

**РАСЧЕТ МАНЕВРЕННОСТИ
И ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ
МАНЕВРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ СУДОВ
ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО
ПЛАВАНИЯ**

**Руководство
Р.006-2004**



**Москва
2016**

Утверждено	приказами Российского Речного Регистра от 14.07.2004 № 20-п, от 13.09.2016 № 56-п (Извещение № 1 об изменении)
Введено в действие	с 16.08.2004, Извещение № 1 об изменении — с 19.09.2016
Издание	1

Ответственный за выпуск — С. В. Канурный

Оригинал-макет — Е. Л. Багров

Никакая часть настоящего издания не может для целей продажи воспроизводиться, закладываться в поисковую систему или передаваться в любой форме или любыми средствами, включая электронные, механические, фотокопировальные или иные средства, без получения предварительного письменного разрешения федерального автономного учреждения «Российский Речной Регистр».

© Российский Речной Регистр, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие положения	4
2 Обозначения, определения и пояснения	4
3 Общие указания к выполнению расчетов маневренности	6
4 Поворотливость	7
5 Устойчивость на курсе	21
6 Управляемость при неработающих двигателях	26
7 Способность судна к экстренному торможению.....	27
8 Управляемость при ветре	29
9 Указания по проведению натурных испытаний	32
10 Таблица маневренности	35

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящее Руководство предназначено для использования при расчетах численных критериев, регламентирующих маневренность судов, и проведении натурных маневренных испытаний в соответствии с указаниями 6 ч. II Правил классификации и постройки судов (далее – ПКПС).

2 ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ

2.1 Термины, относящиеся к общей терминологии Правил, их определения и сокращения приведены в 6.2.1 ч. II ПКПС.

2.2 В настоящем Руководстве приняты следующие обозначения:

$A_0 = \pi D^2/4$ – площадь диска гребного винта, м^2 ;

A_E – площадь спрямленной поверхности гребного винта, м^2 ;

A_R – площадь пера руля, м^2 ;

A'_R – площадь части пера руля, расположенной в струе гребного винта, м^2 ;

A''_R – площадь части пера руля, расположенной вне струи гребного винта, м^2 ;

B – ширина судна, м ;

C_B – коэффициент общей полноты корпуса судна;

C_{T0} , C_{T0} – коэффициенты нагрузки при номинальном режиме движения судна (при v_0 и n_0);

C_{yk} – характеристика корпуса судна;

D – диаметр гребного винта, м ;

$D_{ц}$ – диаметр установившейся циркуляции, м ;

$D_{ц}/L = 2/\Omega$ – относительный диаметр установившейся циркуляции;

k_v – коэффициент увеличения скорости в районе ДРК при криволинейном движении судна;

L – длина судна, м ;

l_H – длина насадки, м ;

$l'_H = l_H/D$ – относительная длина насадки;

m – масса судна, т ;

n и n_M – частота вращения гребного винта, с^{-1} и мин^{-1} ;

n_0 – номинальная частота вращения гребного винта, с^{-1} ;

R – сопротивление воды движению судна, Н ;

R_0 – сопротивление воды движению судна при v_0 , Н ;

P – шаг гребного винта, м ;

S – площадь парусности, м^2 ;

- T – осадка судна, м;
 t – время, с;
 v и v_s – скорость судна, м/с и км/ч;
 v' – падение скорости судна при криволинейном движении;
 v_0 – скорость судна при номинальной частоте вращения всех гребных винтов, м/с;
 V_A – скорость ветра в районе плавания, м/с;
 v_a – скорость натекания воды на ДРК, м/с;
 w – коэффициент попутного потока при движении судна прямым курсом;
 w' – коэффициент попутного потока при криволинейном движении судна;
 $x_p, x_p' = x_p/D$ – отстояние, м, и относительное отстояние носовой кромки профиля руля от плоскости диска открытого гребного винта или от задней кромки насадки, измеренное по оси гребного винта;
 z_p – количество ДРК в составе ДРКС;
 δ^* – угол отклонения струи гребного винта при отклонении поворотной насадки на угол δ , град;
 λ_R – относительное удлинение пера руля;
 λ_R' – относительное удлинение части пера руля, расположенной в струе гребного винта;
 λ_R'' – относительное удлинение части пера руля, расположенной вне струи гребного винта;
 ρ – плотность воды, кг/м³.

2.3 В настоящем Руководстве приняты следующие определения:

- 1 безразмерная поперечная сила ДРК C_{yR} – поперечная сила ДРК Y_R , Н, отнесенная к величине $\rho v_a^2 A_0/2$;
- 2 безразмерная угловая скорость судна Ω – отношение угловой скорости судна ω , град/с, к величине $57,3 \cdot v/L$;
- 3 демпфирующая составляющая силы – составляющая, зависящая от угловой скорости судна, как правило, препятствующая вращению судна;
- 4 коэффициент нагрузки по упору гребного винта C_T – упор гребного винта T_p , Н, отнесенный к величине $\rho v_a^2 A_0/2$;
- 5 коэффициент нагрузки C_{TT} ДРК «гребной винт – насадка» – упор T_E ДРК «гребной винт-насадка», Н, отнесенный к величине $\rho v_a^2 A_0/2$;
- 6 относительная поступь J_p гребного винта (ДРК «гребной винт – насадка») – отношение скорости натекания во-

ды на ДРК v_a , м/с, к произведению частоты вращения гребного винта n , с^{-1} , и диаметра гребного винта D , м;

.7 относительное удлинение пера руля (части пера руля) – отношение высоты руля или его части (стабилизатора насадки или его части) к соответствующей хорде; при сложной форме в плане – отношение площади в плане к квадрату хорды или отношение квадрата высоты к площади в плане;

.8 позиционная составляющая силы – составляющая, зависящая от угла дрейфа (для судна), угла перекладки руля (для средств управления);

.9 угловая скорость судна ω – отношение изменения угла курса к времени его изменения, град/с;

.10 угол дрейфа β – угол между диаметральной плоскостью (далее ДП) и направлением скорости в центре тяжести судна, град;

.11 угол дрейфа β_k – угол дрейфа в корме (угол натекания воды на ДРК), град;

.12 угол перекладки руля δ – угол поворота средств управления по отношению к ДП, град;

.13 упор гребного винта T_p – сила, развиваемая гребным винтом в направлении ДП, приложенная к упорному подшипнику, Н;

.14 упор T_E ДРК «гребной винт-насадка» – суммарная сила, развиваемая ДРК «гребной винт – насадка» в направлении ДП, Н.

3 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТОВ МАНЕВРЕННОСТИ

3.1 В настоящем Руководстве предусмотрена возможность расчета численных значений критериев маневренности для следующих типов ДРКС:

- .1 гребные винты в поворотных насадках;
- .2 гребные винты в поворотных насадках и средний руль;
- .3 рули за открытыми гребными винтами;
- .4 рули за гребными винтами в насадках.

Для ДРКС другого типа способы расчета численных значений критериев маневренности должны быть согласованы с Речным Регистром.

3.2 При пользовании таблицами, графиками и диаграммами, приведенными в настоящем Руководстве, промежуточные значения исходных характеристик определяются с помощью линейной интерполяции.

4 ПОВОРОТЛИВОСТЬ

4.1 Наименьший относительный диаметр установившейся циркуляции $(D_{ц}/L)_{\min} = 2/\Omega_{\max}$ следует определять путем нахождения абсциссы Ω_{\max} точки пересечения кривых $C_{yk}(\Omega)$ и $C_{yR}(\Omega)$, построенных на одном графике в функции безразмерной угловой скорости судна Ω (рис. 4.1).

4.2 Расчет характеристики корпуса $C_{yk}(\Omega)$ и характеристик взаимодействия корпуса с ДРК (коэффициента попутного потока w' , падения скорости v' , коэффициента увеличения скорости натекания воды на ДРК k_v) следует выполнять по форме табл. 4.2, при этом:

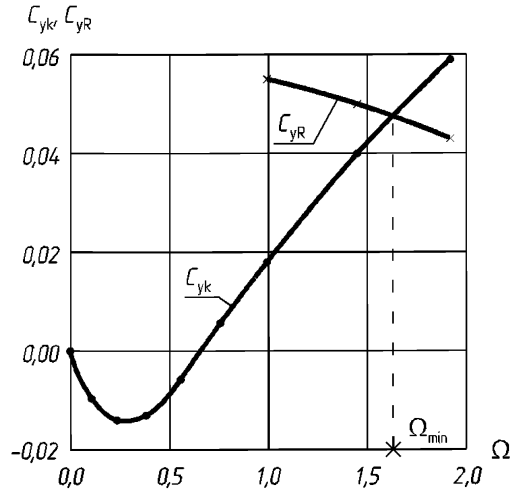


Рис. 4.1. Схема определения безразмерной угловой скорости Ω_{\max}

Таблица 4.2

№ строки	Вычисляемые величины	β							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
1	Ω (рис. 4.2-1 – 4.2-4)								
2	C_{yk} (рис. 4.2-1 – 4.2-4)								
3	β_K (по формуле (4.2.2))								
4	w' (по формуле (4.2.3–1))								
5	v' (по формуле (4.2.4))								
6	k_v (по формуле (4.2.5))								
7	φ (по формуле (4.2.6))								

1 для каждого из заданных в табл. 4.2 углов дрейфа β по известным значениям B/T , T/L (и C_B для пассажирских судов) по выбранной диаграмме (рис. 4.2-1 – 4.2-4) определяются значения Ω и C_{yk} (строки 1, 2 табл. 4.2). Диаграммы, приведенные на рис. 4.2-1 – 4.2-4, служат для построения характеристики корпуса судна $C_{yk}(\Omega)$ при расчетах поворотливости, устойчивости на курсе и управляемости при неработающих двигателях. Каждая диаграмма (рис. 4.2-1 – для грузовых судов, рис. 4.2-2 – 4.2-4 – для пассажирских судов с различными коэффициентами общей полноты C_B) разбита на 5 поддиаграмм, соответствующих значениям B/T : 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; 7,5. На ка-

ждой поддиаграмме нанесена сетка кривых T/L в диапазоне значений от 0,02 до 0,04 и кривых β в диапазоне значений от 5° до 40° .

Для расчета характеристики корпуса судна $C_{yk}(\Omega)$ по типу судна и коэффициенту общей полноты C_B выбирается необходимая диаграмма, затем по отношению B/T выбираются поддиаграмма и на ней соответствующая кривая T/L . По заданным значениям углов дрейфа β (кривые на поддиаграммах) определяются безразмерная угловая скорость судна Ω (ось абсцисс) и характеристика корпуса $C_{yk}(\Omega)$ (ось ординат). При этом следует обращать внимание на то, что каждой поддиаграмме соответствует своя ось ординат;

.2 угол натекания воды на ДРК β_K (строка 3) рассчитывается по формуле:

$$\beta_K = \chi \cdot \arctg(\tg \beta + 0,475 \cdot \Omega / \cos \beta), \text{ град}, \quad (4.2.2)$$

где $\chi = 1,0$ для бортовых ДРК;

$\chi = 0,8$ для ДРК в ДП судна;

.3 коэффициент попутного потока w' для одно- и двухвинтовых судов (строка 4) рассчитывается по формуле:

$$w' = \begin{cases} w_p \cdot [1 - (\beta_K / 45)^6] & \text{при } \beta_K < 45^\circ, \\ 0 & \text{при } \beta_K \geq 45^\circ, \end{cases} \quad (4.2.3-1)$$

где w_p – коэффициент попутного потока по расчету ходкости судна.

Для трехвинтовых судов значение коэффициента w_p принимается по формуле:

$$w_p = (2 \cdot w_{\text{борт}} + w_{\text{дп}}) / 3, \quad (4.2.3-2)$$

где $w_{\text{борт}}$ – коэффициент попутного потока по расчету ходкости для бортовых движителей, а $w_{\text{дп}}$ – коэффициент попутного потока по расчету ходкости для среднего движителя;

.4 падение скорости судна ν' на установившейся циркуляции (строка 5) рассчитывается по формуле:

$$\nu' = 1 - 0,7 \cdot \Omega + 0,122 \cdot \Omega^{2,6}; \quad (4.2.4)$$

.5 коэффициент увеличения скорости натекания воды k_v в районе ДРК судна (строка 6) рассчитывается по формуле:

$$k_v = \cos \beta / \cos \beta_K; \quad (4.2.5)$$

.6 вспомогательный коэффициент ϕ (строка 7) определяется по формуле:

$$\phi = \pi z_p D^2 (1 - w')^2 / (4LT). \quad (4.2.6)$$

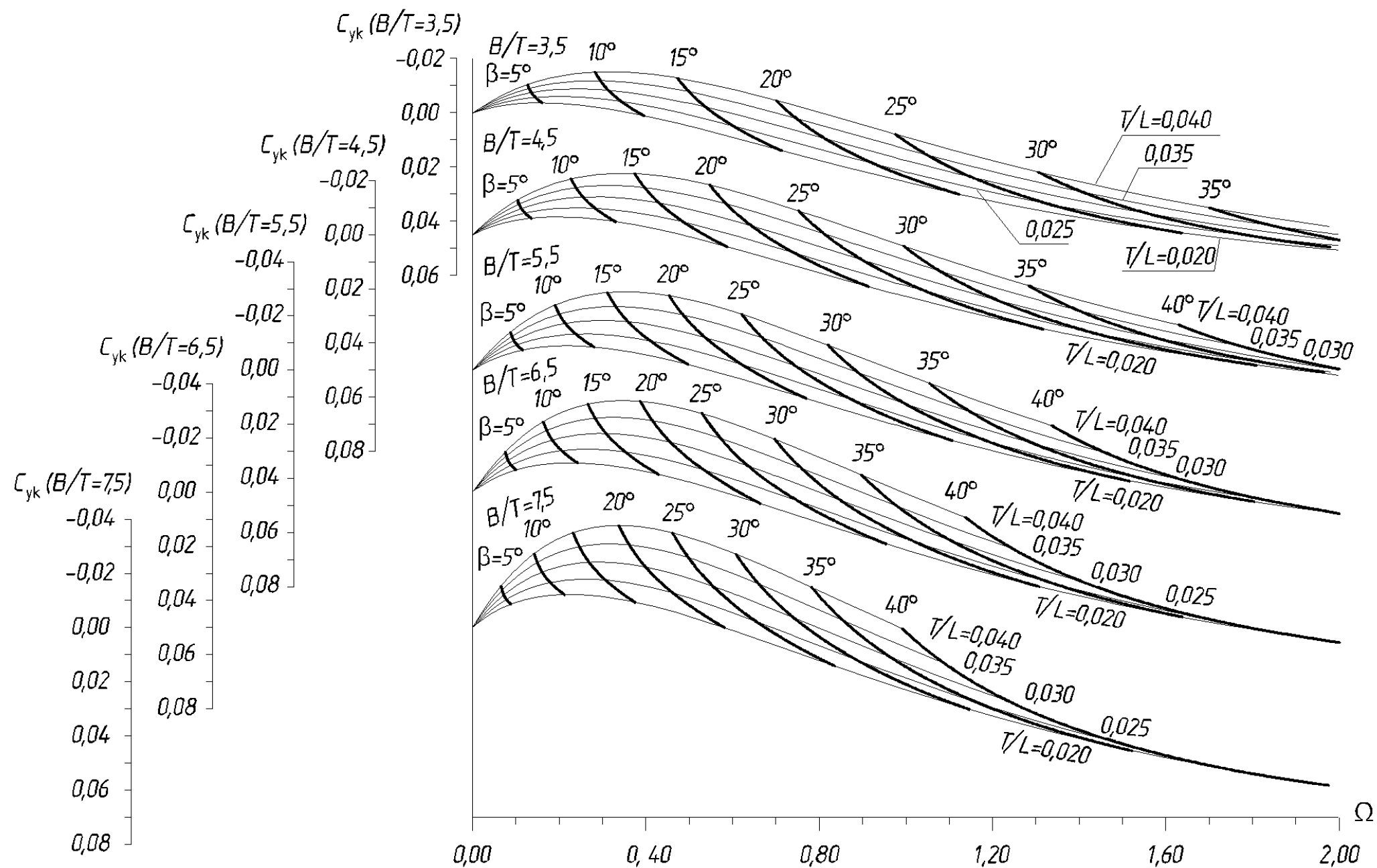


Рис. 4.2-1. Диаграмма $\Omega - C_{yc}$ для грузовых судов

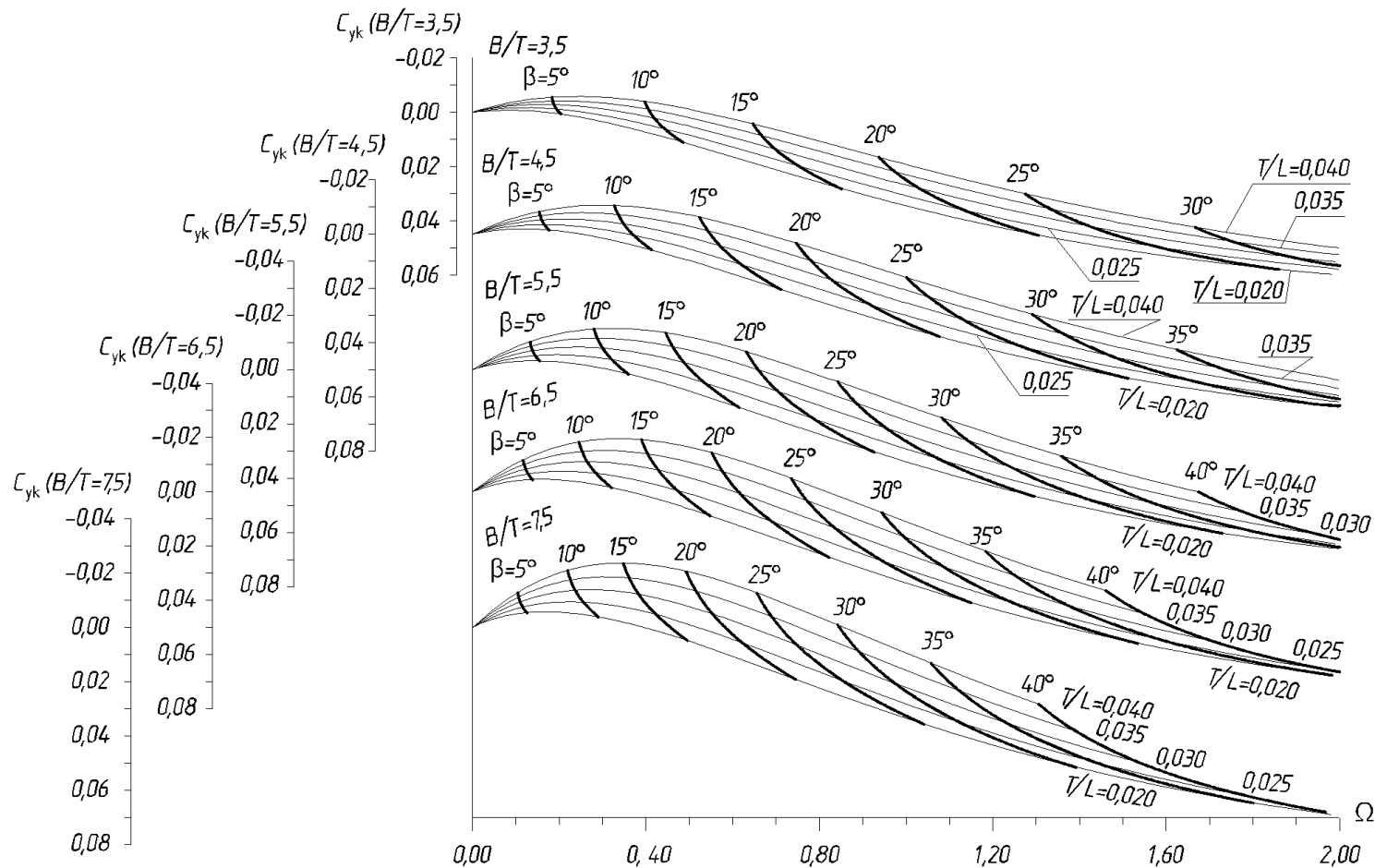


Рис. 4.2-2. Диаграмма $\Omega - C_{yk}$ для пассажирских судов при $0,55 > C_B \geq 0,45$

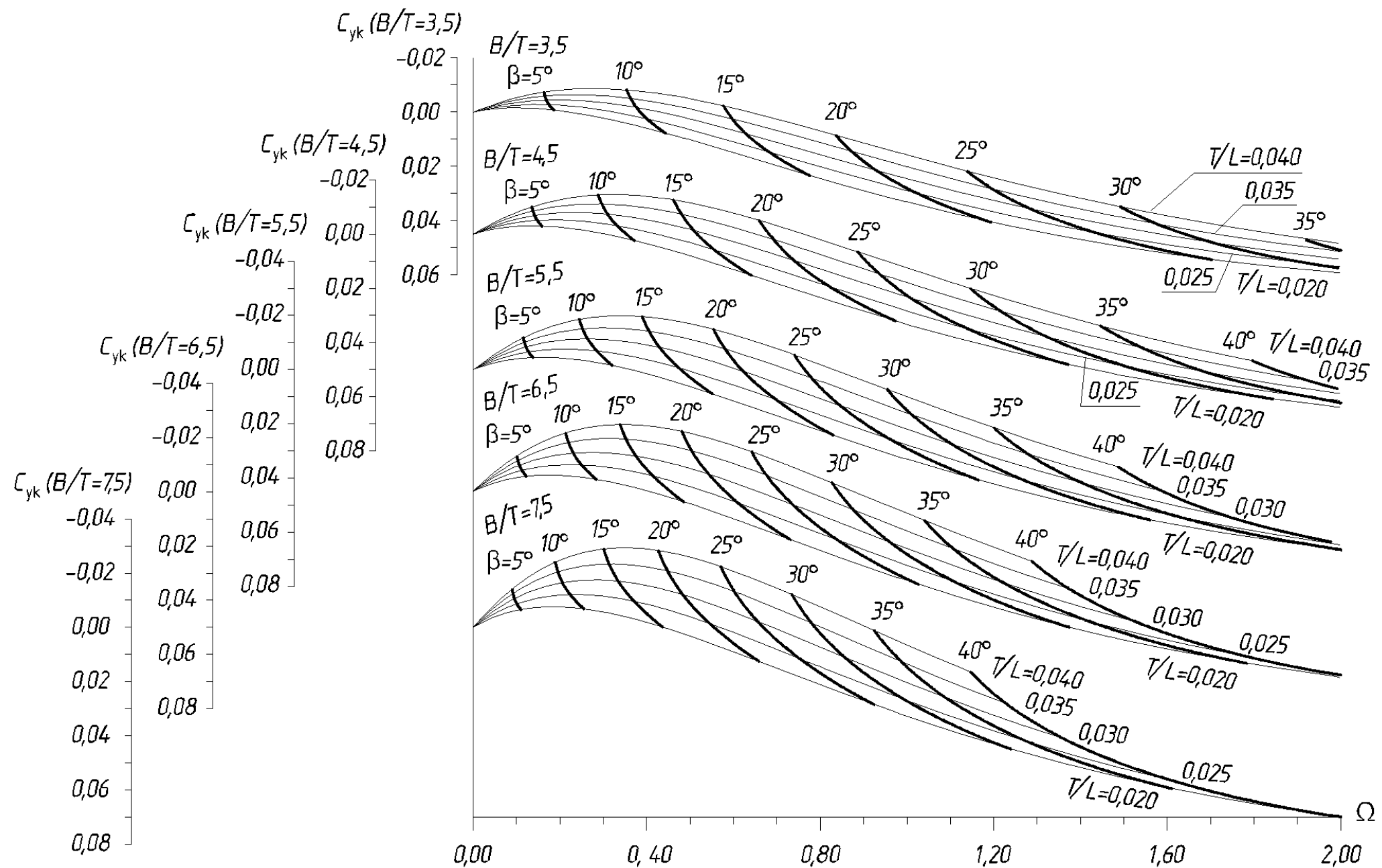


Рис. 4.2-3 Диаграмма $\Omega - C_{vk}$ для пассажирских судов при $0,65 > C_B \geq 0,55$

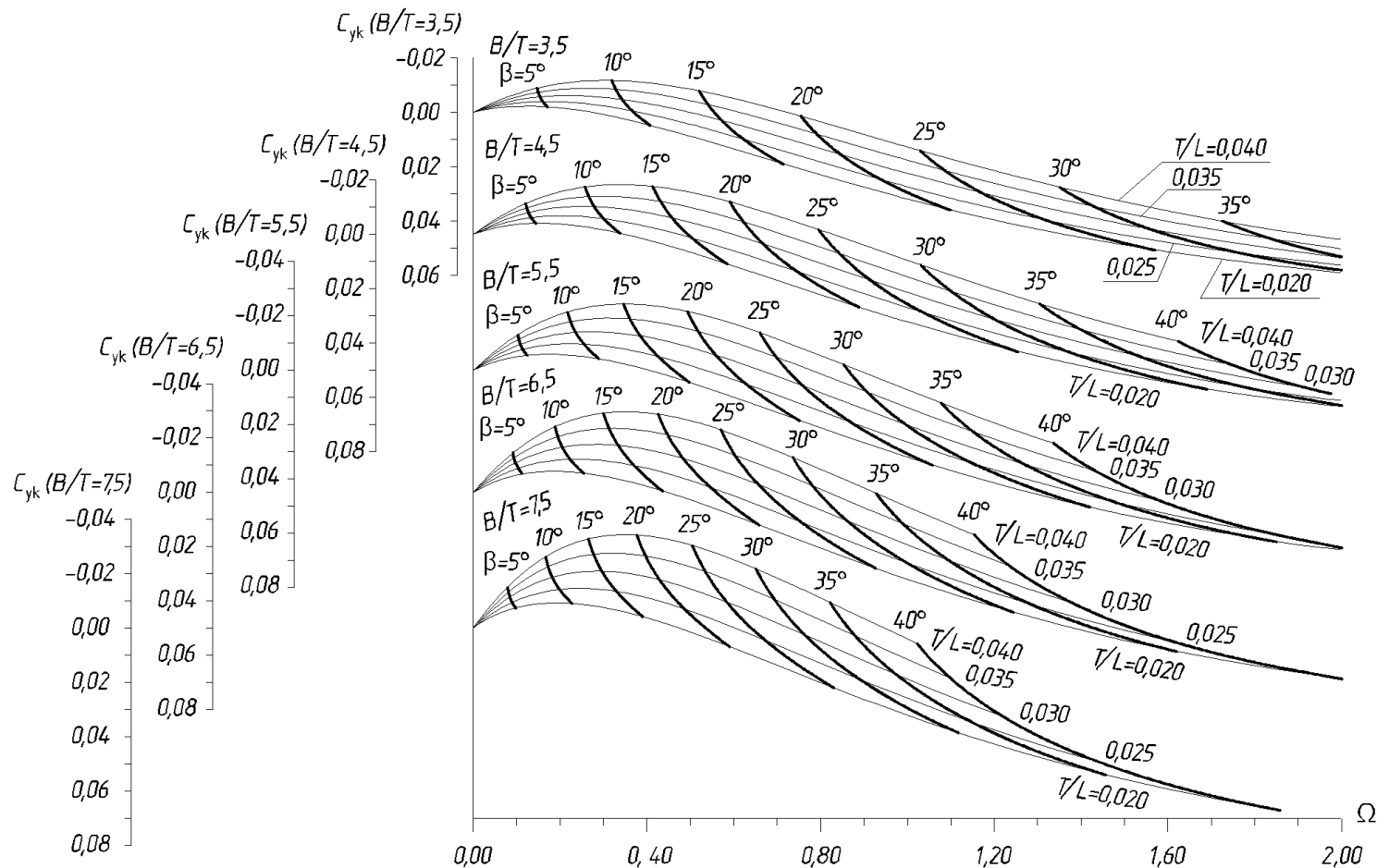


Рис. 4.2-4. Диаграмма $\Omega - C_{yk}$ для пассажирских судов при $0,75 \geq C_B \geq 0,65$

4.3 Расчеты безразмерной поперечной силы ДРКС любого типа следует выполнять в таблицах 4.4, 4.7, 4.9, 5.4, 5.7, 5.9, являющихся продолжением табл. 4.2 и начинающихся, соответственно, со строки 8.

4.4 Расчет безразмерной поперечной силы ДРКС «гребные винты в поворотных насадках» и «гребные винты в поворотных насадках и средний руль» следует выполнять по форме табл. 4.4. В качестве наибольшего угла перекладки насадок принимается угол $\delta_m = 32^\circ$. Значение коэффициента q_T увеличения упора гребного винта при перекладке насадки принимается равным 1,40.

Расчет при углах дрейфа $\beta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ может не выполняться.

Таблица 4.4

№ строки	Вычисляемые величины	β							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	J_p (по формуле (4.6.1))	—	—	—					
9	C_{TT} (рис. 4.6-1)	—	—	—					
10	C_T (рис. 4.6-2)	—	—	—					
11	A_y (по формуле (4.6.4))	—	—	—					
12	k_s (по табл. 4.6.5)	—	—	—					
13	B_y (по формуле (4.6.6))	—	—	—					
14	k_B (по табл. 4.6.7)	—	—	—					
15	D_y (по формуле (4.6.8))	—	—	—					
16	ΔC_{CT} (по формуле (4.6.9))	—	—	—					
17	C_p (по формуле (4.6.10))	—	—	—					
18	C_{yR} (по формуле (4.6.11))	—	—	—					

4.5 Исходные величины для расчета характеристики ДРК «гребные винты в поворотных насадках», выполняемого в табл. 4.4, должны вычисляться по следующим формулам и таблицам:

1 угол отклонения струи гребного винта поворотной насадкой δ^* – по формуле:

$$\delta^* = \begin{cases} 28,0 - 30,5 (l'_H - 0,6) & \text{— для насадок без стабилизатора,} \\ 32,0 - 15,0 (l'_H - 0,6) & \text{— для насадок со стабилизатором;} \end{cases} \quad (4.5.1)$$

2 коэффициент снижения упора ДРК q_{TT} – по формуле:

$$q_{TT} = \begin{cases} 0,75 - 0,25 (l'_H - 0,6) & \text{— для насадок без стабилизатора,} \\ 0,70 - 0,07 (l'_H - 0,6) & \text{— для насадок со стабилизатором;} \end{cases} \quad (4.5.2)$$

3 коэффициент подъемной силы поворотной насадки как кольцевого крыла – по формуле:

$$\mu = 1,67 + 4,11 \cdot l'_H - 1,11 \cdot (l'_H)^2. \quad (4.5.3)$$

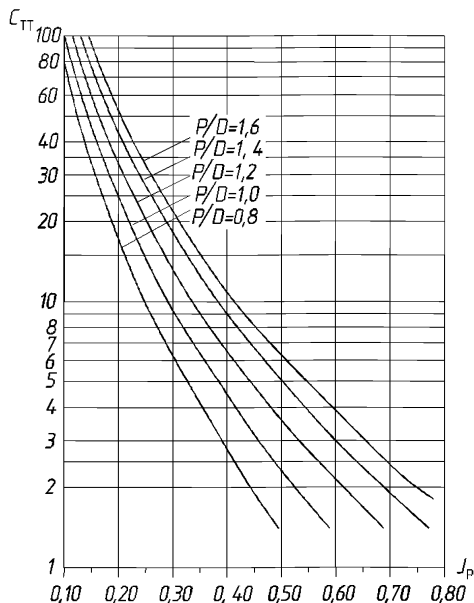


Рис. 4.6-1. Коэффициент нагрузки ДРК «гребной винт в насадке»

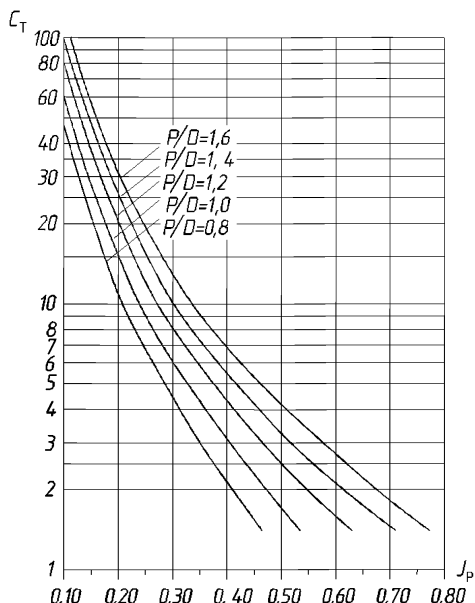


Рис. 4.6-2. Коэффициент нагрузки по упору гребного винта в насадке

4.6 Величины, входящие в табл. 4.4, должны быть определены с использованием данных табл. 4.2 по следующим формулам, таблицам и графикам:

.1 относительная поступь гребного винта J_p (строка 8) - по формуле:

$$J_p = \frac{v_0 \cdot v' \cdot (1 - w') \cdot k_v}{D \cdot n_0}; \quad (4.6.1)$$

.2 коэффициент нагрузки по упору ДРК «гребной винт-насадка» $C_{ГТ}$ (строка 9) - по графику (рис. 4.6-1);

.3 коэффициент нагрузки по упору гребного винта C_T (строка 10) - по графику (рис. 4.6-2);

.4 вспомогательная величина A_Y (строка 11) - по формуле:

$$A_Y = \frac{q_{ГТ} \cdot C_{ГТ}}{\sqrt{1 + q_T \cdot C_T \cos \delta^* - \cos \beta_K}}, \quad (4.6.4)$$

где β_K определяется по формуле (4.2.2);

.5 вспомогательный коэффициент k_8 (строка 12) - по табл. 4.6.5;

Таблица 4.6.5

l_H	Значения k_δ при C_{TT}								
	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
0,6	0,66	0,67	0,69	0,73	0,76	0,79	0,82	0,83	0,85
0,7	0,77	0,79	0,81	0,85	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98
0,8	0,88	0,89	0,91	0,95	0,99	1,01	1,04	1,06	1,08
0,9	0,92	0,93	0,95	0,99	1,03	1,07	1,10	1,13	1,15

l_H	Значения k_δ при C_{TT}								
	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0
0,6	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93
0,7	0,90	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08	1,07	1,07
0,8	1,11	1,13	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,20
0,9	1,17	1,20	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,24	1,24

.6 позиционная составляющая безразмерной поперечной силы ДРК B_Y (строка 13) - по формуле:

$$B_Y = (A_Y \sqrt{1 + q_T C_T} + \mu \cdot \cos \beta_K) \cdot k_\delta \cdot \sin \delta^*; \quad (4.6.6)$$

.7 вспомогательный коэффициент k_β (строка 14) - по табл. 4.6.7;

Таблица 4.6.7

l_H	Значения k_β при C_{TT}								
	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
0,6	0,42	0,42	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49
0,7	0,53	0,54	0,55	0,56	0,58	0,59	0,6	0,62	0,63
0,8	0,61	0,63	0,63	0,66	0,67	0,69	0,7	0,72	0,73
0,9	0,68	0,69	0,70	0,72	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80

l_H	Значения k_β при C_{TT}								
	10	12	14	16	18	20	25	30	35
0,6	0,50	0,50	0,52	0,53	0,53	0,53	0,55	0,55	0,55
0,7	0,63	0,65	0,66	0,68	0,69	0,7	0,71	0,72	0,73
0,8	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,8	0,81	0,82	0,84
0,9	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,86	0,89	0,90	0,90

.8 демпфирующая составляющая безразмерной поперечной силы ДРК D_Y (строка 15) - по формуле:

$$D_Y = -(A_Y + \mu \cdot \cos \delta^*) \cdot k_\beta \cdot \sin \beta_K; \quad (4.6.8)$$

.9 если стабилизатор насадки имеет выступающую вверх из струи гребного винта часть с площадью A''_{CT} , m^2 , и относительным удлинением (отношением средней высоты этой части стабилизатора к ее длине) λ''_{CT} , то следует

выполнить расчет дополнительной безразмерной поперечной силы ΔC_{CT} (строка 16) по формуле:

$$\Delta C_{CT} = \frac{0,14 \cdot \lambda''_{CT} \cdot A''_{CT} (32 - \beta_K) \cos \beta_K}{(1 + \lambda''_{CT}) \cdot D^2}; \quad (4.6.9)$$

.10 если на двухвинтовом судне, оборудованном гребными винтами в поворотных насадках, установлен дополнительный руль в ДП, имеющий площадь A_p и относительное удлинение λ_p и перекадываемый на угол, превышающий угол перекадки насадок в k_p раз, то следует выполнить расчет дополнительной безразмерной поперечной силы C_p (строка 17) по формуле:

$$C_p = \begin{cases} 0,14 \cdot \lambda_p \cdot A_p (32 \cdot k_p - \beta_K) \frac{\cos \beta_K}{(2 + \lambda_p) D^2} & \text{при } k_p < 1,5, \\ 0 & \text{при } k_p \geq 1,5, \end{cases} \quad (4.6.10)$$

где β_K определяется по формуле (4.2.2) для ДРК в ДП.

При отсутствии в составе ДРКС среднего руля $C_p = 0$;

.11 расчет безразмерной поперечной силы C_{yR} ДРКС «гребные винты в поворотных насадках» и «гребные винты в поворотных насадках и средний руль» (строка 18) следует выполнять по формуле:

$$C_{yR} = \varphi \cdot [0,81(B_Y + D_Y) + \Delta C_{CT} + 0,5C_p]. \quad (4.6.11)$$

4.7 Расчет безразмерной поперечной силы ДРКС «рули за открытыми гребными винтами» следует выполнять по форме табл. 4.7. В качестве наибольшего возможного угла перекадки руля δ принимается угол $\delta_m = 35^\circ$.

Расчет при углах дрейфа $\beta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ может не выполняться.

Таблица 4.7

№ строки	Вычисляемые величины	β							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	J_p (по формуле (4.6.1))	—	—	—					
9	C_T (рис. 4.8)	—	—	—					
10	C_Y^δ (по табл. 4.8.3)	—	—	—					
11	k_β (по табл. 4.8.4)	—	—	—					
12	k_σ (по табл. 4.8.5)	—	—	—					
13	a_R (по формуле (4.8.6))	—	—	—					
14	b_R (по формуле (4.8.7))	—	—	—					
15	A_Y (по формуле (4.8.8))	—	—	—					
16	B_Y (по формуле (4.8.9))	—	—	—					
17	C_{TB} (по формуле (4.8.10))	—	—	—					
18	k_Y (по формуле (4.8.11))	—	—	—					
19	C_{yR} (по формуле (4.8.12))	—	—	—					

4.8 Величины, входящие в табл. 4.7, должны быть определены с использованием данных соответствующих столбцов табл. 4.2 по следующим формулам, таблицам и графикам:

.1 относительная поступь гребного винта J_p (строка 8) - по формуле (4.6.1);

.2 коэффициент нагрузки по упору гребного винта C_T (строка 9) - по графику, приведенному на рис. 4.8;

.3 производная коэффициента нагрузки ДРК по поперечной силе по углу перекадки C_Y^δ (строка 10) - по табл. 4.8.3;

.4 коэффициент скоса потока k_p (строка 11) - по табл. 4.8.4;

.5 коэффициент k_σ (строка 12) - по табл. 4.8.5 в зависимости от C_T .

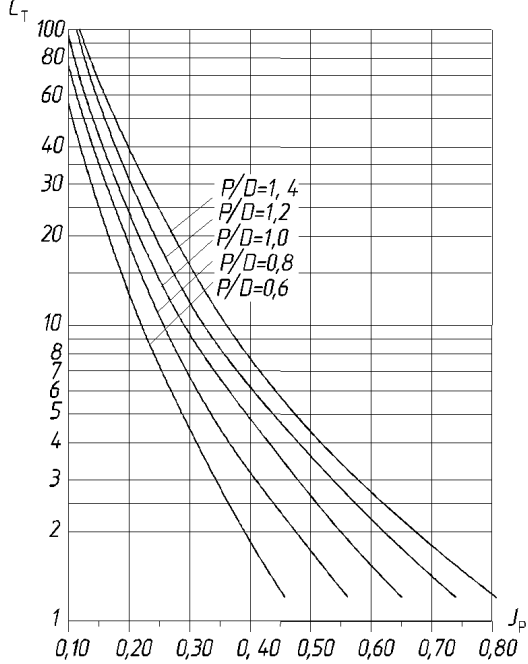


Рис. 4.8. Коэффициент нагрузки по упору открытого гребного винта

Таблица 4.8.3

C_T	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	9,0
C_Y^δ	3,87	4,50	5,15	5,65	6,16	6,62	7,11	7,60	8,09	9,35	10,60	11,4
C_T	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50
C_Y^δ	12,3	14,0	15,4	17,2	18,8	20,5	25,0	28,9	33,3	37,2	41,4	45,3

Таблица 4.8.4

x_p	Значения k_p при C_T									
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$\leq 0,5$	0,63	0,57	0,51	0,46	0,43	0,40	0,38	0,37	0,35	0,34
1,0	0,70	0,63	0,56	0,50	0,46	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37
1,5	0,78	0,71	0,63	0,55	0,50	0,47	0,43	0,42	0,41	0,40
2,0	0,89	0,78	0,69	0,60	0,55	0,50	0,45	0,43	0,42	0,41

Окончание табл. 4.8.4

x_p	Значения k_p при C_T									
	10	12	14	16	18	20	25	30	40	50
$\leq 0,5$	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,27	0,24	0,24	0,23	0,20
1,0	0,36	0,33	0,33	0,31	0,30	0,30	0,27	0,26	0,24	0,21
1,5	0,39	0,37	0,36	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24
2,0	0,41	0,40	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27
Примечание. $x_p' = x_p/D$ – относительное отстояние носовой кромки профиля руля от плоскости диска гребного винта, измеренное по оси гребного винта.										

Таблица 4.8.5

C_T, C_{TT}	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	9,0
k_σ	1,42	1,39	1,37	1,35	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,19	1,18
C_T, C_{TT}	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50
k_σ	1,16	1,14	1,13	1,11	1,10	1,09	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04

Если выступающая из струи гребного винта часть руля имеет относительное удлинение $\lambda_R'' \leq 0,1$, следует принимать $k_\sigma = 1,0$;

.6 коэффициент a_R , учитывающий отличие величины λ_R' от 1,0, (строка 13) - по формуле:

$$a_R = \frac{(2k_\sigma + \lambda_R' - 1)(4\lambda_R'k_\sigma - 3\lambda_R' - 4k_\sigma + 6)}{\lambda_R'(\lambda_R' + 1)(\lambda_R' + 2)}; \quad (4.8.6)$$

.7 коэффициент b_R , учитывающий влияние части руля, выступающей из струи гребного винта (строка 14), - по формуле:

$$b_R = \frac{8\lambda_R'' A_R''}{(1 + \lambda_R'')D^2}; \quad (4.8.7)$$

.8 безразмерная поперечная сила A_Y , развиваемая частью руля, погруженной в струю гребного винта (строка 15), - по формуле:

$$A_Y = 0,0175 a_R C_Y^\delta (\delta - k_\beta \beta_K); \quad (4.8.8)$$

.9 безразмерная поперечная сила B_Y , развиваемая частью руля, выступающей из струи гребного винта (строка 16), - по формуле:

$$B_Y = 0,0175 b_R (\delta - \beta_K); \quad (4.8.9)$$

.10 безразмерная демпфирующая поперечная сила $C_{ГВ}$, развиваемая на гребном винте (строка 17), - по формуле:

$$C_{ГВ} = -0,0175 (k_{1Y} + k_{2Y} \sqrt{C_T}) \beta_K, \quad (4.8.10)$$

где $k_{1Y} = 0,177 (P/D) + 0,087 (A_E/A_0 - 0,55)$,

$k_{2Y} = [0,257 + 0,233 (A_E/A_0 - 0,55)] (P/D)^2 + [0,067 - 0,018 (A_E/A_0 - 0,55)]$;

.11 коэффициент динамического взаимодействия ДРК с корпусом судна k_Y (строка 18) - по формуле:

$$k_Y = 1 - a(\delta - 11,5), \quad (4.8.11)$$

где $a = 0,022$ – для двухвинтовых судов;

$a = 0$ – для одновинтовых и трехвинтовых судов;

.12 безразмерная поперечная сила C_{yR} ДРКС «рули за открытыми гребными винтами» (строка 19) - по формуле

$$C_{yR} = \varphi[(A_Y + B_Y) \cdot k_Y + C_{ГВ}]. \quad (4.8.12)$$

4.9 Безразмерную поперечную силу ДРКС «рули за гребными винтами в насадках» следует рассчитывать по форме табл. 4.9. В качестве наибольшего возможного угла перекладки руля δ принимается угол $\delta_m = 35^\circ$.

Расчет при углах дрейфа $\beta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ может не выполняться.

Т а б л и ц а 4.9

№ строки	Вычисляемые величины	β							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	J_p (по формуле (4.6.1))	—	—	—					
9	$C_{ГТ}$ (рис. 4.6-1)	—	—	—					
10	C_T (рис. 4.6-2)	—	—	—					
11	C_Y^δ (по табл. 4.10.4)	—	—	—					
12	$\Delta\beta$ (по табл. 4.10.5)	—	—	—					
13	k_σ (по табл. 4.8.5)	—	—	—					
14	a_R (по формуле (4.8.6))	—	—	—					
15	b_R (по формуле (4.8.7))	—	—	—					
16	A_Y (по формуле (4.10.9))	—	—	—					
17	B_Y (по формуле (4.8.9))	—	—	—					
18	k_β (по табл. 4.6.7)	—	—	—					
19	$C_{ГВ}$ (по формуле (4.10.12))	—	—	—					
20	k_Y (по формуле (4.10.13))	—	—	—					
21	C_{yR} (по формуле (4.8.12))	—	—	—					

4.10 Величины, входящие в табл. 4.9, должны быть определены с использованием данных табл. 4.2 по следующим формулам, таблицам и графикам:

.1 относительная поступь гребного винта J_p (строка 8) - по формуле (4.6.1);

.2 коэффициент нагрузки по упору ДРК «гребной винт в насадке» $C_{\text{ТТ}}$ (строка 9) - по графику, приведенному на рис. 4.6-1;

.3 коэффициент нагрузки по упору гребного винта $C_{\text{Т}}$ (строка 10) - по графику, приведенному на рис. 4.6-2;

.4 производная коэффициента нагрузки ДРК по поперечной силе C_Y^{δ} (строка 11) - по табл. 4.10.4;

Таблица 4.10.4

$C_{\text{ТТ}}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	9,0
C_Y^{δ}	3,60	4,03	4,60	5,00	5,33	5,73	6,14	6,50	6,86	7,50	8,86	9,48
$C_{\text{ТТ}}$	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50
C_Y^{δ}	10,2	11,4	12,7	14,0	15,2	16,8	20,0	23,4	27,0	30,5	34,0	37,5

.5 снос потока $\Delta\beta$ (строка 12) - по табл. 4.10.5;

Таблица 4.10.5

$\beta_{\text{к}}$, град	$\Delta\beta$, град, при $C_{\text{Т}}$											
	при $x_{\text{Р}} \leq 0,5$						при $x_{\text{Р}} > 0,5$					
	1	2	3	10	20	50	1	2	3	10	20	50
10	3	2	1	0,5	0	0	3	2	1	0,5	0	0
20	6	4	2,5	1	0,5	0	7,5	5	3	2	1	0,5
30	10	7,5	4	2	1,5	0,5	13	9	6	2,5	2	1
40	15	11	7	3,5	2	1	20	14	9	5	2,5	1,5
45	17,5	13	8	4	2,5	1	24	18	11	6	3,5	1,5
50	21	16	10	5	3	1	29	21	14	8	4	2
55	26	19	12	7	4	1,5	35	25	16	10	5	2
60	30	24	14	7,5	4,5	1,5	42	30	20	12	6	2,5
Примечание. $x_{\text{Р}} = x_{\text{Р}}/D$ – относительное отстояние носовой кромки профиля руля от задней кромки насадки, измеренное по оси гребного винта.												

.6 коэффициент k_{σ} (строка 13) - по табл. 4.8.5 в зависимости от $C_{\text{ТТ}}$;

.7 коэффициент a_{R} , учитывающий отличие величины λ'_{R} от 1,0 (строка 14), - по формуле (4.8.6);

.8 коэффициент b_{R} , учитывающий влияние части руля, выступающей из струи гребного винта (строка 15), - по формуле (4.8.7);

.9 безразмерная поперечная сила A_{Y} , развиваемая частью руля, погруженной в струю гребного винта (строка 16), - по формуле:

$$A_{\text{Y}} = 0,0175 a_{\text{R}} C_Y^{\delta} (\delta - \Delta\beta); \quad (4.10.9)$$

.10 безразмерная поперечная сила B_{Y} , развиваемая частью руля, выступающей из струи движителя (строка 17), - по формуле (4.8.9);

.11 вспомогательный коэффициент k_β (строка 18) - по табл. 4.6.7;

.12 безразмерная демпфирующая поперечная сила $C_{ГВ}$, развивающаяся на ДРК «гребной винт-насадка» (строка 19), - по формуле:

$$C_{ГВ} = -k_\beta \left(\frac{C_{ГТ}}{\sqrt{1 + C_T} - \cos \beta_K} + \mu \right) \cdot \sin \beta_K, \quad (4.10.12)$$

где коэффициент μ определяется по формуле (4.5.3);

.13 коэффициент k_Y динамического взаимодействия ДРК с корпусом судна (строка 20) - по формуле:

$$k_Y = 1 - 0,011 (\delta - 11,5); \quad (4.10.13)$$

.14 безразмерная поперечная сила C_{YR} ДРКС «рули за гребными винтами в насадках» (строка 21) - по формуле (4.8.12).

5 УСТОЙЧИВОСТЬ НА КУРСЕ

5.1 Относительный диаметр установившейся циркуляции при нулевом угле перекадки рулей $(D_{Ц}/L)_0 = 2/\Omega_0$ следует определять путем нахождения абсциссы Ω_0 точки пересечения кривых $C_{YK}(\Omega)$ и $C_{YR}(\Omega)$, построенных на одном графике в функции безразмерной угловой скорости судна Ω (см. рис. 5.1). Если характеристики $C_{YK}(\Omega)$ и $C_{YR}(\Omega)$ не пересекаются, то судно считается устойчивым на прямом курсе, относительный диаметр его установившейся циркуляции при нулевом угле перекадки рулей $(D_{Ц}/L)_0 = \infty$, безразмерная угловая скорость $\Omega_0 = 0$.

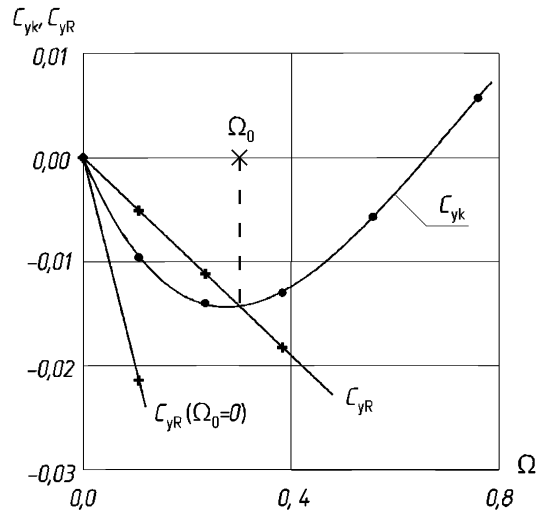


Рис. 5.1. Схема определения безразмерной угловой скорости Ω_0

5.2 В качестве характеристики корпуса $C_{YK}(\Omega)$ при определении устойчивости на курсе может быть использована характеристика корпуса $C_{YK}(\Omega)$, вычисленная по 4.2.

5.3 Расчеты безразмерной поперечной силы ДРКС любого типа следует выполнять в таблицах, являющихся продолжением табл. 4.2 и начинающихся-

ся, соответственно, со строки 8. Угол перекладки руля δ принимается равным нулю. Расчеты достаточно производить только при углах дрейфа $\beta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$.

5.4 Безразмерную поперечную силу ДРКС «гребные винты в поворотных насадках» и «гребные винты в поворотных насадках и средний руль» следует определять по форме табл. 5.4.

Таблица 5.4

№ строки	Вычисляемые величины	β							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	J_p (по формуле (4.6.1))				—	—	—	—	—
9	C_{TT} (рис. 4.6-1)				—	—	—	—	—
10	C_T (рис. 4.6-2)				—	—	—	—	—
11	A_Y (по формуле (5.6.4))				—	—	—	—	—
12	k_β (по табл. 4.6.7)				—	—	—	—	—
13	D_Y (по формуле (5.6.6))				—	—	—	—	—
14	ΔC_{CT} (по формуле (5.6.7))				—	—	—	—	—
15	C_p (по формуле (5.6.8))				—	—	—	—	—
16	C_{YR} (по формуле (5.6.9))				—	—	—	—	—

5.5 Величина μ для расчета безразмерной поперечной силы ДРКС «гребные винты в поворотных насадках», выполняемого в табл. 5.4, должна вычисляться по формуле (4.5.3).

5.6 Величины, входящие в табл. 5.4, должны определяться с использованием данных табл. 4.2 по следующим формулам, таблицам и графикам:

1 относительная поступь гребного винта J_p (строка 8) - по формуле (4.6.1);

2 коэффициент нагрузки по упору ДРК «гребной винт-насадка» C_{TT} (строка 9) - по графику, приведенному на рис. 4.6-1;

3 коэффициент нагрузки по упору гребного винта C_T (строка 10) - по графику, приведенному на рис. 4.6-2;

4 вспомогательная величина A_Y (строка 11) - по формуле:

$$A_Y = \frac{C_{TT}}{\sqrt{1 + C_T - \cos \beta_K}}, \quad (5.6.4)$$

где β_K определяется по формуле (4.2.2);

5 вспомогательный коэффициент k_β (строка 12) - по табл. 4.6.7;

6 демпфирующая составляющая безразмерной поперечной силы ДРК D_Y (строка 13) - по формуле:

$$D_Y = - (A_Y + \mu) k_\beta \sin \beta_K; \quad (5.6.6)$$

.7 если стабилизатор насадки имеет выступающую вверх из струи гребного винта часть с площадью A''_{CT} , m^2 , и относительным удлинением (отношением средней высоты этой части стабилизатора к ее длине) λ''_{CT} , то следует выполнить расчет дополнительной безразмерной демпфирующей поперечной силы ΔC_{CT} (строка 14) по формуле:

$$\Delta C_{CT} = -\frac{0,14 \cdot \lambda''_{CT} \cdot A''_{CT} \cdot \beta_K \cos \beta_K}{(1 + \lambda''_{CT}) D^2}; \quad (5.6.7)$$

.8 если на двухвинтовом судне, оборудованном гребными винтами в поворотных насадках, установлен дополнительный руль в ДП, имеющий площадь A_P и относительное удлинение λ_P , то следует выполнить расчет дополнительной безразмерной демпфирующей поперечной силы C_P (строка 15) по формуле:

$$C_P = -0,14 \cdot \lambda_P \cdot A_P \cdot \beta_K \frac{\cos \beta_K}{(2 + \lambda_P) \cdot D^2}, \quad (5.6.8)$$

где β_K определяется по формуле (4.2.2) для ДРК в ДП.

При отсутствии в составе ДРКС среднего руля $C_P = 0$;

.9 безразмерная поперечная сила C_{yR} ДРКС «гребные винты в поворотных насадках» и «гребные винты в поворотных насадках и средний руль» (строка 16) - по формуле

$$C_{yR} = \varphi \cdot (0,81 D_Y + \Delta C_{CT} + 0,5 C_P). \quad (5.6.9)$$

5.7 Безразмерную поперечную силу ДРКС «рули за открытыми гребными винтами» следует определять по форме табл. 5.7. В качестве угла перекладки руля δ следует принимать $\delta = 0^\circ$. Расчет при углах дрейфа $\beta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ может не выполняться.

Таблица 5.7

№ строки	Вычисляемые величины	β							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	J_P (по формуле (4.6.1))				—	—	—	—	—
9	C_T (рис. 4.8)				—	—	—	—	—
10	C_Y^δ (по табл. 4.8.3)				—	—	—	—	—
11	k_P (по табл. 4.8.4)				—	—	—	—	—
12	k_σ (по табл. 4.8.5)				—	—	—	—	—
13	a_R (по формуле (4.8.6))				—	—	—	—	—
14	b_R (по формуле (4.8.7))				—	—	—	—	—
15	A_Y (по формуле (5.8.8))				—	—	—	—	—
16	B_Y (по формуле (5.8.9))				—	—	—	—	—
17	C_{TB} (по формуле (4.8.10))				—	—	—	—	—
18	C_{yR} (по формуле (5.8.11))				—	—	—	—	—

5.8 Величины, входящие в табл. 5.7, должны определяться с использованием данных табл. 4.2 по следующим формулам, таблицам и графикам:

1 относительная поступь гребного винта J_p (строка 8) - по формуле (4.6.1);

2 коэффициент нагрузки по упору гребного винта C_T (строка 9) - по графику, приведенному на рис. 4.8;

3 производная коэффициента нагрузки ДРК по поперечной силе C_Y^δ (строка 10) - по табл. 4.8.3;

4 коэффициент скоса потока k_β (строка 11) - по табл. 4.8.4;

5 коэффициент k_σ (строка 12) - по табл. 4.8.5;

6 коэффициент a_R , учитывающий отличие величины λ'_R от 1,0 (строка 13), - по формуле (4.8.6);

7 коэффициент b_R , учитывающий влияние части руля, выступающей из струи гребного винта (строка 14), - по формуле (4.8.7);

8 безразмерная демпфирующая сила A_Y , развиваемая частью руля, погруженной в струю гребного винта (строка 15), - по формуле:

$$A_Y = -0,0175 a_R C_Y^\delta k_\beta \beta_K; \quad (5.8.8)$$

9 безразмерная демпфирующая поперечная сила B_Y , развиваемая частью руля, выступающей из струи гребного винта (строка 16), - по формуле:

$$B_Y = -0,0175 b_R \beta_K; \quad (5.8.9)$$

10 безразмерная демпфирующая поперечная сила $C_{ТВ}$, развиваемая на гребном винте (строка 17), - по формуле (4.8.10);

11 безразмерная поперечная сила C_{yR} ДРКС «рули за открытыми гребными винтами» (строка 18) - по формуле

$$C_{yR} = \varphi (A_Y + B_Y + C_{ТВ}). \quad (5.8.11)$$

5.9 Безразмерную поперечную силу ДРКС «рули за гребными винтами в насадках» следует рассчитывать по форме табл. 5.9. В качестве угла перекладки руля следует принимать $\delta = 0^\circ$.

Расчет при углах дрейфа $\beta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ может не выполняться.

5.10 Величины, входящие в табл. 5.9, должны определяться с использованием данных табл. 4.2 по следующим формулам, таблицам и графикам:

1 относительная поступь гребного винта J_p (строка 8) - по формуле (4.6.1);

2 коэффициент нагрузки по упору ДРК «гребной винт-насадка» C_{TT} (строка 9) - по графику, приведенному на рис. 4.6-1;

.3 коэффициент нагрузки по упору гребного винта C_T (строка 10) - по графику, приведенному на рис. 4.6-2;

.4 производная коэффициента нагрузки ДРК по поперечной силе C_Y^δ (строка 11) - по табл. 4.10.4;

.5 коэффициент скоса потока k_β (строка 12) - по табл. 5.10.5;

.6 коэффициент k_σ (строка 13) - по табл. 4.8.5 в зависимости от C_{TT} ;

.7 коэффициент a_R , учитывающий отличие величины λ'_R от 1,0 (строка 14), - по формуле (4.8.6);

.8 коэффициент b_R , учитывающий влияние части руля, выступающей из струи гребного винта (строка 15), - по формуле (4.8.7);

.9 безразмерная поперечная сила A_Y , развиваемая частью руля, погруженной в струю гребного винта (строка 16), - по формуле:

$$A_Y = -0,0175 a_R C_Y^\delta k_\beta \beta_K; \quad (5.10.9)$$

Таблица 5.9

№ строки	Вычисляемые величины	β							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	J_P (по формуле (4.6.1))				—	—	—	—	—
9	C_{TT} (рис. 4.6-1)				—	—	—	—	—
10	C_T (рис. 4.6-2)				—	—	—	—	—
11	C_Y^δ (по табл. 4.10.4)				—	—	—	—	—
12	k_β (по табл. 5.10.5)				—	—	—	—	—
13	k_σ (по табл. 4.8.5)				—	—	—	—	—
14	a_R (по формуле (4.8.6))				—	—	—	—	—
15	b_R (по формуле (4.8.7))				—	—	—	—	—
16	A_Y (по формуле (5.10.9))				—	—	—	—	—
17	B_Y (по формуле (5.10.10))				—	—	—	—	—
18	C_{TB} (по формуле (5.10.11))				—	—	—	—	—
19	C_{YR} (по формуле (5.10.12))				—	—	—	—	—

Таблица 5.10.5

x_p'	Значения k_β при C_{TT}								
	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	12,0	16,0	20,0	30,0
$\leq 0,7$	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
1,2	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05
1,7	0,27	0,22	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
2,2	0,31	0,26	0,22	0,19	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08

Примечание. $x_p' = x_p/D$ – относительное отстояние носовой кромки профиля руля от задней кромки насадки, измеренное по оси гребного винта.

.10 безразмерная поперечная сила B_Y , развиваемая частью руля, выступающей из струи гребного винта (строка 17), - по формуле:

$$B_Y = -0,0175 b_R \beta_K ; \quad (5.10.10)$$

.11 безразмерная демпфирующая поперечная сила $C_{ГВ}$, развиваемая на ДРК «гребной винт-насадка» (строка 18), - по формуле:

$$C_{ГВ} = -0,0175 k_\beta \left(\frac{C_{ГТ}}{\sqrt{1 + C_T} - 1} + \mu \right) \cdot \beta_K , \quad (5.10.11)$$

где коэффициент k_β определяется по табл. 5.10.5;

коэффициент μ - по формуле (4.5.3);

.12 безразмерная поперечная сила C_{yR} ДРКС «рули за гребными винтами в насадках» (строка 19) - по формуле:

$$C_{yR} = \varphi \cdot (A_Y + B_Y + C_{ГВ}). \quad (5.10.12)$$

6 УПРАВЛЯЕМОСТЬ ПРИ НЕРАБОТАЮЩИХ ДВИЖИТЕЛЯХ

6.1 Способность судна к выходу из произвольной установившейся циркуляции после остановки главных двигателей следует определять путем сопоставления наибольшей по абсолютному значению отрицательной величины $(C_{yk})_{\min}$ характеристики корпуса судна $C_{yk}(\Omega)$, построенной в соответствии с указаниями 4.2, и величины безразмерной поперечной силы $(C_{yR})_{\min}$, развиваемой главными средствами управления судна при неработающих двигателях (см. рис. 6.1). Судно считается способным к выходу из произвольной установившейся циркуляции

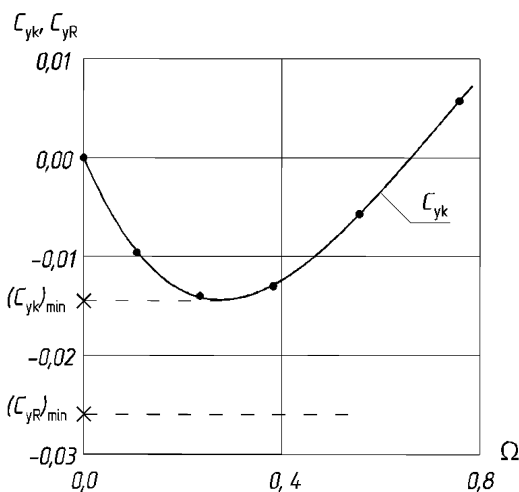


Рис. 6.1. Схема определения способности судна к выходу из произвольной установившейся циркуляции после остановки главных двигателей

при неработающих двигателях, если $|(C_{yR})_{\min}| \geq |(C_{yk})_{\min}|$, т.е. если величина $(C_{yR})_{\min}$ лежит ниже минимума характеристики корпуса судна $C_{yk}(\Omega)$.

6.2 Величину безразмерной поперечной силы, развиваемой главными средствами управления судна при неработающих главных двигателях, следует принимать:

у одной поворотной насадки $(C_{yR})_{\min} = -1,1 \cdot \varphi$,

у одного руля за открытым гребным винтом

$$(C_{yR})_{\min} = -0,75 \cdot \varphi \cdot A_R / A_0,$$

у одного руля за гребным винтом в насадке

$$(C_{yR})_{\min} = -0,65 \cdot \varphi \cdot A_R / A_0,$$

у среднего руля в ДП двухвинтового судна

$$(C_{yR})_{\min} = -\varphi \cdot A_R / (z_p \cdot A_0).$$

7 СПОСОБНОСТЬ СУДНА К ЭКСТРЕННОМУ ТОРМОЖЕНИЮ

7.1 При определении пути торможения процесс экстренного торможения судна рассматривается состоящим из двух этапов:

1 первый этап – от подачи команды на экстренное торможение до начала работы всех движителей судна на задний ход;

2 второй этап – от начала работы движителей на задний ход до полной остановки судна.

7.2 Путь экстренного торможения S_{AT} , м, следует вычислять по формуле

$$S_{AT} = S_1 + S_2, \quad (7.2.1)$$

где S_1 – путь, проходимый судном в течение первого этапа, м, определяемый в соответствии с 7.3;

S_2 – путь, проходимый судном в течение второго этапа, м, определяемый в соответствии с 7.6.

7.3 Путь S_1 , м, проходимый судном в течение первого этапа экстренного торможения следует вычислять по формуле:

$$S_1 = \frac{1}{C} \ln(1 + C v_0 t_1), \quad (7.3.1)$$

где t_1 – продолжительность первого периода экстренного торможения, с, определяется в соответствии с указанием 7.4.

Входящая в выражение (7.3.1) величина C , м⁻¹, должна определяться по формуле:

$$C = \frac{R_0 - \Sigma T_{E1}}{1,05 \cdot m \cdot v_0^2}, \quad (7.3.2)$$

где m – масса судна, т;

R_0 – сопротивление воды движению судна при скорости v_0 , кН, определяется по расчету ходкости;

ΣT_{E1} – средний суммарный упор ДРКС в течение первого этапа экстренного торможения, кН, вычисляемый по формуле:

$$\Sigma T_{E1} = \frac{\rho v_0^2}{2} \sum_{i=1}^{z_p} K_{Ki} D_i^2 \left[(1 - w_i)^2 + C_{Hi}^2 D_i P_i \right], \quad (7.3.3)$$

где z_p – количество ДРК судна;

i – номер ДРК в составе ДРКС;

K_{Ki} – коэффициент, принимаемый равным:

0,4 – для открытых гребных винтов;

0,5 – для гребных винтов в насадках;

w_i – коэффициент попутного потока для i -го ДРК по расчету ходкости;

D_i – диаметр i -го гребного винта, м;

P_i – шаг i -го гребного винта, м;

C_{Hi} – поправочный коэффициент, m^{-1} , вычисляемый по формуле:

$$C_{Hi} = \frac{(1 - w_i)(\lambda_i - \Delta\lambda_i)}{P_i \sqrt{1 - (\lambda_i - \Delta\lambda_i)^2}}, \quad (7.3.4)$$

где λ_i принимается равным:

0,675 – для открытых гребных винтов;

0,70 – для гребных винтов в насадках;

$\Delta\lambda_i$ принимается равным:

0,5 – при установке реверс-редуктора;

0,3 – при работе двигателя непосредственно на гребной винт.

7.4 При отсутствии иных данных продолжительность первого этапа экстренного торможения t_1 в соответствии с ПСВП принимается равной 25 с. Продолжительность первого этапа экстренного торможения меньшая, чем 25 с, должна быть подтверждена заводом-изготовителем двигателя.

7.5 Скорость судна v_1 в конце первого этапа экстренного торможения, м/с, определяется по формуле:

$$v_1 = \frac{v_0}{1 + C v_0 t_1}, \quad (7.5)$$

где C – коэффициент, m^{-1} , определяется по формуле (7.3.2);

t_1 – продолжительность первого периода экстренного торможения, с, определяется в соответствии с указанием 7.4.

7.6 Путь, проходимый судном в течение второго этапа экстренного торможения, m , вычисляется по формуле:

$$S_2 = \frac{v_1 \cdot \ln(1 + a^2)}{2ab}, \quad (7.6.1)$$

где v_1 – скорость судна в конце первого этапа активного торможения, определяемая в соответствии с указанием 7.5.

Величины a и b , c^{-1} , определяются по формулам:

$$a = (v_1/v_0) \sqrt{|R_0/\Sigma T_{E2}|}, \quad (7.6.2)$$

$$b = \sqrt{|R_0 \Sigma T_{E2}|} / (1,05 m v_0), \quad (7.6.3)$$

где ΣT_{E2} – средний суммарный упор ДРКС в течение второго этапа экстренного торможения, кН, определяемый по формуле:

$$\Sigma T_{E2} = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^{Z_P} m_{zi} \cdot K_{K2i} \frac{P_{Di}}{n_{0i} P_i}, \quad (7.6.4)$$

где m_{zi} – коэффициент использования мощности i -го двигателя при работе на задний ход, принимаемый для реверсивных двигателей равным 0,85. При установке реверс-редуктора m_z принимается равным отношению передаточных чисел реверс-редуктора на переднем и заднем ходах;

K_{K2i} – коэффициент, принимаемый равным:

6,00 – для открытых гребных винтов,

6,25 – для ДРК «гребной винт – насадка»;

P_{Di} – мощность, подводимая к i -му движителю на переднем ходу, кВт;

n_{0i} – частота вращения i -го гребного винта на переднем ходу, c^{-1} ;

D_b, P_i – см. 7.3;

m – см. 2.2.

8 УПРАВЛЯЕМОСТЬ ПРИ ВЕТРЕ

8.1 Определение скорости ветра V_A , м/с, выдерживаемого судном при движении произвольным заданным прямым курсом с номинальной частотой вращения всех движителей, следует производить по формуле:

$$V_A = 0,75 v_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{\Phi_a} \left[\frac{0,35}{c} (a_1 + 2,10 b_1) + 0,12 \frac{a_2}{c^2} \right] + 1,0}, \quad (8.1)$$

где c – коэффициент, который определяется в соответствии с указаниями 8.2.

Величины φ_a , a_1 , b_1 , a_2 , входящие в формулу (8.1), следует вычислять по следующим формулам:

1 вспомогательный коэффициент φ_a – по формуле:

$$\varphi_a = 0,001225 S / (L \cdot T) ; \quad (8.1.1)$$

2 коэффициент позиционной силы на корпусе a_1 – по формулам:

$$a_1 = \begin{cases} 3,7 T / L & \text{– для грузовых судов,} \\ 4,2 T / L & \text{– для пассажирских судов;} \end{cases} \quad (8.1.2)$$

3 коэффициент позиционной силы на корпусе a_2 для грузовых судов – по табл. 8.1.3;

Таблица 8.1.3

В/Т	Значения a_2 при T/L						
	0,018	0,022	0,026	0,030	0,034	0,038	0,044
3	0,920	0,798	0,712	0,661	0,625	0,602	0,578
4	0,841	0,720	0,623	0,559	0,520	0,490	0,473
5	0,794	0,673	0,575	0,508	0,465	0,437	0,416
6	0,771	0,649	0,551	0,480	0,441	0,414	0,393
7	0,759	0,637	0,535	0,469	0,429	0,402	0,380
8	0,755	0,633	0,534	0,465	0,425	0,398	0,375

4 коэффициент позиционной силы на корпусе a_2 для пассажирских судов – по табл. 8.1.4;

Таблица 8.1.4

В/Т	Значения a_2 при T/L						
	0,044	0,038	0,034	0,030	0,026	0,022	0,018
3	0,486	0,507	0,533	0,564	0,618	0,703	0,823
4	0,374	0,393	0,424	0,463	0,525	0,626	0,742
5	0,318	0,339	0,369	0,409	0,475	0,575	0,695
6	0,293	0,312	0,339	0,382	0,449	0,548	0,668
7	0,281	0,302	0,328	0,370	0,436	0,537	0,657
8	0,277	0,297	0,324	0,364	0,432	0,533	0,657

5 коэффициент позиционного момента на корпусе b_1 – по формуле

$$b_1 = \begin{cases} [0,101 + 0,00174(L/B - 8,17)] \cdot (21,0T/L + 0,285) & \text{– для грузовых судов,} \\ [0,109 + 0,00189(L/B - 8,17)] \cdot (22,05T/L + 0,299) & \text{– для пассажирских судов.} \end{cases} \quad (8.1.5)$$

8.2 Коэффициент c в формуле (8.1) следует вычислять по формуле:

$$c = \frac{\varphi D_Y^\beta + 0,037b_1}{\varphi B_Y^\delta}, \quad (8.2)$$

где величины B_Y^δ, D_Y^β для различных типов ДРК определяются в соответствии с 8.3 и 8.4, величина φ определяется по формуле (4.2.6), входящая в нее величина w' определяется по формулам (4.2.3-1), (4.2.3-2) при $\beta_k = 10^\circ$.

8.3 Величины B_Y^δ, D_Y^β , входящие в формулу (8.2), для ДРКС «гребные винты в поворотных насадках» и «гребные винты в поворотных насадках и средний руль» следует вычислять по следующим формулам:

$$B_Y^\delta = 0,0175k_\delta \left(\frac{q_{\Gamma\Gamma}C_{\Gamma\Gamma 0}\sqrt{1+q_{\Gamma}C_{\Gamma 0}}}{\sqrt{1+q_{\Gamma}C_{\Gamma 0}}-1} + \mu \right), \quad (8.3.1)$$

$$D_Y^\beta = -0,0175k_\beta \left(\frac{q_{\Gamma\Gamma}C_{\Gamma\Gamma 0}}{\sqrt{1+C_{\Gamma 0}}-1} + \mu \right) - \frac{0,14}{D^2} \left(\frac{\lambda_{\text{СТ}}'' A_{\text{СТ}}''}{1+\lambda_{\text{СТ}}''} + \frac{\lambda_{\text{Р}} A_{\text{Р}}}{2+\lambda_{\text{Р}}} \right). \quad (8.3.2)$$

Величины, входящие в формулы (8.3.1) и (8.3.2), определяются с помощью формул и таблиц, входящих в 4.4 и 4.6. При отсутствии у стабилизаторов насадок части, выступающей из струи гребного винта, $A_{\text{СТ}}'' = 0$. При отсутствии в составе ДРКС среднего руля $A_{\text{Р}} = 0$.

8.4 Величины B_Y^δ, D_Y^β , входящие в формулу (8.2), для ДРКС «рули за открытыми гребными винтами» следует вычислять по следующим формулам:

$$B_Y^\delta = 0,0175 \cdot (a_{\text{Р}} C_Y^\delta + b_{\text{Р}}), \quad (8.4.1)$$

$$D_Y^\beta = -0,0175 \cdot (a_{\text{Р}} C_Y^\delta k_\beta + b_{\text{Р}}), \quad (8.4.2)$$

где величины, входящие в формулы (8.4.1) и (8.4.2), определяются с помощью формул и таблиц, входящих в 4.8.

8.5 Величины B_Y^δ, D_Y^β , входящие в формулу (8.2), для ДРКС «рули за гребными винтами в насадках» следует вычислять по следующим формулам:

$$B_Y^\delta = 0,0175 \cdot (a_{\text{Р}} C_Y^\delta + b_{\text{Р}}), \quad (8.5.1)$$

$$D_Y^\beta = -0,0175 \cdot (a_{\text{Р}} C_Y^\delta k_\beta + b_{\text{Р}}), \quad (8.5.2)$$

где величины, входящие в формулы (8.5.1) и (8.5.2), определяются с помощью формул и таблиц, входящих в 4.10.

9 УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

9.1 Программа натурных испытаний маневренности составляется проектантом и должна включать в себя циркуляционные испытания, маневр «спираль», испытания на маневрах «зигзаг» $10^\circ/10^\circ$, $20^\circ/20^\circ$, $30^\circ/30^\circ$, испытания при ходе по инерции, экстренное торможение судна, испытания управляемости на заднем ходу.

9.2 Циркуляционные испытания должны проводиться путем выполнения установившихся циркуляций с углами перекладки руля $\delta = 10^\circ, 20^\circ, 35^\circ$ на оба борта, а для судов, наибольший угол перекладки рулей которых превосходит 35° , – также при больших углах перекладки рулей. Циркуляции выполняются в условиях глубокой тихой воды при произвольной, одинаковой до начала маневра и более не регулируемой частоте вращения всех гребных винтов. В процессе испытаний измеряются диаметры $D_{ц}$ установившихся циркуляций. В результате испытаний должен быть построен график зависимости величины $\Omega = 2L/D_{ц}$ или $D_{ц}/L$ от угла перекладки руля (диаграмма управляемости судна). Участок диаграммы управляемости судна в диапазоне углов перекладки руля $-5^\circ \leq \delta \leq +5^\circ$ строится по результатам выполнения маневра «спираль» в соответствии с указанием 9.3. Среднее на оба борта при наибольших углах перекладки рулей значение величины $2L/D_{ц}$ рассматривается как критерий поворотливости судна в соответствии с 6.5.2 ч. II ПКПС.

9.3 Маневр «спираль» должен выполняться как непрерывная последовательность установившихся циркуляций с углами перекладки руля δ в диапазоне от $+5^\circ$ до -5° . Для выполнения маневра судно при произвольной фиксированной скорости хода v_0 и одинаковой до начала маневра и более не регулируемой частоте вращения всех гребных винтов вводится в циркуляцию с углом перекладки руля $\delta = +5^\circ$. По достижении установившейся угловой скорости вращения угол перекладки руля последовательно уменьшается до $+3^\circ, +2^\circ, +1^\circ, +0^\circ$. На каждом этапе должна достигаться установившаяся угловая скорость вращения. Если при $\delta = 0^\circ$ вращение судна прекращается и оно выходит на прямой курс, маневр на этом заканчивается. Если при $\delta = 0^\circ$ судно продолжает вращаться на правый борт, то последовательными малыми перекладками руля на левый борт ($\delta \approx -0,5^\circ, -1^\circ, -1,5^\circ, -2^\circ$) устанавливается угол перекладки руля на левый борт, при котором судно по достижении установившейся угловой скорости начинает вращаться на левый борт («крити-

ческий угол перекладки руля $\delta_{кр}$). Далее последовательно по достижении установившихся угловых скоростей руль переключается на -3° и -5° . Затем вся процедура повторяется от $\delta = -5^\circ$ до $\delta = +5^\circ$. На каждом из участков, по достижении установившегося вращения судна, производится измерение угловой скорости судна ω , град/с.

Обработка результатов маневра производится по формуле:

$$\Omega = \omega / (57,3 v_0 v') = 2L / D_{ц} , \quad (9.3.1)$$

где v' определяется по формуле (4.2.4) последовательными приближениями, начиная с $v' = 1,0$. Результаты обработки наносятся на диаграмму управляемости судна, полученную в 9.2.

9.4 Если построенная в соответствии с 9.2, 9.3 диаграмма управляемости судна симметрична относительно оси $\delta = 0^\circ$, то данная ось представляет собой истинный нуль перекладки руля, а средняя на оба борта на этой оси величина $\Omega = \Omega_0$ или величина $D_{ц0}/L = 2/\Omega_0$ рассматривается как критерий устойчивости судна на прямом курсе в соответствии с 6.6 ч. II ПКПС.

Если построенная в соответствии с 9.2, 9.3 диаграмма управляемости судна несимметрична относительно оси $\delta = 0^\circ$, то на ней через точку $\delta_0 = (\delta_{кр\text{ лб}} + \delta_{кр\text{ пб}})/2$ проводится ось «истинного нуля перекладки руля». В этом случае в качестве критерия устойчивости судна на прямом курсе в соответствии с 6.6.1 ч. II ПКПС рассматривается среднее значение Ω_0 величин Ω левого и правого бортов на оси истинного нуля перекладки руля или величина $D_{ц0}/L = 2/\Omega_0$.

9.5 Испытания на маневрах «зигзаг» $10^\circ/10^\circ$, $20^\circ/20^\circ$, $30^\circ/30^\circ$ должны выполняться путем последовательной перекладки руля на один и тот же угол δ левого и правого бортов в моменты уклонения судна от прямого курса на противоположный борт на угол $\theta = -\delta$ (рис. 9.5). Испытания на маневрах «зигзаг» проводятся при скорости судна на исходном прямом курсе $v = 0,8 \cdot v_0$. При испытаниях определяются: угол зарыскивания судна θ_1 (угол поворота судна с момента начала перекладки руля для одерживания до момента остановки вращения) и время одерживания t_1 (с момента начала перекладки руля для одерживания до момента остановки вращения). На каждом маневре выполняются 3 полупериода и, соответственно, измеряются θ_{11} , θ_{12} , θ_{13} и t_{11} , t_{12} , t_{13} .

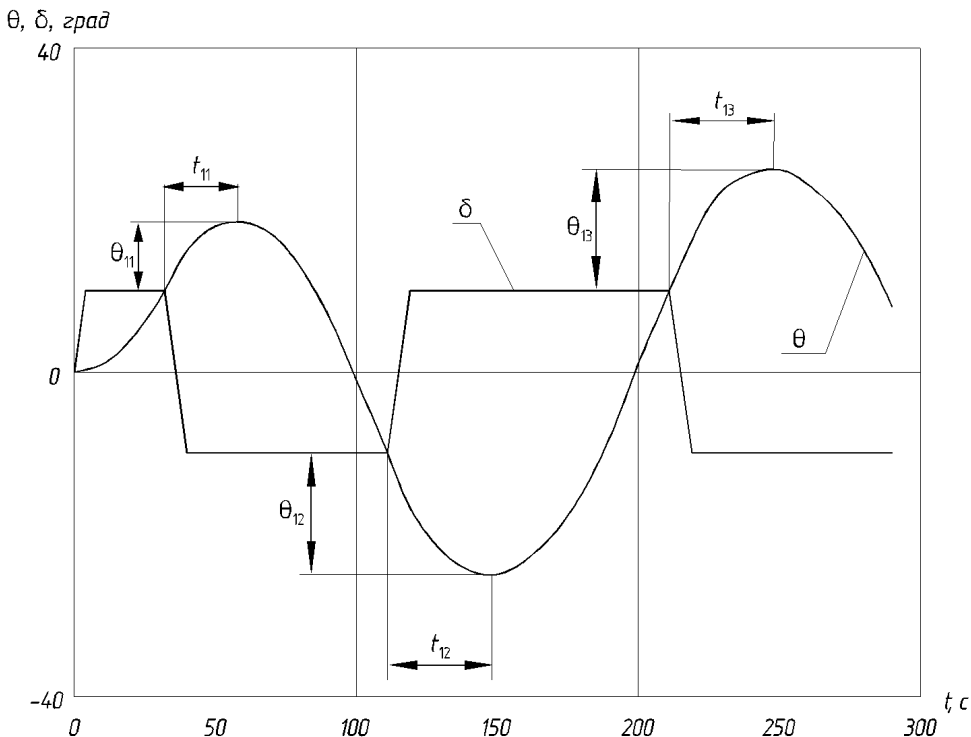


Рис. 9.5. Курсограмма маневра «зигзаг»

9.6 Испытания при ходе по инерции должны выполняться путем ввода судна в установившуюся циркуляцию с углом перекладки руля на угол $\delta = 20^\circ$, прекращения работы движителей судна и последующей за этим перекладки руля на угол $\delta = 30^\circ$ противоположного борта. При испытаниях фиксируются остановка вращения судна и переход к вращению его на противоположный борт или его неспособность к одерживанию поворота.

9.7 Экстренное торможение судна должно выполняться при движении судна прямым курсом со скоростью, соответствующей номинальной частоте вращения гребных винтов, и достигаться путем возможно более быстрого перевода движителей в режим полного заднего хода. При испытаниях фиксируются:

1 путь торможения судна по траектории его движения от момента подачи команды «стоп – полный назад» до момента остановки судна относительно воды;

2 время от момента подачи команды «стоп – полный назад» до момента начала работы гребных винтов на задний ход;

.3 изменение угла курса по отношению к исходному в момент окончания маневра.

9.8 Испытания по определению управляемости на заднем ходу выполняются путем движения судна задним ходом и удержания его на прямом курсе без маневрирования главными двигателями.

10 ТАБЛИЦА МАНЕВРЕННОСТИ

10.1 Таблица маневренности для определения характеристик маневренности вывешивается в рулевой рубке на видном месте. Рекомендуемая форма таблицы маневренности судна приведена на рис. 10.1.

10.2 Таблица маневренности разрабатывается проектантом судна на основании расчетов и дополняется и корректируется им по данным натурных испытаний.

10.3 Таблица маневренности должна содержать следующие элементы:

1. таблицу основных данных судна, СЭУ и средств управления: главные размеры, осадки в грузу и в балласте; мощность главных двигателей, номинальную и критическую частоты вращения главных двигателей; тип и размеры рулей (параметры поворотных насадок, поворотных колонок), мощность и тягу подруливающего устройства. Форма таблицы основных данных судна, СЭУ и средств управления может быть произвольной;

Таблица маневренности

Рис.10.3-1	Рис.10.3-2	Рис.10.3-3	
Табл. 10.3.7	Табл. 10.3.6	Табл. 10.3.5	Схема маневра «человек за бортом»
Схема зон видимости в грузу и в балласте	Таблица основных данных судна, СЭУ и средств управления		

Рис. 10.1. Рекомендуемая форма таблицы маневренности судна

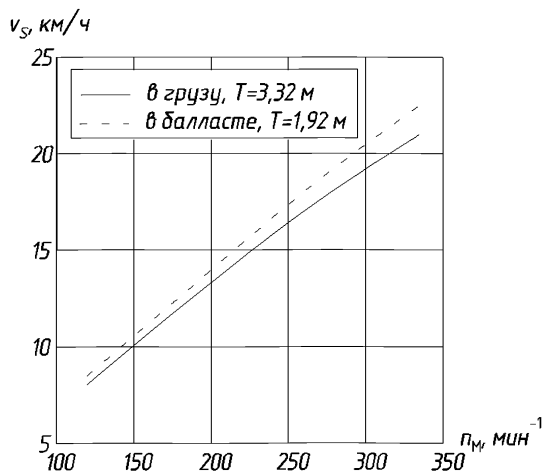


Рис. 10.3-1. Зависимость скорости судна от частоты вращения гребных винтов

.2 скоростную характеристику судна в форме графических зависимостей скорости судна v_s , км/ч, на прямом курсе в условиях глубокой тихой воды от частоты вращения гребных винтов n_M , мин⁻¹, в грузу и в балласте (рис. 10.3-1);

.3 характеристики поворотливости судна в грузу в форме планшета, представляющего траектории движения судна в зависимости от времени при разных углах перекадки руля δ (рис. 10.3-2);

.4 инерционные характеристики судна в форме графических зависимостей скорости судна v_s , км/ч, и проходимого им пути S_{AT} , м, от времени и исходной скорости v_{s0} , км/ч (начальной частоты вращения гребных винтов n_{M0} , мин⁻¹), при экстренном торможении (рис. 10.3-3);

.5 характеристики одерживания поворота по форме табл. 10.3.5, в которой содержатся данные о времени одерживания поворота t_1 , с и угла зарыскивания судна θ_1 при одерживании установившегося поворота, выполняемого судном в грузу на полном переднем ходу с углом перекадки руля δ_0 с помощью наибольшего угла перекадки руля на противоположный борт;

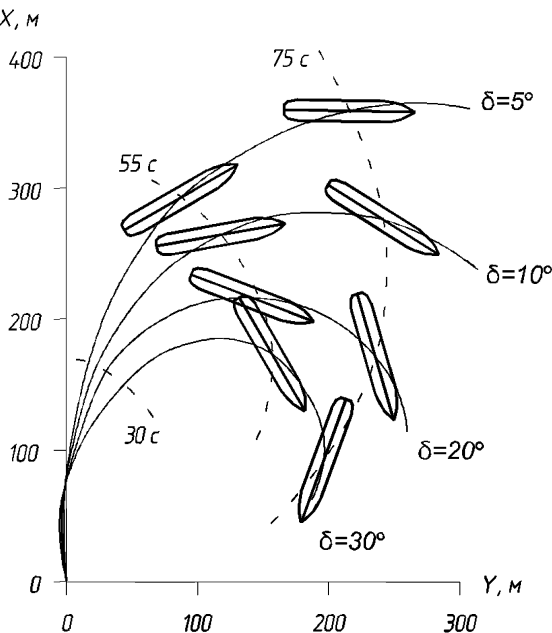


Рис. 10.3-2. Траектории движения судна в зависимости от времени при разных углах перекадки руля δ

Таблица 10.3.5

Угол перекадки руля на повороте, град	10	20	30	35
Время одерживания t_1 , с	27	31	34	42
Угол зарыскивания θ_1 , град	17	23	26	29

.6 таблицу данных о предельной скорости ветра в районе плавания V_A , м/с, выдерживаемого судном в балласте при движении заданным курсом со скоростью v , м/с, по форме табл. 10.3.6;

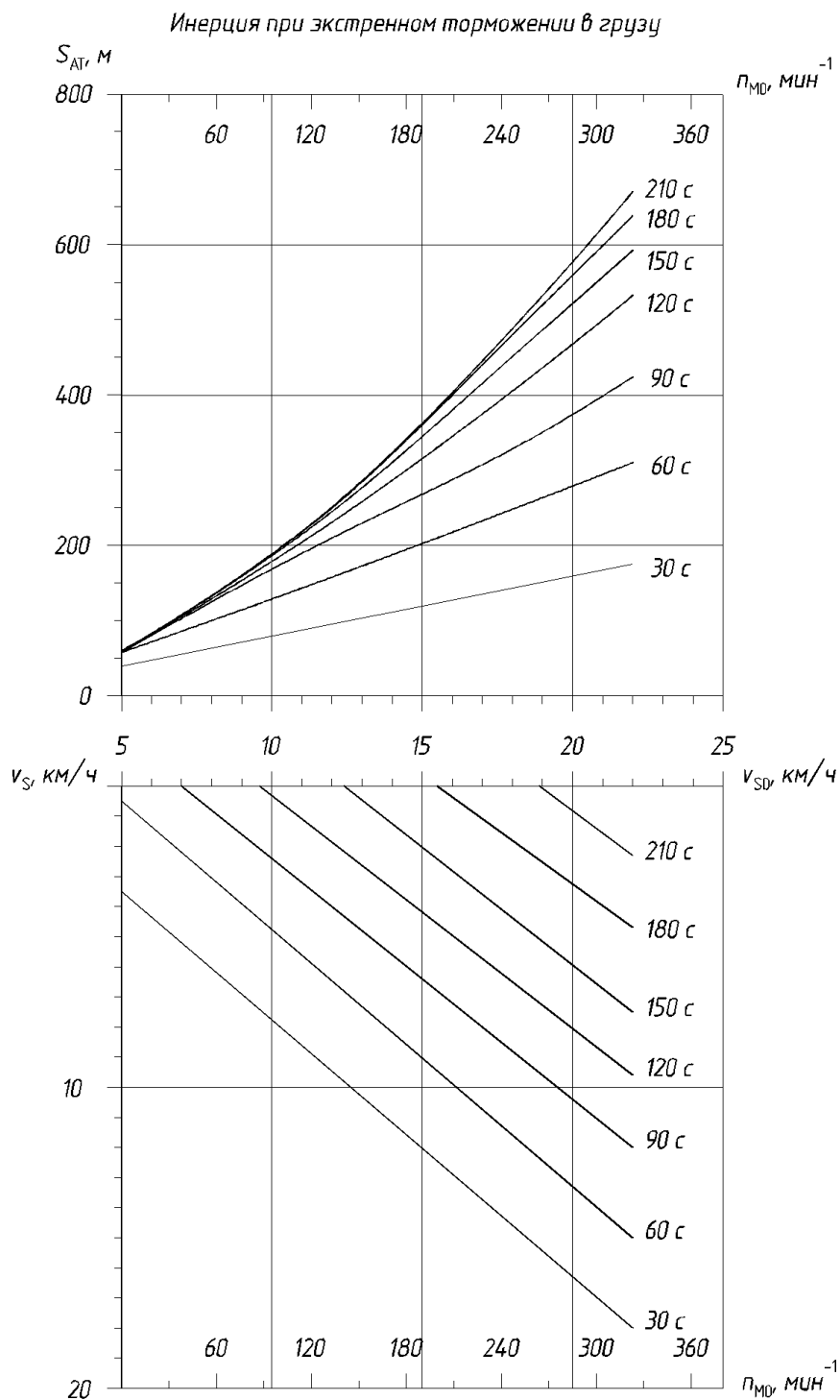


Рис. 10.3-3. Зависимость скорости судна и проходимого им пути от времени и исходной скорости движения при экстренном торможении

Т а б л и ц а 10.3.6

Скорость судна на тихой воде, км/ч	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,0
Скорость ветра в районе плавания, м/с	10,5	13,1	15,7	18,4	21,0	22,4

.7 таблицу данных о просадке судна в грузу ΔT_H при движении прямым курсом со скоростью v_s , км/ч, на мелкой воде при ряде глубин H , м, по форме табл. 10.3.7;

Т а б л и ц а 10.3.7

Глубина воды, м	ΔT_H при скорости судна v_s , км/ч					
	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0
10,0	0,11	0,15	0,19	0,25	0,3	0,37
7,0	0,14	0,19	0,24	0,31	0,38	-
5,0	0,17	0,24	0,31	0,39	-	-
4,0	0,21	0,28	0,36	-	-	-

.8 схему зон видимости;

.9 схему маневра «человек за бортом».

П р и м е ч а н и е . Численные значения параметров, приведенные на рис. 10.1 и 10.3-1 – 10.3-3 и в табл. 10.3.5÷10.3.7, являются иллюстративными и не относятся к конкретному судну.