину Δh ее смоченная длина Δl увеличивается на $\Delta l = \Delta h / \Delta \alpha$ (рис.1, а). Поскольку скоростной напор и угол атаки останутся прежними, то подъемная сила получит приращение

ΔY , пропорциональное увеличению смоченной длины $\Delta Y = Y \Delta l / l = Y \cdot \Delta h / \Delta \alpha$. Первоначальное удаление центра давления от задней кромки глиссирующей поверхности $X_d = 0.75l$ увеличится до $X_d = 0.75l(l + \Delta l) = 0.75l(l + \Delta h / \Delta \alpha)$, и момент подъемной силы относительно задней кромки примет вид $M = (Y + \Delta l / \Delta \alpha) \cdot 0.75(l + \Delta h / \Delta \alpha) = 0.75Yl + 1.5Y \Delta h / \Delta \alpha$. Однако этот же момент в соответствии с определением понятия фокуса может быть найден как сумма исходного момента и момента от приращенного в фокусе F_h приращения подъемной силы $\Delta Y \cdot X_{Fh}$, т. е.:

$$M = 0.75Yl + 1.5Y \cdot \Delta h / \Delta \alpha;$$

$$M = 0.75Yl + \Delta Y \cdot X_{Fh};$$

$$M = 0.75Yl + Y \cdot \Delta h / \Delta \alpha \cdot X_{Fh}.$$

Таким образом, получаем $X_{Fh} / l = 1.5$.

Это положение фокуса отсчитывается от задней кромки пластины. В расчетах же динамики используется отстояние фокусов от ЦТ, который на реальных катерах обычно располагается очень близко к вертикали, проходящей через центр давления (ЦД). Отнесенное к смоченной длине отстояние фокуса F_h от ЦД будет: $X'_{Fh} / l = 0.75$, т. е. фокус лежит перед передней кромкой несущей поверхности на расстоянии $0.5l$.

На первый взгляд, такой результат может показаться странным. Но нет никаких оснований предполагать, что сколь угодно малое приращение смоченной длины при увеличении погружения несущей поверхности сможет привести к изменению характера распределения давлений – вся эпюра просто растягивается вдоль поверхности на величину Δl . Максимум давления в соответствии с теорией также сохранит свое значение, равное скоростному напору $\rho v^2/2$. Происходящее при увеличении погружения перераспределение давления (рис.2) сводится не только к возникновению давления на дополнительно погруженном в воду участке, но и к меньшему по величине, но сказывающемуся на большом плече

уменьшению давления, чем и объясняется вынос фокуса по высоте вперед за пределы несущей поверхности.

Рассмотрим теперь поворот плоской несущей поверхности относительно ее задней кромки на угол $\Delta \alpha$ (рис.1, б). С одной стороны, $\Delta h = l \Delta \alpha$, с другой – $\Delta h = -\Delta l(\alpha + \Delta \alpha)$, т.е. $\Delta h \approx -\alpha \Delta l$, и $\Delta l / l = -\Delta \alpha / \alpha$. Таким образом, за счет увеличения угла атаки α происходит пропорциональное $\Delta \alpha$ увеличение подъемной силы $\Delta Y = Y \cdot \Delta \alpha / \alpha$, а уменьшение смоченной длины на Δl сопровождается таким же уменьшением этой силы:

$$\Delta Y = Y \Delta l / l = -Y \Delta \alpha / \alpha.$$

В результате суммарный прирост подъемной силы отсутствует, и понятие фокуса по углу атаки F_α в данном случае теряет смысл.

Но при расчетах динамики рассматривается поворот относительно ЦТ, поэтому можно проанализировать поворот относительно близко к нему расположенного ЦД. Такой поворот можно представить, используя полученные выше зависимости, как поворот из исходного положения 1 в положение 2, происходящий вокруг задней кромки несущей поверхности, а затем поступательное перемещение на величину h_{23} в положение 3, при котором поверхность проходит через исходное положение ЦД (рис. 1, в). Аналогичные первому случаю выкладки мы опускаем по причине громоздкости, в результате вычислений находим, что отстояние фокуса по углу атаки от задней кромки несущей поверхности, отнесенное к смоченной длине, составляет $X_{F\alpha} / l = 0.5$, а отстояние от ЦД составляет

$$X'_{F\alpha} / l = -0.25.$$

Широко применяемый в теории устойчивости полета экранопланов разнос фокусов $\Delta X_{F\alpha} / l = X_{Fh} / l - X_{F\alpha} / l$ для глиссирующей пластины принимает положительное значение $\Delta X_{F\alpha} / l = 1.0$, что свидетельствует о наличии статической устойчивости, т.е. способности

Рис. 1. К определению положения фокуса

Δh – перемещение глиссирующей пластины относительно поверхности воды вниз (заглубление); F_h – фокус по заглублению; ΔY – приращение подъемной силы

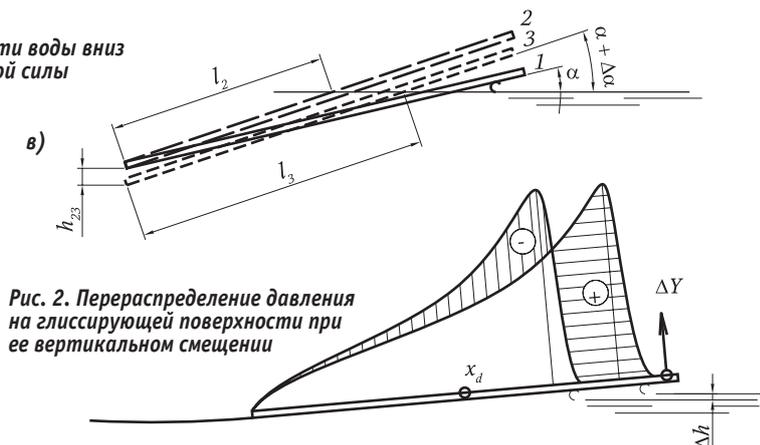
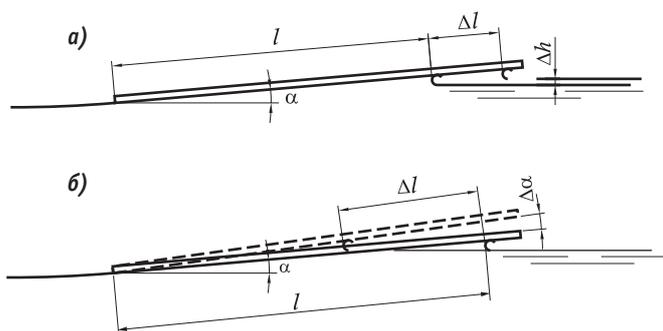


Рис. 2. Перераспределение давления на глиссирующей поверхности при ее вертикальном смещении

глизсирующей поверхности сопротивляться угловым и поступательным перемещениям. Но большое значение $\Delta X_F/l$ у экранопланов часто ведет к динамической неустойчивости. Соответственно при глизсировании с высокими скоростями нередко развиваются нарастающие, реже постоянные по амплитуде колебания (автоколебания).

Полученные данные о расположении гидродинамических фокусов позволяют наглядно объяснить некоторые явления, происходящие при глизсировании. Например, известно, что приचितом глизсировании увеличение скорости судна ведет к уменьшению его дифферента. Объяснить это уменьшением смоченной длины нельзя, так как положение ЦД, во всяком случае, у плоской пластины, однозначно связано со смоченной длиной. Поскольку ЦД катера находится практически на одной вертикали с занимающим постоянное положение ЦТ, то и смоченная длина при глизсировании с высокими скоростями должна оставаться неизменной. В действительности же рост скорости вызывает увеличение подъемной силы и соответственно всплытие катера. Последнее приводит к появлению в данном случае отрицательного приращения подъемной силы, приложен-

ного в фокусе по всплытию F_H , который, как было показано, находится далеко впереди ЦТ. В результате компенсируется прирост подъемной силы, и она остается равной по значению водоизмещению, а дифферент уменьшается. Введение понятия фокуса по всплытию также легко объясняет и причину увеличения дифферента при росте водоизмещения (центровка предполагается постоянной): следствием возросшего погружения в этом случае является положительное приращение подъемной силы, приложенное в фокусе по всплытию, т. е. также впереди ЦТ.

Полученные данные о расположении гидродинамических фокусов при глизсировании справедливы количественно только по отношению к редко применяемым плоскодонным обводам. Но упомянутые в заключение закономерности характерны в принципе и для килеватых форм. Поэтому можно предположить, что и в этом случае фокус по всплытию находится впереди ЦД, а фокус по углу атаки – позади от него. Видимо, по мере накопления данных о гидродинамических характеристиках килеватых несущих поверхностей можно будет и количественно определить положение фокусов.

Положение фокуса по углу атаки

получено при повороте относительно точки, расположенной на глизсирующей поверхности. В действительности ЦТ всегда находится выше. Поэтому легко убедиться, что поворот относительно ЦТ в сторону, например, увеличения угла атаки сопровождается смещением вперед самой несущей поверхности, ЦД и фокуса по углу атаки. Однако при реальных соотношениях смоченной длины и высоты ЦТ это смещение очень невелико.

При килеватом днище, снабженном продольными реданами, описанная картина качественно сохраняется. Но, поскольку с ростом скорости уменьшается смоченная ширина и соответственно смоченная поверхность, то уравнивание силы веса и гидродинамической силы поддержания сопровождается меньшим падением дифферента и описанные явления выражены слабее.

Стоит еще отметить, что благодаря положительному разнесу фокусов глизсирующей поверхности, являющимся необходимым, но недостаточным условием устойчивости движения, последняя может быть обеспечена на высоких скоростях и при достаточно больших оптимальных углах атаки, если использовать эффективные средства демпфирования колебаний.

СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ

для оптовых покупателей



При покупке
более 200 винтов

скидка **50%**
от розничной стоимости



ООО "1000 размеров" - официальный дистрибьютор Suzuki Marine
г. Владивосток, ул. Космодемьянской, 19а
тел. (4232)60-15-15, факс (4232)49-90-72 (+7 часов к московскому времени)
www.suzuki-motors.ru, e-mail: vodnik@1000size.ru

ТЕХНИКА ДЛЯ СПОРТА И ОТДЫХА
техника, запчасти, комплектующие, расходные материалы, аксессуары

www.megazip.ru

электронный каталог запчастей с ценами