

**РОССИЙСКИЙ РЕЧНОЙ РЕГИСТР**

---

**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 натуральных маневренных испытаний в соответствии с указаниями б 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<sup>2</sup>;

$A_E$  – площадь спрямленной поверхности гребного винта, м<sup>2</sup>;

$A_R$  – площадь пера руля, м<sup>2</sup>;

$A'_R$  – площадь части пера руля, расположенной в струе гребного винта, м<sup>2</sup>;

$A''_R$  – площадь части пера руля, расположенной вне струи гребного винта, м<sup>2</sup>;

$B$  – 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<sup>-1</sup> и мин<sup>-1</sup>;

$n_0$  – номинальная частота вращения гребного винта, с<sup>-1</sup>;

$R$  – сопротивление воды движению судна, Н;

$R_0$  – сопротивление воды движению судна при  $v_0$ , Н;

$P$  – шаг гребного винта, м;

$S$  – площадь парусности, м<sup>2</sup>;

- $T$  – 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;
- $\delta^*$  – угол отклонения струи гребного винта при отклонении поворотной насадки на угол  $\delta$ , град;
- $\lambda_R$  – относительное удлинение пера руля;
- $\lambda'_R$  – относительное удлинение части пера руля, расположенной в струе гребного винта;
- $\lambda''_R$  – относительное удлинение части пера руля, расположенной вне струи гребного винта;
- $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

**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  $\Omega$  – отношение угловой скорости судна  $\omega$ , 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<sup>-1</sup>, 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  $\omega$  – отношение изменения угла курса к времени его изменения, град/с;

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

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

.12 угол перекладки руля  $\delta$  – 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 установленной циркуляции  $(D_{\text{ц}}/L)_{\text{мин}} = 2/\Omega_{\text{max}}$  следует определять путем нахождения абсциссы  $\Omega_{\text{max}}$  точки пересечения кривых  $C_{\text{yk}}(\Omega)$  и  $C_{\text{yR}}(\Omega)$ , построенных на одном графике в функции безразмерной угловой скорости судна  $\Omega$  (рис. 4.1).

**4.2** Расчет характеристики корпуса  $C_{\text{yk}}(\Omega)$  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:

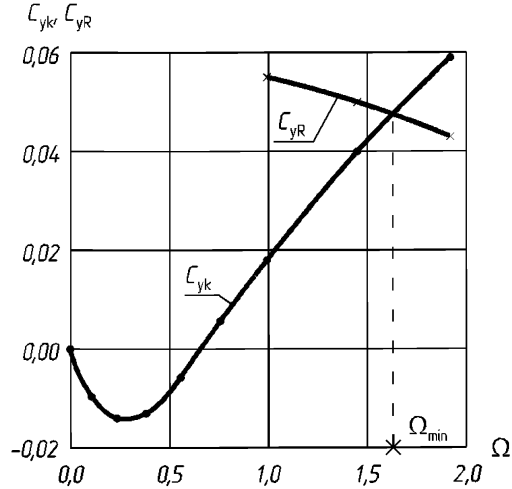


Рис. 4.1. Схема определения безразмерной угловой скорости  $\Omega_{\text{max}}$

Таблица 4.2

№ строки	Вычисляемые величины	$\beta$							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
1	$\Omega$ (рис. 4.2-1 – 4.2-4)								
2	$C_{\text{yk}}$ (рис. 4.2-1 – 4.2-4)								
3	$\beta_{\text{к}}$ (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	$\varphi$ (по формуле (4.2.6))								

**1** для каждого из заданных в табл. 4.2 углов дрейфа  $\beta$  по известным значениям  $V/T$ ,  $T/L$  (и  $C_{\text{в}}$  для пассажирских судов) по выбранной диаграмме (рис. 4.2-1 – 4.2-4) определяются значения  $\Omega$  и  $C_{\text{yk}}$  (строки 1, 2 табл. 4.2). Диаграммы, приведенные на рис. 4.2-1 – 4.2-4, служат для построения характеристики корпуса судна  $C_{\text{yk}}(\Omega)$  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  $C_{\text{в}}$ ) разбита на 5 поддиаграмм, соответствующих значениям  $V/T$ : 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  $\beta$  в диапазоне значений от  $5^\circ$  до  $40^\circ$ .

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  $\beta$  (кривые на поддиаграммах) определяются безразмерная угловая скорость судна  $\Omega$  (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  $\beta_K$  (строка 3) рассчитывается по формуле:

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

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  $v'$  на установившейся циркуляции (строка 5) рассчитывается по формуле:

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

**.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  $\phi$  (строка 7) определяется по формуле:

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



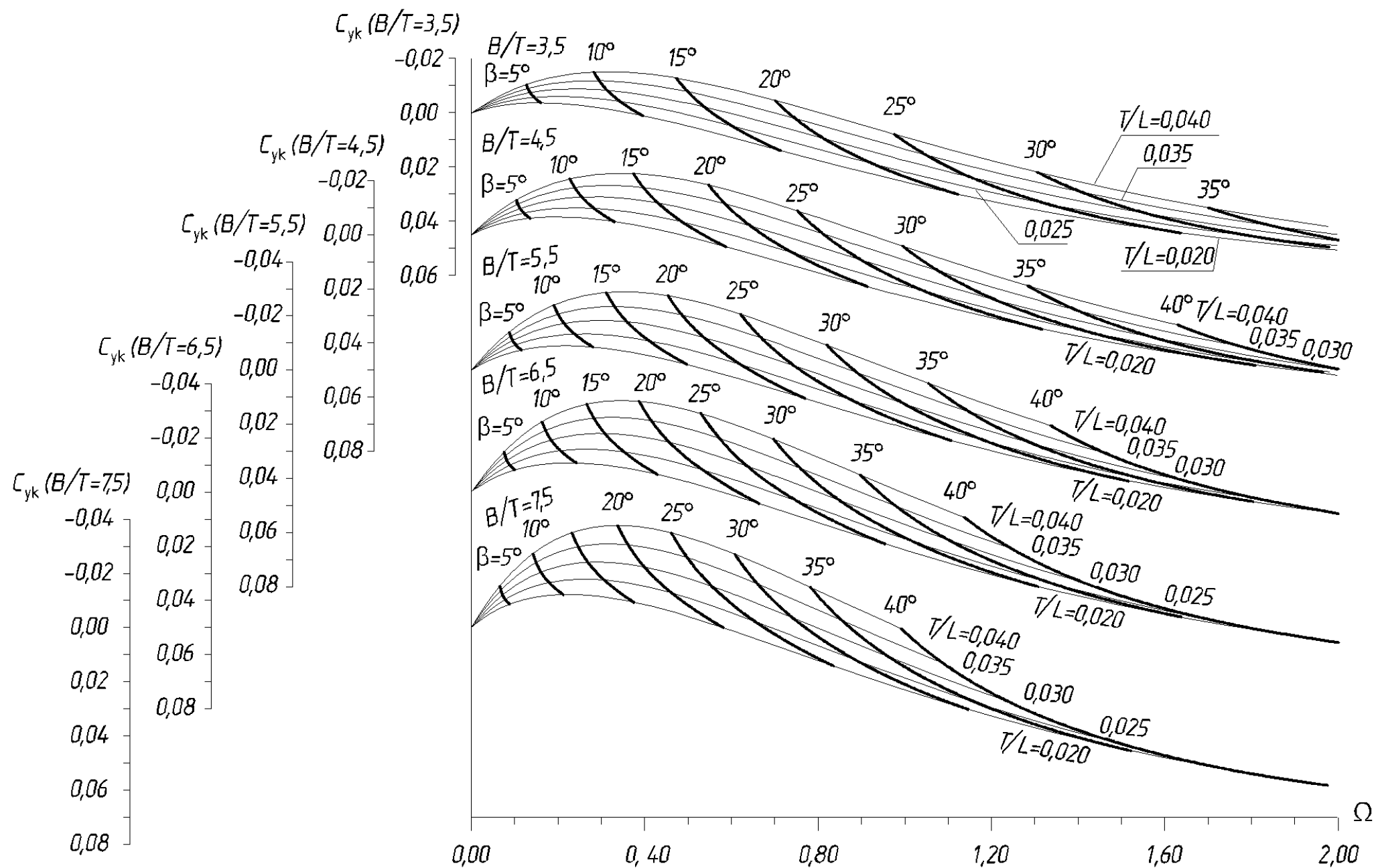


Рис. 4.2-1. Диаграмма  $\Omega - C_{yc}$  для грузовых судов

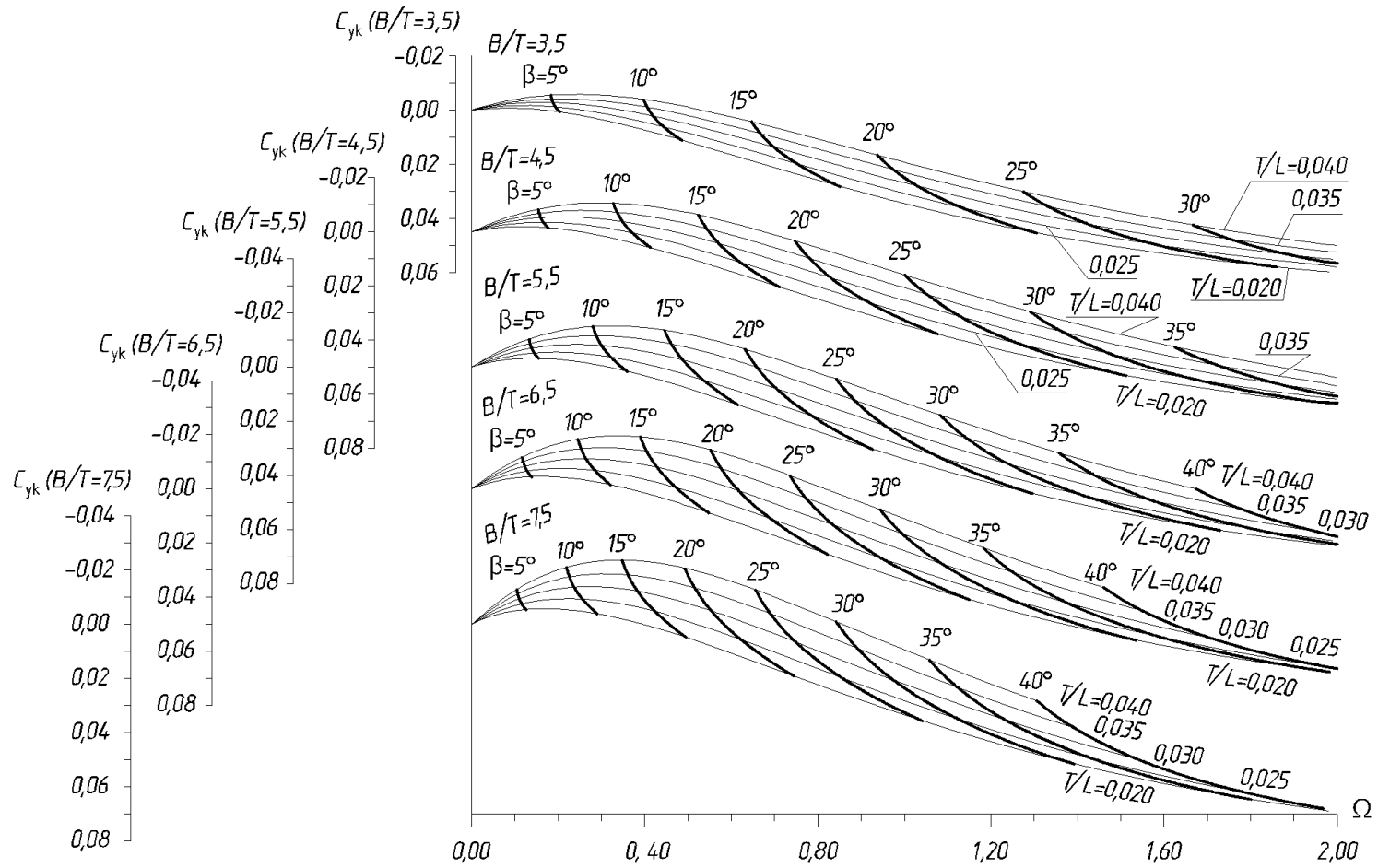


Рис. 4.2-2. Диаграмма  $\Omega - C_{yk}$  для пассажирских судов при  $0,55 > C_B \geq 0,45$

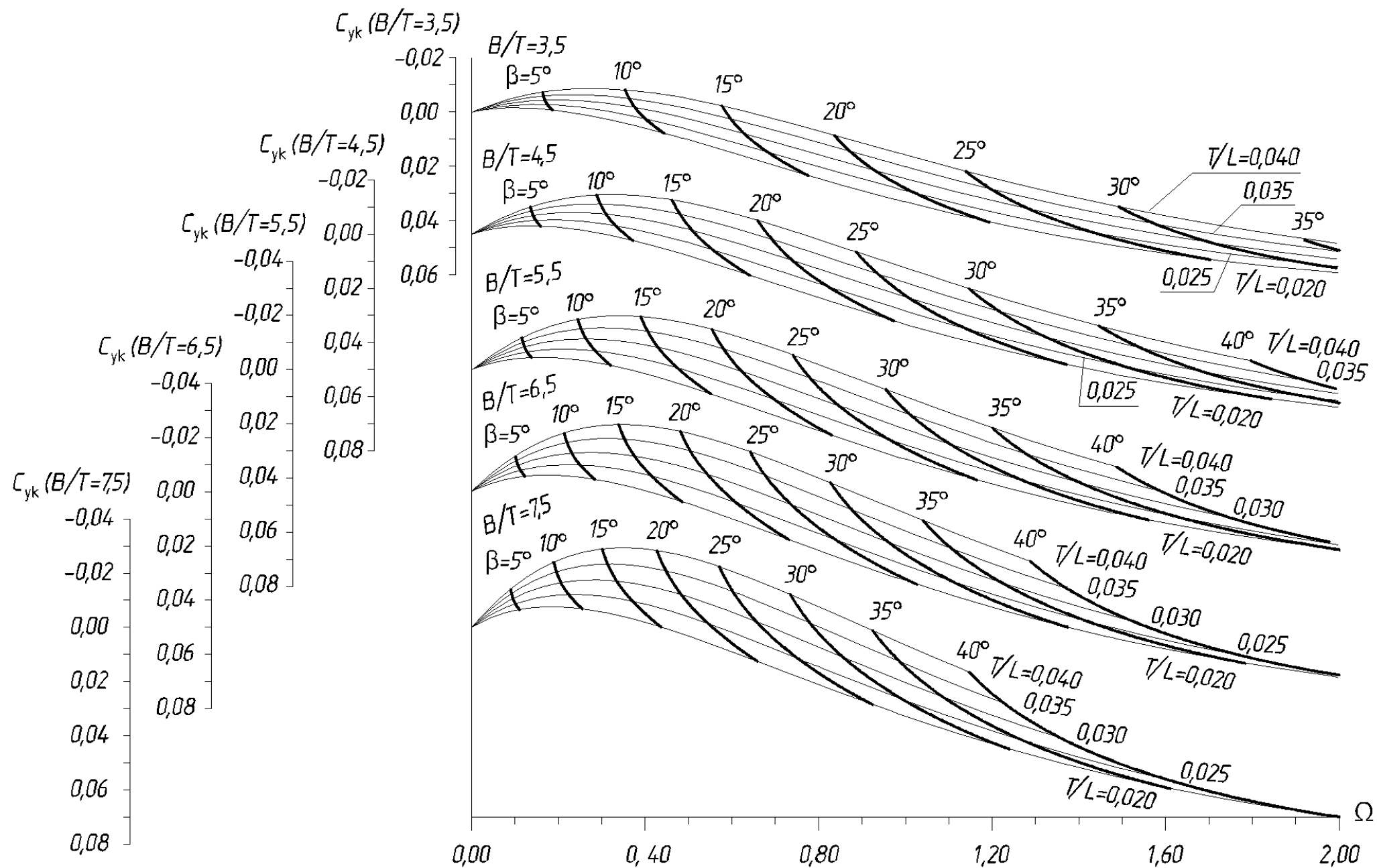


Рис. 4.2-3 Диаграмма  $\Omega - C_{vk}$  для пассажирских судов при  $0,65 > C_B \geq 0,55$

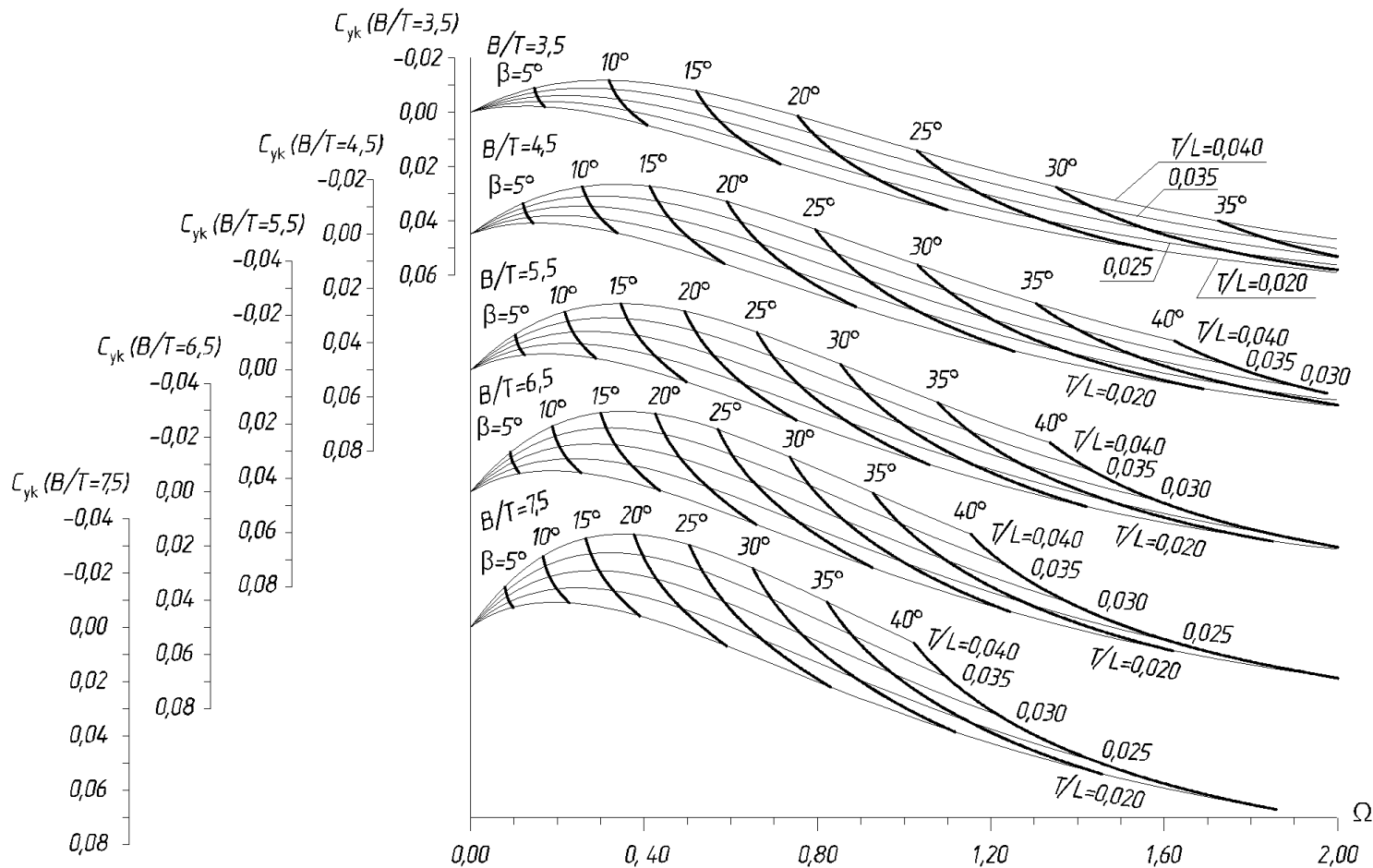


Рис. 4.2-4. Диаграмма  $\Omega - C_{yk}$  для пассажирских судов при  $0,75 \geq C_B \geq 0,65$

**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 перекидки насадок принимается угол  $\delta_m = 32^\circ$ . Значение коэффициента  $q_T$  увеличения упора гребного винта при перекидке 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	$\beta$							
		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	$\Delta C_{CT}$ (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  $\delta^*$  – 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:

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

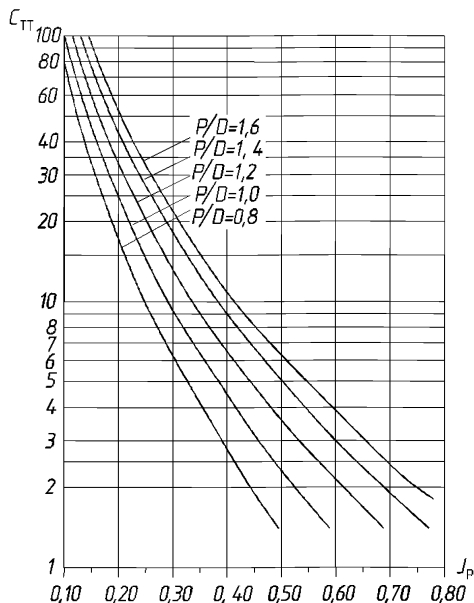


Рис. 4.6-1. Коэффициент нагрузки ДРК «гребной винт в насадке»

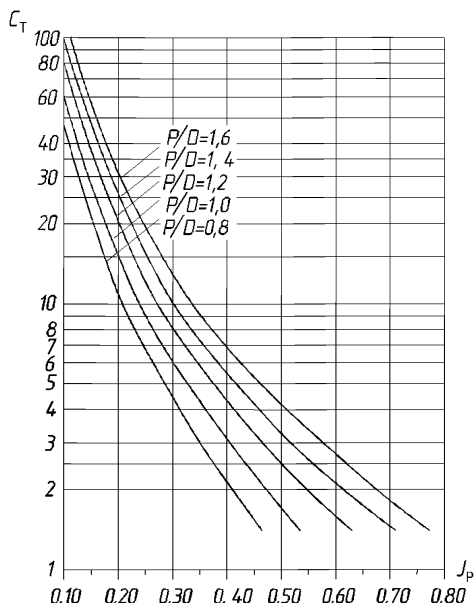


Рис. 4.6-2. Коэффициент нагрузки по упору гребного винта в насадке

**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  $\beta_K$  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 $k_\delta$ 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 $k_\delta$ 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:

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

.7 вспомогательный коэффициент  $k_\beta$  (строка 14) - по табл. 4.6.7;

Таблица 4.6.7

$l_H$	Значения $k_\beta$ 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 $k_\beta$ 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)  $\lambda''_{CT}$ , то следует

выполнить расчет дополнительной безразмерной поперечной силы  $\Delta C_{CT}$  (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  $\lambda_P$  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  $\beta_K$  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  $\delta$  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	$\beta$							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	$J_P$ (по формуле (4.6.1))	–	–	–					
9	$C_T$ (рис. 4.8)	–	–	–					
10	$C_Y^\delta$ (по табл. 4.8.3)	–	–	–					
11	$k_P$ (по табл. 4.8.4)	–	–	–					
12	$k_\sigma$ (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 перекладки  $C_Y^\delta$  (строка 10) - по табл. 4.8.3;

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

.5 коэффициент  $k_\sigma$  (строка 12) - по табл. 4.8.5 в зависимости от  $C_T$ .

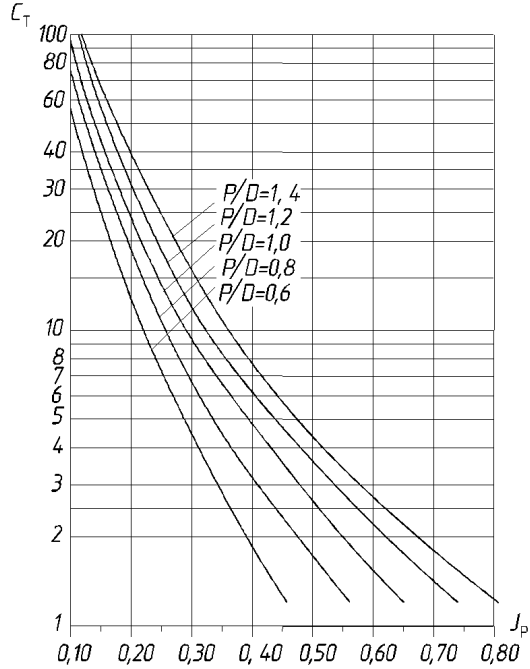


Рис. 4.8. Коэффициент нагрузки по упору открытого гребного винта

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
$C_Y^\delta$	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
$C_Y^\delta$	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
$k_\sigma$	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
$k_\sigma$	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  $\lambda_R'$  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:

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

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

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

**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  $\delta$  принимается угол  $\delta_m = 35^\circ$ .

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

Таблица 4.9

№ строки	Вычисляемые величины	$\beta$							
		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	$C_Y^\delta$ (по табл. 4.10.4)	-	-	-					
12	$\Delta\beta$ (по табл. 4.10.5)	-	-	-					
13	$k_G$ (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	$k_B$ (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»  $C_{TT}$  (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  $C_Y^\delta$  (строка 11) - по табл. 4.10.4;

Таблица 4.10.4

$C_{TT}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	8,0	9,0
$C_Y^\delta$	3,60	4,03	4,60	5,00	5,33	5,73	6,14	6,50	6,86	7,50	8,86	9,48
$C_{TT}$	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50
$C_Y^\delta$	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 скос потока  $\Delta\beta$  (строка 12) - по табл. 4.10.5;

Таблица 4.10.5

$\beta_k$ , град	$\Delta\beta$ , град, при $C_T$											
	при $x_p \leq 0,5$						при $x_p > 0,5$					
	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.  $x_p = x_p/D$  – относительное отстояние носовой кромки профиля руля от задней кромки насадки, измеренное по оси гребного винта.

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

.7 коэффициент  $a_R$ , учитывающий отличие величины  $\lambda'_R$  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:

$$A_Y = 0,0175 a_R C_Y^\delta (\delta - \Delta\beta); \quad (4.10.9)$$

.10 безразмерная поперечная сила  $B_Y$ , развиваемая частью руля, выступающей из струи движителя (строка 17), - по формуле (4.8.9);

.11 вспомогательный коэффициент  $k_\beta$  (строка 18) - по табл. 4.6.7;

.12 безразмерная демпфирующая поперечная сила  $C_{ГВ}$ , развиваемая 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  $\mu$  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 перекладки рулей  $(D_{Ц}/L)_0 = 2/\Omega_0$  следует определять путем нахождения абсциссы  $\Omega_0$  точки пересечения кривых  $C_{Yk}(\Omega)$  и  $C_{YR}(\Omega)$ , построенных на одном графике в функции безразмерной угловой скорости судна  $\Omega$  (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 перекладки рулей  $(D_{Ц}/L)_0 = \infty$ , безразмерная угловая скорость  $\Omega_0 = 0$ .

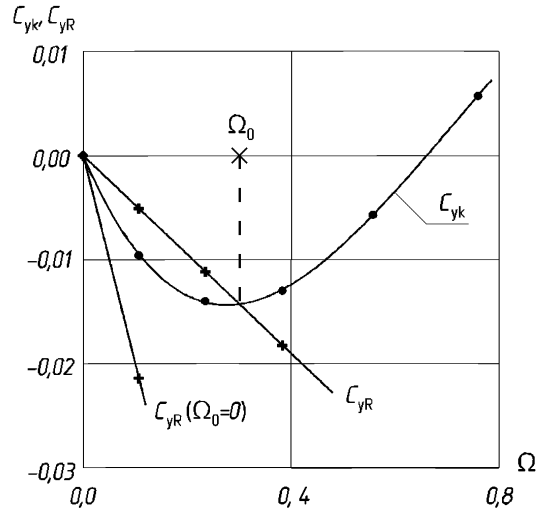


Рис. 5.1. Схема определения безразмерной угловой скорости  $\Omega_0$

**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  $\delta$  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	$\beta$							
		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	$k_\beta$ (по табл. 4.6.7)				–	–	–	–	–
13	$D_Y$ (по формуле (5.6.6))				–	–	–	–	–
14	$\Delta C_{CT}$ (по формуле (5.6.7))				–	–	–	–	–
15	$C_p$ (по формуле (5.6.8))				–	–	–	–	–
16	$C_{YR}$ (по формуле (5.6.9))				–	–	–	–	–

**5.5** Величина  $\mu$  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  $\beta_K$  определяется по формуле (4.2.2);

**.5** вспомогательный коэффициент  $k_\beta$  (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  $A''_{СТ}$ ,  $m^2$ , и относительным удлинением (отношением средней высоты этой части стабилизатора к ее длине)  $\lambda''_{СТ}$ , то следует выполнить расчет дополнительной безразмерной демпфирующей поперечной силы  $\Delta C_{СТ}$  (строка 14) по формуле:

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

.8 если на двухвинтовом судне, оборудованном гребными винтами в поворотных насадках, установлен дополнительный руль в ДП, имеющий площадь  $A_P$  и относительное удлинение  $\lambda_P$ , 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  $\beta_K$  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

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

5.7 Безразмерную поперечную силу ДРКС «рули за открытыми гребными винтами» следует определять по форме табл. 5.7. В качестве угла перекладки руля  $\delta$  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	$\beta$							
		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
8	$J_P$ (по формуле (4.6.1))				-	-	-	-	-
9	$C_T$ (рис. 4.8)				-	-	-	-	-
10	$C_Y^\delta$ (по табл. 4.8.3)				-	-	-	-	-
11	$k_B$ (по табл. 4.8.4)				-	-	-	-	-
12	$k_\sigma$ (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	$C_{ТВ}$ (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  $C_Y^\delta$  (строка 10) - по табл. 4.8.3;

**4** коэффициент скоса потока  $k_\beta$  (строка 11) - по табл. 4.8.4;

**5** коэффициент  $k_\sigma$  (строка 12) - по табл. 4.8.5;

**6** коэффициент  $a_R$ , учитывающий отличие величины  $\lambda'_R$  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  $C_Y^\delta$  (строка 11) - по табл. 4.10.4;

.5 коэффициент скоса потока  $k_\beta$  (строка 12) - по табл. 5.10.5;

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

.7 коэффициент  $a_R$ , учитывающий отличие величины  $\lambda'_R$  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	$\beta$							
		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	$C_Y^\delta$ (по табл. 4.10.4)				-	-	-	-	-
12	$k_\beta$ (по табл. 5.10.5)				-	-	-	-	-
13	$k_\sigma$ (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	$C_{ТВ}$ (по формуле (5.10.11))				-	-	-	-	-
19	$C_{YR}$ (по формуле (5.10.12))				-	-	-	-	-

Таблица 5.10.5

$x_p'$	Значения $k_\beta$ 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  $k_\beta$  определяется по табл. 5.10.5;

коэффициент  $\mu$  - 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

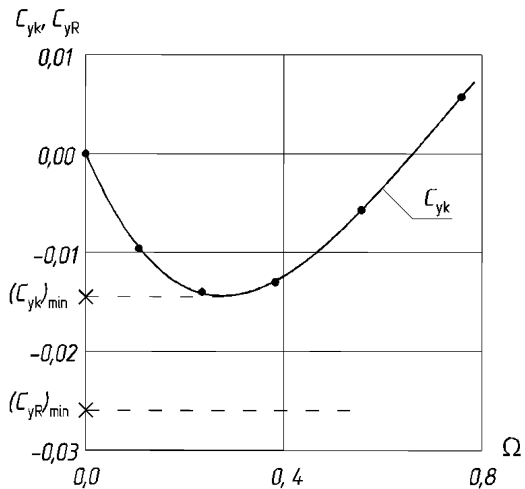


Рис. 6.1. Схема определения способности судна к выходу из произвольной установившейся циркуляции после остановки главных двигателей

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<sup>-1</sup>, 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;

$\Sigma T_{E1}$  – 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  $\lambda_i$  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  $\Sigma T_{E2}$  – 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  $\varphi_a$ ,  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ , входящие в формулу (8.1), следует вычислять по следующим формулам:

1 вспомогательный коэффициент  $\varphi_a$  – 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 Т/Л						
	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 Т/Л						
	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  $B_Y^\delta$ ,  $D_Y^\beta$  для различных типов ДРК определяются в соответствии с 8.3 и 8.4, величина  $\varphi$  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  $B_Y^\delta$ ,  $D_Y^\beta$ , 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:

$$B_Y^\delta = 0,0175k_\delta \left( \frac{q_{TT}C_{TT0}\sqrt{1+q_{TC_{T0}}} + \mu}{\sqrt{1+q_{TC_{T0}}} - 1} \right), \quad (8.3.1)$$

$$D_Y^\beta = -0,0175k_\beta \left( \frac{q_{TT}C_{TT0}}{\sqrt{1+C_{T0}} - 1} + \mu \right) - \frac{0,14}{D^2} \left( \frac{\lambda_{CT}'' A_{CT}''}{1 + \lambda_{CT}''} + \frac{\lambda_P A_P}{2 + \lambda_P} \right). \quad (8.3.2)$$

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,  $A_{CT}'' = 0$ . При отсутствии в составе ДРКС среднего руля  $A_P = 0$ .

**8.4** Величины  $B_Y^\delta$ ,  $D_Y^\beta$ , входящие в формулу (8.2), для ДРКС «рули за открытыми гребными винтами» следует вычислять по следующим формулам:

$$B_Y^\delta = 0,0175 \cdot (a_R C_Y^\delta + b_R), \quad (8.4.1)$$

$$D_Y^\beta = -0,0175 \cdot (a_R C_Y^\delta k_\beta + b_R), \quad (8.4.2)$$

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  $B_Y^\delta$ ,  $D_Y^\beta$ , входящие в формулу (8.2), для ДРКС «рули за гребными винтами в насадках» следует вычислять по следующим формулам:

$$B_Y^\delta = 0,0175 \cdot (a_R C_Y^\delta + b_R), \quad (8.5.1)$$

$$D_Y^\beta = -0,0175 \cdot (a_Y C_Y^\delta k_\beta + b_R), \quad (8.5.2)$$

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 натуральных 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  $35^\circ$ , – также при бóльших 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  $\delta$  в диапазоне от  $+5^\circ$  до  $-5^\circ$ . 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 перекадки руля  $\delta_{кр}$ ). Далее последовательно по достижении установившихся угловых скоростей руль перекадывается на  $-3^\circ$  и  $-5^\circ$ . 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  $\omega$ , 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 перекадки 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 перекадки руля». В этом случае в качестве критерия устойчивости судна на прямом курсе в соответствии с 6.6.1 ч. II ПКПС рассматривается среднее значение  $\Omega_0$  величин  $\Omega$  левого и правого бортов на оси истинного нуля перекадки 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 перекадки руля на один и тот же угол  $\delta$  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  $\theta_1$  (угол поворота судна с момента начала перекадки руля для одерживания до момента остановки вращения) и время одерживания  $t_1$  (с момента начала перекадки руля для одерживания до момента остановки вращения). На каждом маневре выполняются 3 полупериода и, соответственно, измеряются  $\theta_{11}$ ,  $\theta_{12}$ ,  $\theta_{13}$  и  $t_{11}$ ,  $t_{12}$ ,  $t_{13}$ .

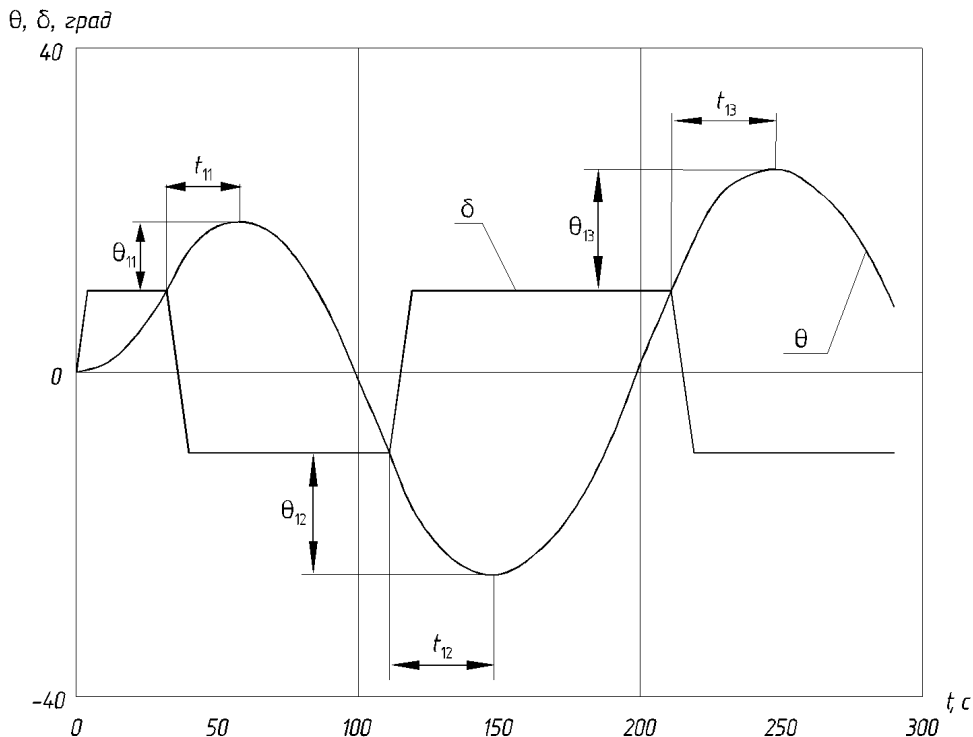


Рис. 9.5. Курсограмма маневра «зигзаг»

**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 натуральных испытаний.

**10.3** Таблица маневренности должна содержать следующие элементы:

.1 таблицу основных данных судна, СЭУ и средств управления: главные размерения, 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

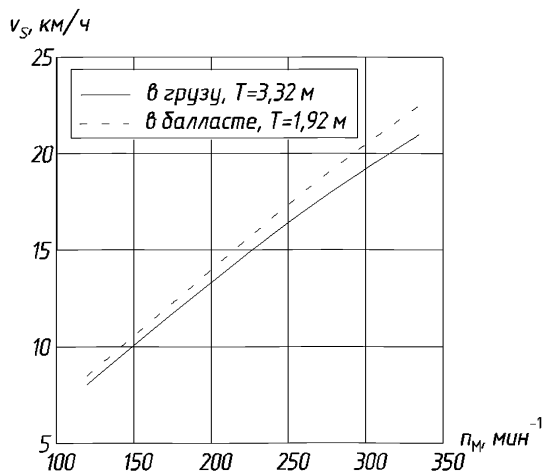


Рис. 10.3-1. Зависимость скорости судна от частоты вращения гребных винтов

.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<sup>-1</sup>, 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 перекладки руля  $\delta$  (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<sup>-1</sup>), 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  $\theta_1$  при одерживании установившегося поворота, выполняемого судном в грузу на полном переднем ходу с углом перекладки руля  $\delta_0$  с помощью наибольшего угла перекладки руля на противоположный борт;

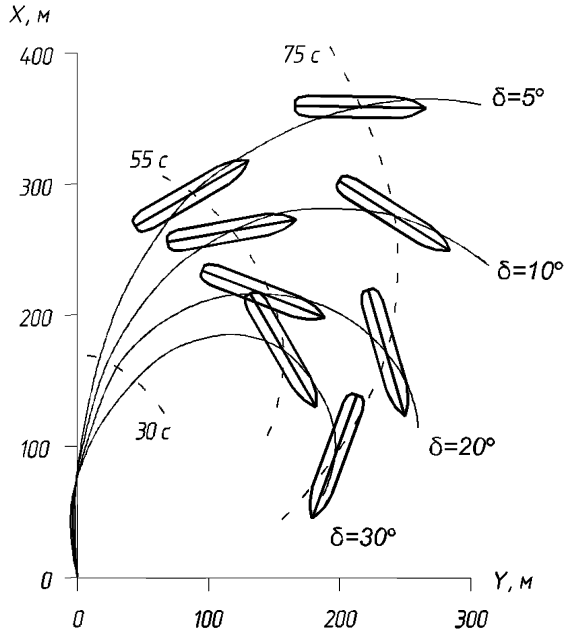


Рис. 10.3-2. Траектории движения судна в зависимости от времени при разных углах перекладки руля  $\delta$

Таблица 10.3.5

Угол перекладки руля на повороте, град	10	20	30	35
Время одерживания $t_1$ , с	27	31	34	42
Угол зарыскивания $\theta_1$ , 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;

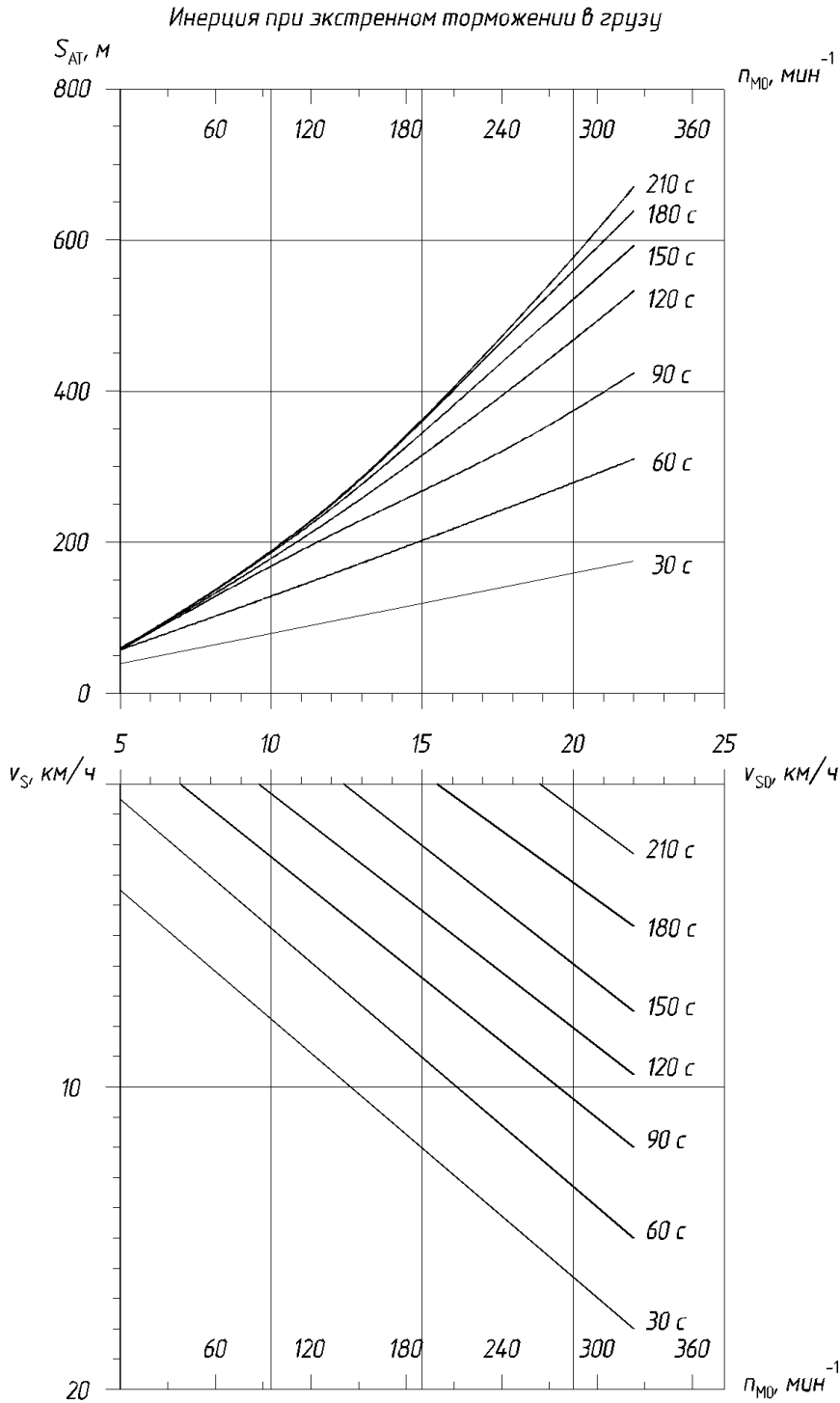


Рис. 10.3-3. Зависимость скорости судна и проходимого им пути от времени и исходной скорости движения при экстренном торможении

Таблица 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  $\Delta T_H$  при движении прямым курсом со скоростью  $v_s$ , км/ч, на мелкой воде при ряде глубин  $H$ , м, по форме табл. 10.3.7;

Таблица 10.3.7

Глубина воды, м	$\Delta T_H$ 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».

Примечание. 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.