Г. Волков

Основы гидроавиации

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 030
ББК 92
Г11

Г. Волков
Г11 Основы гидроавиации / Г. Волков – М.: Книга по Требованию, 2013. – 248 с.

ISBN 978-5-458-29167-5

В книге изложены основные сведения по теории гидросамолета и по практике его обслуживания.Книга рассчитана на летно-технический состав гидроавиации.

ISBN 978-5-458-29167-5

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГИДРОСАМОЛЕТА

Глава I

ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ

1. Понятие о теории корабля

Теория корабля — это наука, изучающая мореходные качества корабля, как то: пловучесть, остойчивость, плавность качки, ходкость и поворотливость. Применительно к теории гидросамолета нас могут интересовать лишь пловучесть и остойчивость.

Пловучестью называется способность корабля держаться на воде (плавать), имея на себе все предназначенные по роду его службы грузы при определенной осадке. Особое значение имеет сохранение кораблем пловучести при получении им пробоины и затоплении одного или двух соседних отсеков его корпуса.

Остойчивостью называется способность корабля плавать в прямом положении, когда на него не действуют внешние наклоняющие усилия.

Под действием же внешних усилий корабль, приняв наклонное положение, не должен опрокидываться, а по прекращении действия сил должен вернуться к первоначальному своему положению. Остойчивость корабля должна сохраняться во всех случаях плавания, а также при затоплении одного или двух соседних отсеков.

Если корабль при затоплении отсеков сохраняет пловучесть и остойчивость, то говорят, что корабль обладает *непотопляемостью*.

2. Пловучесть

На корабль, как и на любое плавающее тело, действует давление воды, направленное перпендикулярно к каждой точке подводной части его корпуса; при этом предполагается, что вода неподвижна относительно корабля и несжимаема (в пределах точности практических вычислений). Таким образом, давление воды на подводную часть корабля принимается действующим *гидростатически*.

Если в борту судна от ватерлинии до днища по обводу какого-либо шпангоута просверлить отверстия через каждый дециметр, то будем наблюдать воочию действие закона Паскаля и закона Бернулли: 1) о равномерном давлении жидкости на стенки сосуда и 2) о гидростатическом давлении, соответствующем постоянству поверхности уровня, т. е. высоте напора столба жидкости, находящегося над нашей точкой-отверстием.

Струйки, втекающие внутрь судна, будут бить с силой, растущей по мере удаления отверстия от уровня ватерлинии к днищу (рис. 3).

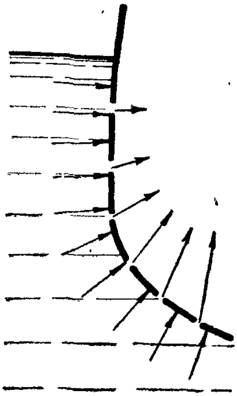

Рис. 3. Действие гидростатической силы

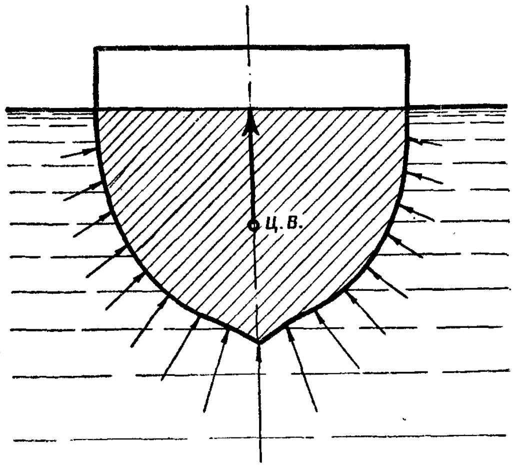

Рис. 4. Давление воды на подводную часть корабля

Вертикальная составляющая равнодействующей всех элементарных давлений на бесконечно большое число бесконечно малых площадок подводной части корабля, находящегося в состоянии покоя, называется *силой плавучести* или *силой поддержания*.

Пловучесть корабля равна по абсолютной величине, но обратна по знаку, весу воды в объеме погруженной части корабля; при этом сила пловучести проходит через центр тяжести объема, который называется *центром величины* или *центром водоизмещения* и обозначается двумя начальными буквами ЦВ (рис. 4).

Указанные свойства корабля вытекают из основного закона гидростатики, который был впервые открыт Архимедом[1], а поэтому и носит его имя.

[1] *Архимед* — величайший представитель греческой школы геометров. Жил с 287 г. по 212 г. до начала нашей эры. См. Архимед, Стэвин, Галилей, Паскаль, Начала гидростатики, перевод с английского, ГТТИ, М. Л., 1933 г.

3. Закон Архимеда

Закон Архимеда связывает геометрию корабля с механикой корабля, давая возможность по объему наружной части корпуса определить вес судна с его надводными и подводными устройствами.

Закон Архимеда формулируется так: всякое погруженное в жидкость тело теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненный им объем жидкости.

Закон Архимеда может быть проверен следующим образом. Если в ванну с водой, имеющую в одной из стенок отверстие для поддержания постоянного уровня, опустим деревянный брусок весом в 1 *кг*, то он, погрузившись в воду, вытеснит некоторый объем воды, которая выльется через отверстие в стенке ванны (рис. 5). Собрав вылившуюся воду в сосуд (вес его 0,3 *кг*) и взвесив его на весах, определим вес вылившейся воды. Сосуд с водой уравновесится гирями в 1,3 *кг*, следовательно, вес воды, вытесненной бруском, равен 1 *кг* (рис. 6).

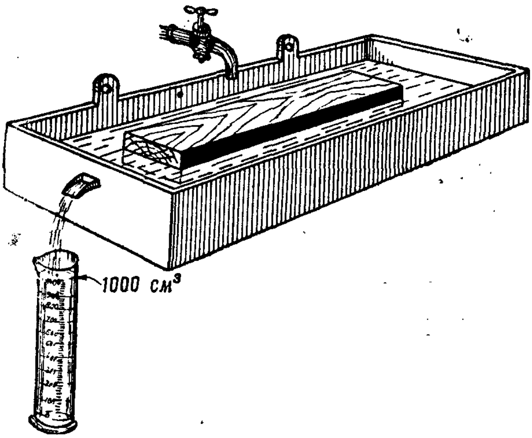

Рис. 5. Экспериментальная проверка закона Архимеда

Вынув из ванны деревянный брусок и долив воду до прежнего уровня, опустим в ванну железную коробку таких же размеров, что и брусок. Будет ли железная коробка плавать? Железная коробка будет плавать, но лишь при соблюдении одного условия: вес объема вытесненной воды не должен быть меньше веса коробки. Если стенки коробки сделать настолько толстыми, что вес ее превысит вес вытесненного объема воды, то коробка погрузится в воду, вода нальется через борт внутрь, и коробка потонет. Однако, закрыв герметично коробку крышкой и положив внутрь груз, можно так подобрать ее вес, что коробка будет плавать под поверхностью воды на некоторой глубине.

Пусть вес коробки в этом случае будет равен 2,5 *кг*. Коробка, погрузившись в воду, полностью вытеснила некоторый объем ее; взвесив вылившийся из ванны объем воды, найдем, что вес ее равен 1,5 *кг*, т. е. в этом случае наблюдаем явление к а ж у щ е й с я п о т е р и в е с а т е л о м, п о г р у ж е н н ы м в ж и д к о с т ь.

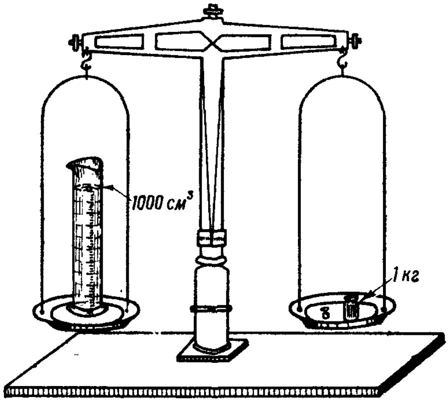

Рис. 6. Определение веса воды, вытесненной телом

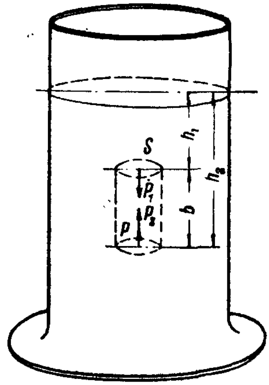

Рис. 7. Определение величины гидростатического давления воды

Выясним причины кажущейся потери веса телом. В стеклянном сосуде, наполненном водой, выделим мысленно некоторый объем жидкости (рис. 7) и будем считать его отвердевшим (при этом условимся считать, что вес отвердевшего объема остался неизменным). Весу этой отвердевшей массы жидкости противодействуют силы давления воды, которые снизу отвердевшей массы жидкости больше, чем сверху. Это положение легко может быть доказано, исходя из следующих соображений (рис. 7).

На каждый квадратный сантиметр верхней грани p_1 действует давление жидкости с высотой h_1:

$$p_1 = h_1 d, \tag{1}$$

где d — удельный вес жидкости.

Точно таким же образом на каждый квадратный сантиметр нижней грани действует давление жидкости, равное

$$p_2 = h_2 \cdot d \tag{2}$$

и направленное снизу вверх.

Сила P_1, действующая на верхнюю грань, равна произведению давления p_1 на площадь грани s:

$$P_1 = p_1 s = h_1 \cdot d \cdot s, \tag{3}$$

а на нижнюю

$$P_2 = p_2 s = h_2 \cdot d \cdot s. \tag{4}$$

Равнодействующая P сил P_1 и P_2 равна их разности:

$$P = P_2 - P_1; \tag{5}$$

$$P = h_2 ds - h_1 ds = (h_2 - h_1)\, ds,$$

но $h_2 - h_1 = b$ — высоте тела, поэтому

$$P = b \cdot d \cdot s, \tag{6}$$

а так как $bs = v$ — объему тела, то

$$P = v \cdot d. \tag{7}$$

Но произведение объема на удельный вес жидкости есть не что иное, как вес жидкости в объеме данного тела.

Возвращаясь к выделенному нами затвердевшему объему жидкости, мы из условия равновесия можем сделать следующее заключение: сила давления воды равна весу отвердевшего объема и направлена вверх.

Если теперь часть жидкости, воображаемой ранее отвердевшей, заменить другим телом такого же объема, то силы давления жидкости, действующие на это тело, останутся прежними, но условия плавания будут зависеть от его веса. Если вес его будет равен силе давления жидкости, то тело будет плавать внутри жидкости, если же сила давления воды будет больше его веса, то тело всплывет и примет положение, определяющееся равновесием сил веса и давления воды.

В том случае, если приходится поднимать какой-либо груз из воды, следует помнить о кажущейся потере веса и принимать это в расчет при определении прочности подъемных приспособлений. В качестве примера определим потребное усилие для подъема из воды сегмента весом в 600 *кг*, объем которого равен 0,35 $м^3$. Следовательно, при погружении его полностью в пресную воду, он вытеснит 0,35 $м^3$ воды, которая весит 350 *кг*, и усилие, которое необходимо приложить к сегменту, для того чтобы поднять его со дна до уровня воды, будет равно: 600 — 350 = 250 *кг*.

Но как только сегмент начнет подниматься над уровнем воды, прилагаемое для его подъема усилие начнет увеличиваться и будет равно 600 *кг* в тот момент, когда сегмент окажется над поверхностью воды. Поэтому если под водою для подъема сегмента можно было применить трос прочностью, достаточной для нагрузки в 350 *кг*, то при помощи этого троса вынуть из воды сегмент уже нельзя, так как он оборвется. Это следует учитывать при всех работах, связанных с подъемом грузов из-под уровня воды.

4. Водоизмещение корабля

Вообразим, что наш корабль мгновенно вынут из воды, а сама вода так же мгновенно замерзла. В этом случае во льду должно образоваться углубление, своего рода отпечаток, в точности равный подводному объему корабля (рис. 8). Наполним образовавшееся углубление водою точно до верхних краев, т. е. до уровня ватерлинии, измеряя израсходованное количество воды. Таким образом, мы определим объем углубления и заодно вычислим вес налитой воды.

Теперь мысленно разморозим наш водоем. Что с ним получится? Оказывается, что равновесие, в котором находилась масса воды, окружающей корабль, когда он плавал, сохранилось и тогда, когда мы корабль подменили водою. А это и значит, что вес корабля, т. е. вес корпуса с внутренними пространствами трюмов, надводными устройствами, несущего на себе множество грузов, в точности равен весу воды, взятой в объеме воображаемого углубления, т. е. подводного объема корпуса корабля.

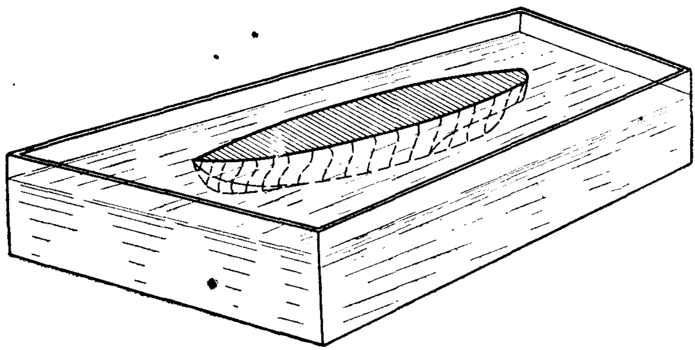

Рис. 8. Водоизмещение корабля

В теории корабля подводный объем корпуса корабля называется объемным водоизмещением, обозначается через V и измеряется в кубических метрах ($м^3$).

Если взять вес воды в объеме подводной части корабля, то получим так называемое весовое водоизмещение корабля, обозначаемое через D и измеряемое в тоннах ($т$).

Если обозначим вес корабля со всеми находящимися на нем грузами через G, то, приравняв D к G, получим основное уравнение плавающего тела — так называемое уравнение плавучести

$$D = G. \tag{8}$$

Весовое водоизмещение корабля D равно объему V, умноженному на удельный вес воды d:

$$D = d \cdot V, \tag{9}$$

при этом удельный вес воды принимается равным: для Балтийского моря 1,015, для Черного моря 1,025, для Атлантического океана 1,025—1,026, для Азовского и Каспийского морей 1,010—1,012, для рек и озер (пресных) 1,000.

Для того чтобы вытеснить и в море и в реке равный вес объема воды, корабль должен в реке, где вода „легче“, вытеснить больший объем, чем в море, где вода имеет большую плотность. Так как вытеснить больший или меньший объем воды корабль имеет возможность, только изменяя осадку, то, следовательно, в реке корабль должен погрузиться глубже, чем в море. Отношение осадок должно быть обратно отношению плотностей: осадка корабля в реке $H_р$ равна осадке в море $H_м$, помноженной на удельный вес морской воды d:

$$\frac{H_р}{H_м} = \frac{d_м}{d_р}; \; H_р = H_м \cdot d, \tag{10}$$

т. е. при переходе из реки в море осадка уменьшается, а из моря в реку осадка увеличивается.

Водоизмещение судна является мерой пловучести корабля, и чем больше водоизмещение корабля, тем его пловучесть больше. Однако одна величина водоизмещения еще не характеризует безопасности плавания корабля при изменении нагрузки или при его аварии. Главную роль при этом играет высота надводного борта, обеспечивающая запас пловучести.

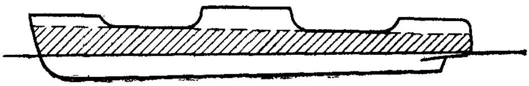

Рис. 9. Запас пловучести

Запасом пловучести корабля называется дополнительное количество груза, которое может принять корабль до полного погружения, обладая при этом пловучестью. Мерою запаса пловучести является величина непроницаемого для воды объема корпуса корабля, лежащего выше максимальной грузовой ватерлинии (рис. 9).

5. Поперечная статическая остойчивость

Мы усвоили, что пловучесть корабля, т. е. способность держаться на воде, не изменяя своей осадки, обусловливается равновесием между силами тяжести (весом) и силами давления воды, равнодействующая которых направлена вверх и является силой пловучести.

Благодаря симметричности форм корпуса корабля сила веса и сила пловучести лежат в одной диаметральной плоскости.

Пусть для корабля, плавающего в прямом положении, AA является следом грузовой ватерлинии ГВЛ, а BB — следом диаметральной плоскости (рис. 10). При наклонении на угол $\theta°$ под действием кренящей силы, приложенной извне, корабль будет плавать, погрузившись до некоторой другой ватерлинии, след которой будет A_1A_1, называемый действующей ватерлинией

ДВЛ в отличие от имевшейся первоначально ГВЛ. Для удобства рассуждения след ДВЛ нанесен на том же чертеже под углом крена θ° к первоначальной ГВЛ. Мы видим, что при этом правый борт вошел в воду больше, чем левый.

Обратим внимание на то, что подводный объем корпуса изменил свою форму, а нам уже известно, что центр величины (ЦВ) является центром тяжести (ЦТ) погруженного объема, поэтому из прежнего положения (точка C) ЦВ переместится в сторону наклонения корабля и будет находиться в точке C_1. Так как вес корабля при крене не изменился и его водоизмещение осталось неизменным, то и сила веса G, приложенная в ЦТ корабля,

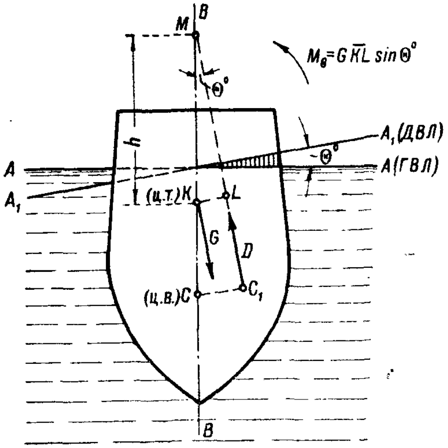

Рис. 10. Остойчивое плавание корабля

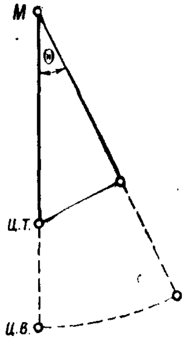

Рис. 11. Треугольник остойчивости

тоже осталась неизменной, а направление ее перпендикулярно к ДВЛ. Что же касается силы пловучести (D), приложенной уже теперь в точке C_1, то она направлена вверх параллельно силе G. При наклонном положении корабля силы G и D, оставаясь равными и параллельными друг другу, уже не лежат в одной плоскости и образуют пару сил.

Действие этих сил определяется величиной момента, зависящего от величины сил и плеча пары $\overline{KL}$. Плечом пары ($\overline{KL}$) называется расстояние между направлением силы пловучести (D) и силы тяжести (G) накрененного корабля; оно зависит от угла крена (θ°) и от формы корпуса корабля. Плечо это является катетом прямоугольного треугольника, называемого треугольником остойчивости (рис. 11), у которого одной вершиной является центр тяжести (ЦТ) корабля, второй — основание перпендикуляра, опущенного из ЦТ на направление силы пловучести чсети, а третья вершина носит название **метацентра**, обозначаемого буквой M. Из рис. 10 видно, что если точка M находится выше ЦТ корабля, то корабль **остойчив**, так как по прекращении действия внешней силы, вызвавшей наклонение корабля на угол θ°, пара сил, образуемая весом корабля G и силой пловучести D, стремится уменьшить угол крена и вернуть корабль в прежнее положение.

Рассмотренная нами пара сил имеет решающее значение для остойчивости корабля: чем больше величина этой пары, тем труднее кораблю опрокинуться, так как получающийся при этом момент стремится вернуть корабль в его прежнее положение; по этим соображениям эту пару сил называют **выпрямляющей парой**, а момент **восстанавливающим**.

Величина плеча выпрямляющей пары определяется из треугольника остойчивости и имеет выражение:

$$\overline{KL} = \overline{MK} \cdot \sin \theta^\circ. \quad (11)$$

Соответственно с этим величина восстанавливающего момента будет:

$$\mathfrak{m} = G \cdot \overline{KL} = G \cdot \overline{MK} \cdot \sin \theta^\circ. \quad (12)$$

Если центр величины (ЦВ) при наклонении расположится на одной вертикали с центром тяжести (ЦТ) корабля, то момент пары равен нулю, и по прекращении действия внешней силы корабль останется плавать в новом положении с углом крена θ°. В этом случае точка M (метацентр) совмещается с центром тяжести корабля (точкой K), и корабль **остойчивостью не обладает** — находится в безразличном равновесии (рис. 12).

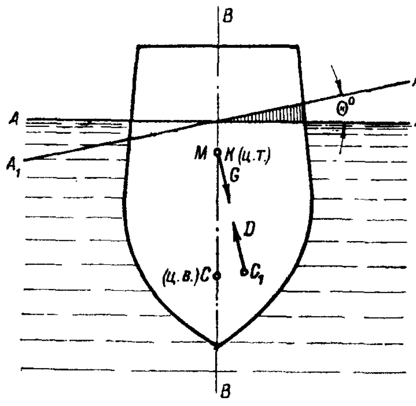

Рис. 12. Безразличное равновесие корабля

И, наконец, если центр величины (ЦВ) лежит между отвесной линией, проведенной из центра тяжести (ЦТ) корабля, и точкой C, то пара сил создает момент, вращающий корпус корабля в ту же сторону, в какую действует и внешняя сила, вызвавшая крен корабля. Корабль будет стремиться увеличить угол крена и перевернуться. В этом случае точка M (метацентр) находится ниже центра тяжести (ЦТ) корабля, и корабль **неостойчив** (рис. 13). В этом случае пара сил и момент носят название **опрокидывающей пары** и **опрокидывающего момента**.

Из изложенного выше следует, что изучение остойчивости корабля сводится к рассмотрению взаимного положения центра величины (ЦВ) и центра тяжести (ЦТ) корабля.

Обычно вместо рассмотрения положения переменной точки C_1 (ЦВ) исследуют положение точки M (метацентра). Возвышение метацентра (M) над центром величины (точкой C) носит название начального метацентрического радиуса ρ_0 (рис. 14).

Разность

$$h = \rho_0 - a, \tag{13}$$

где a — возвышение центра тяжести над центром величины, называется начальной метацентрической высотой и представляет собою возвышение метацентра (M) над центром тяжести (точкой K).

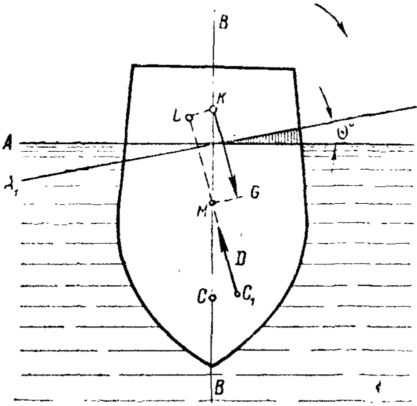

Рис. 13. Неостойчивое плавание корабля

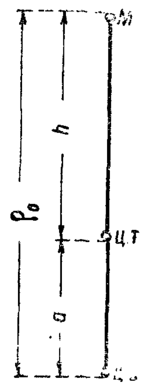

Рис. 14. Начальный метацентрический радиус

Если считать h положительной от центра тяжести вверх, то условия остойчивости могут быть выражены так:

$h > 0$ корабль остойчив

$h < 0$ корабль неостойчив

$h = 0$ безразличное равновесие.

Таким образом, степень остойчивости в начальном положении равновесия может быть охарактеризована знаком и величиной h.

Обратившись к треугольнику остойчивости, мы увидим, что сторона $\overline{MK}$ равна h, и тогда формулы (11) и (12) перепишутся так:

$$\overline{KL} = \overline{MK} \cdot \sin\theta^\circ = h \cdot \sin\theta^\circ \tag{14}$$