

РАСЧЕТ ПЛАВУЧЕСТИ КРЫЛЬЕВ СТАВНЫХ НЕВОДОВ

Инж. В. Н. ГИРЕНКО

Известно, что эффективность работы ставных неводов в значительной степени зависит от правильности оснастки крыльев наплавами. Однако нередко на практике, не имея простых и доступных методов расчета плавучести, крылья оснащают наплавами неправильно. При этом снижается уловистость и штормоустойчивость невода.

Действительно, если плавучесть занижена, верхняя подбора крыла затопливается при рабочих скоростях течения (v_p). Это отрицательно отражается на уловистости. Если же плавучесть завышена, уменьшается глубина погружения верхней подборы в толщу воды во время шторма. Следовательно, крыло подвергается действию волн и легко может быть разрушено.

На рис. 1 изображены применяемые схемы крепления крыла.

Рассмотрим расчет плавучести крыльев, установленных на коротких оттяжках. Мысленно вырежем из крыла по всей его высоте $s_{кр}$ полосу шириной по подборам 1 пог. м. Влияние отброшенных частей крыла условно компенсируем внутренними силами, действующими по сечениям, так, чтобы полоска крыла, как и прежде, оставалась в равновесии. Будем считать, что в этом положении она удерживается короткими оттяжками так, как показано в правой части на рис. 1, в.

При этом заданными элементами конструкции крыла являются длина оттяжек l , высота крыла $s_{кр}$ и расстояния b и H (H — глубина места установки крыла).

Вырезанную полоску крыла расположим в прямоугольной системе координат (рис. 2). Примем, что нагрузка R_v от давления потока воды, обусловленная действием равномерного по глубине течения, имеющего скорость v_p (рабочая скорость), равномерно распределяется по площади проекции полоски крыла на плоскость xz .

Как известно, в этом случае поперечные сечения AB полоски крыла принимают форму параболы, уравнение которой имеет вид

$$y = \frac{x^2}{2p}, \quad (1)$$

где p — параметр параболы.

Рассмотрим силы, действующие на верхнюю подбору крыла.

Единственной горизонтальной силой, действующей на рассматриваемую полоску крыла, является давление потока воды.

Известно, что сопротивление плоской сети, расположенной перпендикулярно направлению течения, определяется по формуле Ф. И. Баранова

$$R = 180 \frac{d}{a} F v^2. \quad (2)$$

Применительно к рассматриваемому нами случаю, когда форма полоски крыла не является плоской, а также с учетом влияния коэф-

коэффициентов посадки, формула (2) может быть представлена в следующем виде [2]:

$$R = 180 \frac{d}{a} \Theta \chi F v_p^2, \quad (3)$$

где: v_p — рабочая скорость;

Θ — коэффициент, учитывающий влияние запаса высоты сети;

χ — коэффициент, учитывающий влияние коэффициентов посадки.

Величина коэффициента Θ зависит от отношения длины хорды L к высоте сети s .

А. И. Трещевым опытным путем установлено, что при

$L/s = 1$	$\Theta = 1,00$
$L/s = 0,75$	$\Theta = 1,05$
$L/s = 0,5$	$\Theta = 0,60$

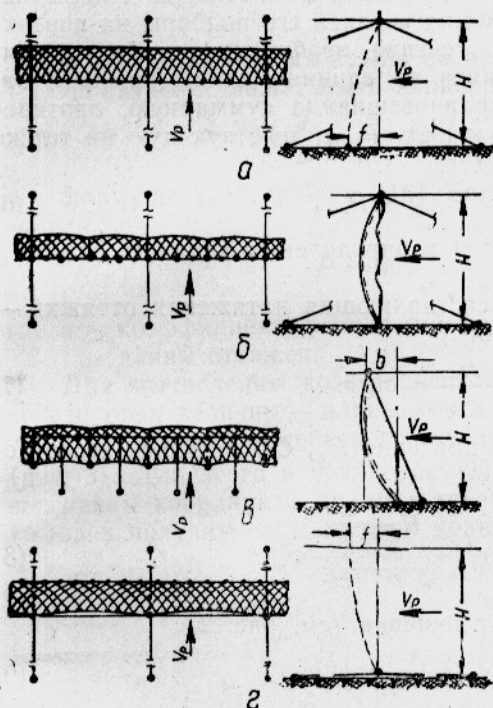


Рис. 1. Схемы крепления крыла:

а — длинными (горизонтальными) оттяжками; б — длинными (горизонтальными) и короткими (вертикальными) оттяжками; в — короткими оттяжками; г — за нижнюю подбору (донное крепление)

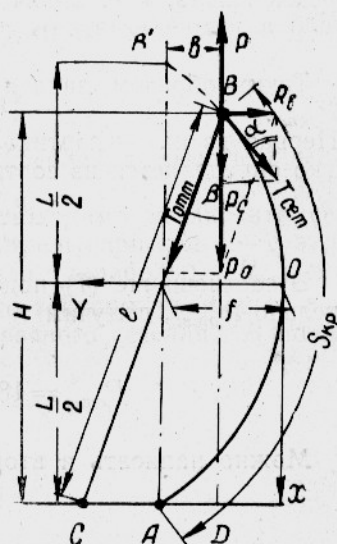


Рис. 2. Схема сил, действующих на вертикальную полосу крыла

Запас высоты крыла на практике ограничен обычно пределами 0,1—0,3 глубины места установки. Величина отношения L/s при этом находится в пределах 0,91—0,77 и; следовательно, коэффициент Θ в указанных пределах запаса высоты крыла может быть принят равным единице.

Величина коэффициента χ зависит от посадочных коэффициентов u_1 (по горизонтали) и u_2 (по вертикали) и определяется по формуле

$$\chi = \frac{0,5}{u_1 u_2}. \quad (4)$$

В большинстве случаев посадка дель крыла на подбору делается с коэффициентами $u_1 = u_2 = 0,707$. Тогда $\chi = 1$. Горизонтальная нагрузка R от давления потока воды на полосу крыла распределяется на верхнюю и нижнюю подбору. Причем, как видно из рис. 2, действующую

шая на верхнюю подбору горизонтальная сила будет составлять

$$R_s = 180 \frac{d}{a} \Theta \chi \left(H - \frac{L}{2} \right) v_p^2. \quad (5)$$

В систему вертикальных сил входят подъемная сила наплавов, силы, топящие верхнюю подбору крыла, распорные силы сетного полотна и силы собственного веса в воде элементов конструкции.

Рассмотрим основные из них — подъемную силу наплавов и силы, топящие верхнюю подбору крыла (распорные силы и силы веса в воде элементов конструкции не учитываются).

К силам, топящим верхнюю подбору крыла, относятся P_{omm} — вертикальная составляющая натяжения оттяжки и P_{cem} — вертикальная составляющая натяжения верхней части сетной полоски. Для нормальной работы крыла, т. е. для удержания верхней его подбору на поверхности моря при рабочих скоростях течения, необходимо, чтобы подъемная сила наплавов P , приходящаяся на единицу длины крыла и направленная вертикально вверх, уравновешивала суммарную, противоположно направленную ей топящую силу $P_{мон}$, действующую на тот же отрезок крыла, т. е. чтобы

$$P = P_{мон} = P_{omm} + P_{cem}. \quad (6)$$

Таким образом, задача сводится к определению топящих сил P_{omm} и P_{cem} .

Первая из них — вертикальная составляющая натяжения оттяжки — легко определяется из соотношения

$$\frac{P_{omm}}{R_s} = \frac{H}{CD} = \text{ctg } \beta. \quad (7)$$

В соотношении (7) подставим значения R_s , CD и, решив его относительно P_{omm} , получим

$$P_{omm} = 180 \frac{d}{a} \Theta \chi H \frac{H - \frac{L}{2}}{\sqrt{l^2 - H^2}} v_p^2. \quad (8)$$

Можно написать и второе соотношение (см. рис. 2)

$$\frac{R_s}{P_{cem}} = \text{tg } \alpha_s, \quad (9)$$

откуда определим вертикальную составляющую натяжения верхней части полоски крыла

$$P_{cem} = \frac{R_s}{\text{tg } \alpha_s}. \quad (10)$$

Но

$$\text{tg } \alpha = \frac{dy}{dx} = \left(\frac{x^2}{2p} \right)' = \frac{x}{p}.$$

В частном случае при $x = H - \frac{L}{2}$

$$\text{tg } \alpha_s = \frac{H - \frac{L}{2}}{p}. \quad (11)$$

Подставляя в формулу (10) значения R_s и $\text{tg } \alpha_s$, получим

$$P_{cem} = 180 \frac{d}{a} \Theta \chi p v_p^2, \quad (12)$$

где

$$p = \frac{L^3}{8f}. \quad (13)$$

Значения $P_{отт}$ и $P_{вет}$ подставим в исходную формулу (6), после чего получим искомую подъемную силу наплавов, приходящуюся на единицу длины крыла.

$$P = 90 \frac{d}{a} \cdot \frac{\theta}{u_1 u_2} \left(H \frac{H - \frac{L}{2}}{\sqrt{l^2 - H^2}} + \frac{L^2}{8f} \right) v_p^2. \quad (14)$$

Формула (14) без каких-либо изменений применима и к случаю крепления крыла длинными и короткими оттяжками.

Применительно к случаю крепления крыла за нижнюю подбору в формуле (14) необходимо положить, что длина хорды $L=2H$, а длина оттяжек $l=0$. Тогда формула примет вид

$$P = 90 \frac{d}{a} \cdot \frac{\theta}{u_1 u_2} \cdot \frac{H^2}{2f} v_p^2. \quad (15)$$

В случае крепления крыла за верхнюю подбору формула для расчета плавучести может быть записана так

$$P = 90 \frac{d}{a} \cdot \frac{\theta}{u_1 u_2} H^2 \left(\frac{1}{\sqrt{l^2 - H^2}} + \frac{1}{2f} \right) v_p^2. \quad (16)$$

Формулы (14), (15) и (16) могут быть представлены и в общем виде

$$P = 90 \frac{d}{a} \cdot \frac{\theta}{u_1 u_2} n H v_p^2, \quad (17)$$

где n — коэффициент, зависящий от вида крепления, высоты крыла и длины оттяжек.

Для вычисления коэффициентов n необходимо установить связь неизвестных величин — длины хорды L и стрелы прогиба f — с заданными элементами поперечного сечения крыла (параболы) — H , b и $s_{кр}$ (рис. 3). Для этого в уравнение (1) вместо текущих координат x и y подставим координаты крайних точек поперечного сечения AB полоски крыла и получим систему двух уравнений

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{L^2}{8p}; \\ f_1 &= \frac{L_1^2}{8p} \end{aligned} \right\}, \quad (18)$$

где

$$f_1 = f - b; \quad L_1 = 2H - L.$$

Подставив в уравнение (18) значения f_1 и L_1 и исключив из них параметр параболы p путем их совместного решения относительно хорды L , получим следующее квадратное уравнение:

$$bL^2 - 4HfL + 4H^2f = 0. \quad (19)$$

Уравнение (19) имеет два корня, из которых условиям задачи удовлетворяет следующий:

$$L = \frac{2H}{b} (f - \sqrt{f^2 - bf}). \quad (20)$$

Полученная формула связывает неизвестные величины L и f с заданными элементами параболы (поперечного сечения крыла) H и b .

Другая зависимость интересующих нас величин может быть получена на основании известной формулы, выражающей длину параболы.

На основании рис. 3 имеем

$$s_{кр} = \frac{1}{2} (s + s_1). \quad (21)$$

Подставляя в выражение (21) соответствующие значения длин парабол, получим

$$s_{кр} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L^2}{8f} \left[\frac{4f}{L} \sqrt{1 + 16 \frac{f^2}{L^2}} + \ln \left(\frac{4f}{L} + \sqrt{1 + 16 \frac{f^2}{L^2}} \right) \right] + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_1^2}{8f_1} \left[\frac{4f_1}{L_1} \sqrt{1 + 16 \frac{f_1^2}{L_1^2}} + \ln \left(\frac{4f_1}{L_1} + \sqrt{1 + 16 \frac{f_1^2}{L_1^2}} \right) \right], \quad (22)$$

где:

$$f_1 = f - b; \quad L_1 = 2H - L.$$

С помощью формул (20) и (22) искомые элементы параболы — длина хорды L и стрела прогиба f — могут быть найдены путем подбора.

Для этого примем

$$b = mf, \quad (23)$$

где m задается в первом приближении.

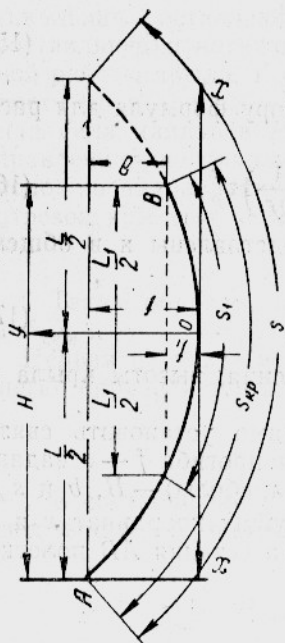


Рис. 3. Вспомогательная схема к расчету

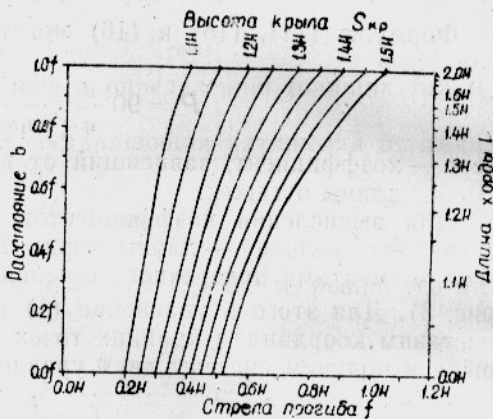


Рис. 4. График зависимости H , b и $s_{кр}$

Тогда по формуле (20) найдем L в долях H . Значение L подставим в формулу (22) и из последней определим f . Подбор f подобным способом должен продолжаться до тех пор, пока не будет найдено значение m в выражении (23), удовлетворяющее заданной величине b . Для облегчения определения L и f по заданным элементам параболы (поперечного сечения крыла) H , b и $s_{кр}$ на основании формул (20) и (22) построен график (рис. 4), выражающий связь указанных величин. По левой вертикальной стороне графика отложены величины b в долях f . По правой его стороне в долях H отложены значения L , отвечающие значениям b . По нижней горизонтальной стороне отложены значения f в долях H , соответствующие значениям высоты крыла $s_{кр}$ (длинам парабол), изображенных на графике кривыми в пределах от 1,1 до 1,5 H . Пользование графиком поясним на примере. Допустим, что дано $b = 0,6f$ и $s_{кр} = 1,2H$. Требуется определить f и L .

На левой стороне графика находим заданное значение $b = 0,6f$. Из найденной точки проводим горизонтальную прямую до пересечения с противоположной стороной графика. Точка пересечения даст искомую величину $L = 1,23H$. Из точки пересечения той же горизонтальной прямой с кривой, соответствующей высоте крыла $s_{кр} = 1,2H$, опустим пер-

пендикуляр на нижнюю горизонтальную сторону графика. Точка пересечения перпендикуляра с этой стороной даст искомое значение $f = 0,435 H$. В случае, когда расстояние b задано в долях H , стрела прогиба f и длина хорды L могут быть найдены подобным же путем рядом последовательных проб.

С помощью графика (см. рис. 4) вычислены значения коэффициентов n , необходимые для пользования формулой (17). Значения коэффициентов n для рассматриваемых видов крепления крыла и наиболее употребительных в практике длин оттяжек и высот крыла приведены в таблице.

Вид крепления крыла	Длина оттяжек в долях H		Высота крыла в долях H	Расстояние b между верхней и нижней подборами по горизонтали в долях f	Величина коэффициента n	Расчетная формула
	длинных	коротких				
На длинных оттяжках .	3	—	$\left\{ \begin{array}{l} 1,10 \\ 1,15 \\ 1,20 \\ 1,25 \\ 1,30 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,604 \\ 1,354 \\ 1,201 \\ 1,100 \\ 1,020 \end{array} \right.$	$P = 90 \frac{d}{a} \cdot \frac{\theta}{a_1 a_2} n H v_p^2$
На длинных и коротких оттяжках	3	$\left\{ \begin{array}{l} 1,10 \\ 1,15 \\ 1,20 \\ 1,25 \\ 1,30 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,10 \\ 1,15 \\ 1,20 \\ 1,25 \\ 1,30 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,802 \\ 0,677 \\ 0,600 \\ 0,550 \\ 0,510 \end{array} \right.$	
На коротких оттяжках	—	—	$\left\{ \begin{array}{l} 1,10 \\ 1,15 \\ 1,20 \\ 1,25 \\ 1,30 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,66 \\ 0,66 \\ 0,66 \\ 0,66 \\ 0,66 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,465 \\ 1,180 \\ 0,997 \\ 0,883 \\ 0,797 \end{array} \right.$	
За нижнюю подбору . .	—	—	$\left\{ \begin{array}{l} 1,10 \\ 1,15 \\ 1,20 \\ 1,25 \\ 1,30 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1,250 \\ 1,000 \\ 0,847 \\ 0,746 \\ 0,666 \end{array} \right.$	

С целью предельно упростить и облегчить расчеты плавучести для всех рассмотренных видов крепления крыла на рис. 5 приведены расчетные графики, построенные с помощью формулы (17).

В нижней части графиков по левой стороне нанесена шкала глубин места установки крыла H в пределах от 5 до 35 м. Против нее в виде наклонных прямых изображены рабочие скорости течения в пределах от 0,1 до 0,35 м/сек. В верхней части графиков с правой стороны нанесена шкала плавучести крыльев в кг на 1 пог. м длины крыла, отвечающая случаю, когда $\frac{d}{a}$, θ и χ равны единице. Влево от этой шкалы наклонными прямыми изображены высоты крыла в пределах от 1,1 до 1,3H и длины оттяжек.

Пользование расчетными графиками поясним на примере. Допустим, что крыло желают установить на коротких оттяжках, причем принято, что расстояние между верхней и нижней подборами по горизонтали $b = 0,66f$, длина оттяжек l равна высоте крыла $s_{кр}$ и превышает на 10% глубину места установки, т. е. $l = s_{кр} = 1,1H$, глубина места установки $H = 25$ м, рабочая скорость течения $v_p = 0,25$ м/сек.

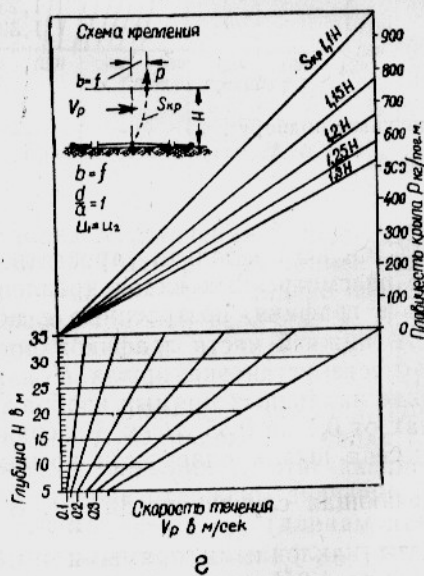
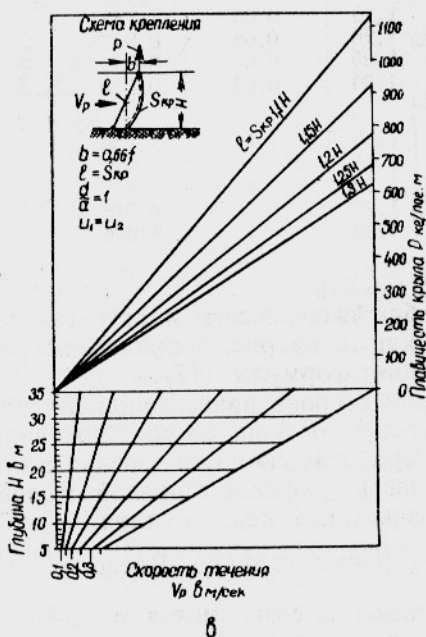
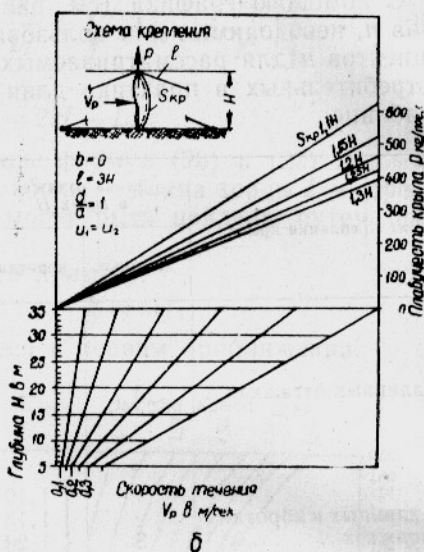
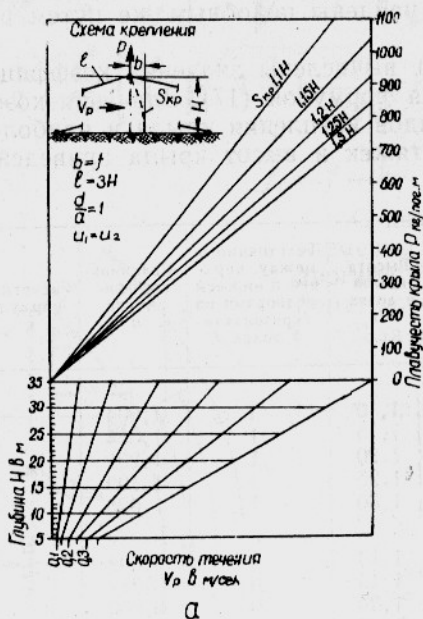


Рис. 5. Расчетный график для случая крепления крыла:

а — длинными оттяжками; б — длинными и короткими оттяжками; в — короткими оттяжками; г — за нижнюю подбурю

Требуется определить плавучесть, необходимую для удержания верхней подборы крыла на поверхности моря при рабочей скорости течения. В нижней части графика (рис. 5, в) на левой его стороне находим заданную глубину установки крыла $H=25$ м. Из найденной точки проводим горизонтальную прямую до пересечения с наклонной прямой, выражающей заданное значение рабочей скорости течения $v_p=0,25$ м/сек. Из точки пересечения данных прямых проводим вертикальную прямую в верхнюю часть графика до пересечения с наклонной прямой, выражающей заданную длину оттяжки и высоту дели крыла $l=s_{кр}=1,1H$, и из этой точки проводим горизонтальную прямую до пересечения с вертикальной стороной графика. В точке пересечения отсчитываем результат $P=415$ кг/пог. м, отвечающий случаю $\frac{d}{a}=1$. Для заданного случая, когда $\frac{d}{a}=0,02$, $P=415 \cdot 0,02=8,3$ кг/пог. м.

После этого обычным путем необходимо учесть вес элементов конструкции в воде, приходящийся на 1 пог. м длины крыла. Если надо учесть коэффициенты посадки крыла, отличные от $u_1=u_2=0,707$, полученный результат необходимо умножить на коэффициент χ , вычисляемый для заданных коэффициентов посадки по формуле (4). В исключительных случаях, не охваченных графиками, изображенными на рис. 5, можно рассчитать плавучесть, пользуясь формулами (14), (15) и (16), а также графиком, изображенным на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный метод расчета плавучести крыльев ставных неводов позволяет упростить и ускорить расчет неводов. Он разработан применительно к неводам, устанавливаемым на Сахалине, и может быть рекомендован для проверки на других бассейнах.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Ф. И., Теория и расчет орудий рыболовства, Пищепромиздат, 1948.
2. Трещев А. И., Исследование нагрузок на стационарные орудия рыболовства, Труды ВНИРО, т. XXX, Пищепромиздат, 1955.