Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волжский государственный университет водного транспорта»

Кафедра судовождения и безопасности судоходства

МАНЕВРИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплинам Б.3.Б.10 «Безопасность судоходства»
и Б.3.Б.12 «Маневрирование и управление судном»
для студентов очного и заочного обучения специальности
260505.65 «Судовождение»

Составители: А.Н. Клементьев, П.Н. Токарев,
Р.С. Хвостов

Нижний Новгород
Издательство ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
2016

УДК 656.6.052
К 48

Маневрирование и управление судном: метод. указания к выполнению лабораторных работ для студ. оч. и заоч. обуч. специальности 260505.65 «Судовождение» / сост.: А.Н. Клементьев, П.Н. Токарев, Р.С. Хвостов. – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – 101 с.

Настоящие методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по закреплению и углублению теоретических знаний по управлению судами в различных условиях плавания в соответствии с программами дисциплин: «Маневрирование и управление судном» и «Безопасность судоходства».

Методические указания составлены в соответствии с требованиями модельного курса ИМО 7.03 и требованиями таблицы A-II/1 Кодекса ПДНВ.

Для студентов специальности 260505.65 «Судовождение» очного и заочного обучения.

Работа рекомендована к изданию на заседании кафедры судовождения и безопасности судоходства. Протокол № 8 от 12.05.2016г.

© ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016

Лабораторная работа №1

«Определение параметров движения судна при действии ветра»

Задача о влиянии ветра на параметры движения судна сводится к отысканию условий, при которых у судна при его прямолинейном движении может наступить потеря управляемости. Для этого необходимо установить зависимость угла ветрового дрейфа и потребного угла перекладки рулевого органа от скорости движения судна, скорости и направления действия ветра.

Угол ветрового дрейфа $\alpha_в$ рассчитывается по формуле:

$$\alpha_в = -A + \sqrt{A^2 + Б\left(\frac{W}{v_0}\right)^2 c_{ув}\left(\bar{l}_в + \bar{l}_к\right)}, \qquad (1.1)$$

где W – скорость кажущегося ветра, м/с;

v_0 – скорость судна, м/с;

$$A = \frac{c_{21}\bar{l}_к + c_{31}}{2c_{23}\bar{l}_к}; \qquad (1.2)$$

$$Б = \frac{\rho_в S_п}{c_{23}\bar{l}_к \rho S_0}; \qquad (1.3)$$

$S_п$ – площадь проекции надводной поверхности судна на ДП, $м^2$;

ρ – плотность воды, ρ =1,0 $т/м^3$;

S_0 – площадь погруженной части диаметрального батокса, $м^2$;

$$S_0 = LT\sigma_д; \qquad (1.4)$$

L – длина судна, м;

T – осадка судна, м;

$\sigma_д$ – коэффициент полноты диаметрального батокса;

$\bar{l}_в$ – относительное плечо ветровой силы:

$$\bar{l}_в = 0{,}25 + \frac{l_п}{L} - \frac{q_w}{360^0}. \qquad (1.5)$$

Здесь q_w – направление кажущегося ветра, град.;

$l_{\text{п}}$ – отстояние центра парусности от центра масс судна, м;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, $\rho_{\text{в}} = 0{,}122 \cdot 10^{-2}$ т/м^3;

$\bar{l}_{\text{к}}$ – относительное отстояние ДРК от центра масс судна.

$$\bar{l}_{\text{к}} = \frac{l_{\text{к}}}{L}; \tag{1.6}$$

$\bar{l}_{\text{к}} = 0{,}47$ – для одиночных судов;

$\bar{l}_{\text{к}} = 0{,}52 \div 0{,}55$ – для толкаемых составов.

При практических расчетах без существенного влияния на точность результатов величину коэффициента аэродинамической силы можно принимать:

для грузовых судов

$$c_{y\text{в}} = 1{,}20 \sin q_w, \tag{1.7}$$

для пассажирских судов

$$c_{y\text{в}} = (0{,}735 + 1{,}12 \frac{H}{B}) \sin q_w, \tag{1.8}$$

где B – ширина судна, м;

H – возвышение пассажирской надстройки над ватерлинией, м;

для порожних толкаемых составов

$$c_{y\text{в}} = c_{y\text{в}_1} \sin q_w + c_{y\text{в}_2} \sin 5q_w. \tag{1.9}$$

Здесь

$$c_{y\text{в}_1} = 0{,}0389 + 0{,}868 \bar{h}_{\text{в}}; \; \bar{h}_{\text{в}} = \frac{H_{\text{б}}}{B},$$

$H_{\text{б}}$ – высота надводного борта барж, м;

$$c_{y\text{в}_2} = 0{,}0143 - 0{,}827 \bar{H}_{\text{б}} - 0{,}0568 \bar{B}.$$

$$\bar{H}_{\text{б}} = \frac{H_{\text{б}}}{L + B}; \; \bar{B} = \frac{B}{L}.$$

Гидродинамические коэффициенты корпуса судна определяются по следующим формулам:

речных пассажирских судов:

$$c_{21} = 3{,}14 \left(\frac{T}{L} \right) \left(\frac{0{,}63}{\bar{\varphi}} \right)^{5/2} \left(\frac{L}{6B} \right)^{1/3} - 0{,}032; \tag{1.10}$$

$$c_{23} = 1{,}35\left(\frac{T}{B}\right)^{1/2}\left(\frac{0{,}63}{\overline{\varphi}}\right)^{3/2} - 0{,}029; \qquad (1.11)$$

$$c_{31} = 1{,}67\left(\frac{T}{L}\right) - 0{,}56\overline{\varphi} + 0{,}43. \qquad (1.12)$$

$\overline{\varphi}$ – коэффициент продольной остроты судна, $\overline{\varphi} = \delta / \beta$;

δ – коэффициент полноты водоизмещения;

β – коэффициент полноты мидель-шпангоута;

для грузовых судов и судов смешанного «река-море» плавания:

$$c_{21} = 3{,}14\left(\frac{T}{L}\right); \qquad (1.13)$$

$$c_{23} = 0{,}020\left(\frac{B}{T}\right)^2 - 0{,}24\left(\frac{B}{T}\right) + 13{,}0\left(\frac{T}{L}\right) + 0{,}024\left(\frac{L}{T}\right); \qquad (1.14)$$

$$c_{31} = \left[5{,}8\left(\frac{T}{L}\right) + 0{,}084\right]\left(1{,}25 - \overline{\sigma}_к\right). \qquad (1.15)$$

$\overline{\sigma}_к$ – коэффициент полноты кормовой части диаметрального батокса ($\overline{\sigma}_к = 0{,}88 \div 0{,}96$).

Величина угла ветрового дрейфа рассчитывается при значениях q_w = 30^0, 60^0, 90^0, 120^0, 150^0 при скоростях кажущегося ветра W = 5, 10, 15, 20 м/с.

Результаты расчетов $\alpha_в$ сводятся в табл.1.

Таблица 1

Угол ветрового дрейфа судна

Угол	Режим движения	Скорость движения	При скорости кажущегося ветра, м/с			
			5	10	15	20
30	полный	$v = v_0$				
60	полный					
90	полный					
120	полный					
150	полный					
$q_w^{оп}$	малый	$v = 0{,}5v_0$				
	средний	$v = 0{,}75v_0$				
	полный	$v = v_0$				

По данным таблицы строится график зависимости $\alpha_{\text{в}} = f(q_w, W)$ (см. рис.1).

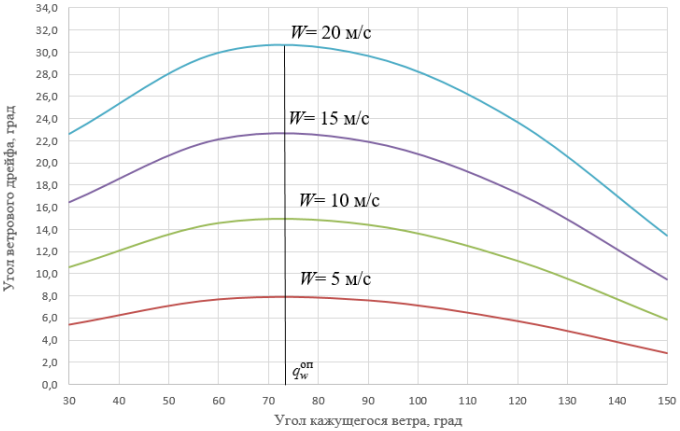


Рис.1. Зависимость угла ветрового дрейфа от направления и скорости кажущегося ветра

По графикам определяется опасное направление ветра $q_w^{\text{оп}}$ (соответствующее максимальному значению $\alpha_{\text{в}}$), для которого рассчитывается угол ветрового дрейфа при трех режимах движения (см. рис.2).

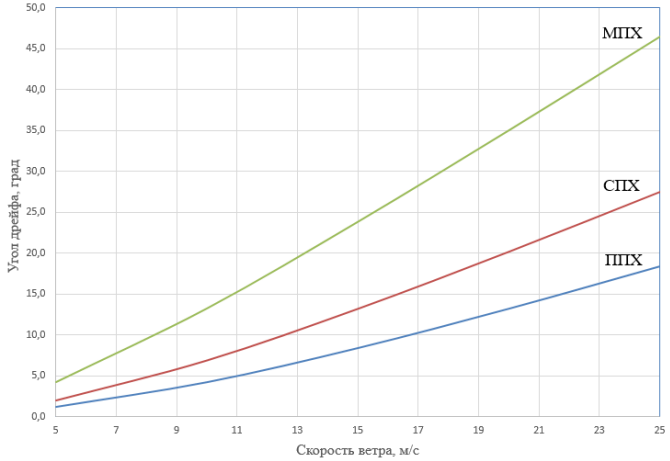


Рис.2. Зависимость угла ветрового дрейфа от направления и скорости кажущегося ветра опасного направления при трех режимах работы движителей

Полученные зависимости могут быть использованы также при оценке возможности прохождения судном прямолинейных участков ограниченной ширины. С этой целью необходимо определить «допустимый» угол дрейфа по формуле:

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{доп}} = \arcsin\frac{B_{\text{сх}} - B}{L}. \tag{1.16}$$

Здесь $B_{\text{сх}}$ – ширина судового хода (в работе принять $B_{\text{сх}}$ = 45 м).

Угол перекладки рулевого органа $\alpha_{\text{р(н)}}$, необходимый для поддержания прямолинейного движения судна, можно определить по выражениям:

$$\alpha_{\text{р(н)}} = B\left(\frac{W}{v_0}\right)^2 c_{y\text{в}}\bar{l}_{\text{в}} + C\alpha_{\text{в}}, \tag{1.17}$$

а) для судов, оборудованных комплексом «винт-поворотная насадка» коэффициенты B и C находятся по выражениям:

$$B = \frac{\rho_{\text{в}} S_{\text{п}}}{\bar{k}_{\text{н}}\bar{l}_{\text{к}}\rho S_0}; \tag{1.18}$$

$$C = \chi_{\text{н}} - \frac{c_{31}}{\bar{k}_{\text{н}}\bar{l}_{\text{к}}}; \tag{1.19}$$

где

$$\chi_{\text{н}} = \chi_{\text{к}}\frac{\mu'_{\text{н}} + 2\beta_{\text{н}}\left[1 + \dfrac{v_{\text{ан}}}{v_e}\right]}{\mu'_{\text{н}} + 2\beta_{\text{н}}\left[1 + \dfrac{v_{\text{ан}}}{v_e}\right]^2}. \tag{1.20}$$

$$\mu'_{\text{н}} = \frac{12\bar{l}_{\text{н}}}{1 + 1{,}56\bar{l}_{\text{н}}}; \tag{1.21}$$

$$v_e = \varphi_{\text{к}} v_0; \tag{1.22}$$

v_e – скорость подтекания воды к комплексу «винт-поворотная насадка», м/с;

$\chi_к$, $\varphi_к$ – коэффициенты взаимодействия комплекса «винт-поворотная насадка» с корпусом судна ($\chi_к$, $\varphi_к$ = 0,95);

$\bar{l}_н = \frac{l_н}{D_в}$ – относительная длина насадки $\bar{l}_н$ =0,8÷0,9;

$\beta_н$ – коэффициент расширения насадки, $\beta_н$ =1,0÷1,15.

Аксиальная скорость комплекса «винт-насадка» определяется по выражению:

$$v_{ан} = \left(\frac{v_{рн}}{2}\right)\left(1-0{,}0125\sigma_к\right)\left(\sqrt{1+\frac{2\sigma_к}{\beta_н}}-1\right). \quad (1.23)$$

Коэффициент нагрузки комплекса «винт-насадка» по упору определяется следующим образом:

$$\sigma_к = \frac{P_в}{\frac{\rho}{2}v_{рн}^2 S_н z_в}. \quad (1.24)$$

Здесь $P_в$ – упор винта, кН.

$$P_в = \frac{P_e}{1-t_з}; \quad (1.25)$$

$t_з$ – коэффициент засасывания, $t_з$ =0,2;

P_e – полезная тяга равная общему сопротивлению корпуса судна на полном ходу, кН.

$$P_e = R_0;$$

$z_в$ – число винтов, ед.;

$S_н$ – площадь диска насадки, м^2;

$$S_н = \frac{\pi D_в^2}{4};$$

$D_в$ – диаметр винта, м.

Скорость потока обтекания ДРК с учетом попутного потока:

$$v_{рн} = v_0\left(1-c_f\Psi\right), \quad (1.26)$$

Ψ – коэффициент попутного потока в месте расположения движительно-рулевого комплекса:

$$\Psi = 0{,}11 + \frac{0{,}16}{x}\delta^{x}\sqrt{\frac{\sqrt[3]{\delta LBT}}{D_{\text{в}}}}; \qquad (1.27)$$

δ – коэффициент полноты водоизмещения, ед.;

x – коэффициент, для бортовых винтов $x = 2$, для винта в ДП $x = 1$;

c_f – поправочный коэффициент, учитывающий изменение попутного потока. $c_f = 0{,}6$ – для винтов расположенных по бортам; $c_f = 0{,}7$ – для винтов расположенных в ДП.

Коэффициент гидродинамических сил действующих на насадки определятся по выражению:

$$\bar{k}_{\text{н}} = \frac{k_{\text{н}}}{S_0}; \qquad (1.28)$$

$$k_{\text{н}} = \mu_{\text{н}} S_{\text{н}} \varphi_{\text{к}}^2 z_{\text{в}}. \qquad (1.29)$$

Величина градиента подъемной силы насадки определяется по формуле:

$$\mu_{\text{н}} = \mu'_{\text{н}} + 2\beta_{\text{н}}\left[1 + \frac{v_{\text{ан}}}{v_e}\right]^2; \qquad (1.30)$$

б) для судов с рулями:

$$B = \frac{\rho_{\text{в}} S_{\text{п}}}{\bar{k}_{\text{р}} \bar{l}_{\text{к}} \rho S_0}; \qquad (1.31)$$

$$C = \frac{1}{r_v} - \frac{c_{31}}{\bar{k}_{\text{р}} \bar{l}_{\text{к}}}, \qquad (1.32)$$

где $\bar{k}_{\text{р}} = \frac{k_{\text{р}}}{S_0}$ – коэффициент гидродинамических сил, действующих на рули:

$$k_{\text{р}} = \mu_{\text{р}} S_{\text{р}} r_v^2 z_{\text{р}}; \qquad (1.33)$$

$z_{\text{р}}$ – число рулей, ед.;

$S_{\text{р}}$ – площадь руля, м^2;

$$S_{\text{р}} = \frac{\sum S_{\text{р}}}{z_{\text{р}}},\ \sum S_{\text{р}} = \xi LT;$$

ξ – коэффициент, принимаемый при определении площади пера руля; ξ = 0,020–0,070 для пассажирских и грузовых самоходных судов. Из двух величин для расчета следует выбирать наименьшую, т. е. ξ = 0,020;

$\sum S_{\text{р}}$ – общая площадь рулей, м^2;

$\mu_{\text{р}}$ – градиент коэффициента подъемной силы руля, определяемый по формуле:

$$\mu_{\text{р}} = \frac{2\pi}{1 + \dfrac{2{,}2}{\bar{\lambda}_{\text{р}}^{2/3}}}. \qquad (1.34)$$

Здесь $\bar{\lambda}_{\text{р}}$ – относительное удлинение руля.

$$\bar{\lambda}_{\text{р}} = \frac{h_{\text{р}}}{l_{\text{р}}} = \frac{h_{\text{р}}^2}{S_{\text{р}}};$$

$$h_{\text{р}} = (1{,}2 \div 1{,}3) D_{\text{в}},$$

$l_{\text{р}}$ – длина пера руля, м;

$h_{\text{р}}$ – высота пера руля, м;

Высота пера руля должна удовлетворять условию $h_{\text{р}} \le 0{,}8T$.

Коэффициент влияния корпуса и винта на скорость потока, обтекающего руль:

$$r_v = (1 - \Psi)\left[1 + \chi\left(1 - 0{,}0125\sigma_{\text{р}}\right)\left(\sqrt{1 + \sigma_{\text{р}}} - 1\right)\right], \qquad (1.35)$$

где

$$\chi = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{2\chi_{\text{в}}}{D_{\text{в}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{2\chi_{\text{в}}}{D_{\text{в}}}\right)^2}}\right], \qquad (1.36)$$

$\chi_{в}$ – коэффициент, учитывающий расстояние от плоскости диска винта до центра давления на рули $\chi_{в} = 0{,}94$.

Коэффициент нагрузки винта по упору определяется следующим образом:

$$\sigma_{р} = \frac{P_{в}}{\frac{\rho}{2} v_{р1}^{2} F_{в} z_{в}}, \tag{1.37}$$

где $F_{в}$ – площадь диска винта, м^2;

$$F_{в} = \frac{\pi D_{в}^{2}}{4}.$$

Скорость потока обтекания руля с учетом попутного потока, определяется по выражению:

$$v_{р1} = v_{0}(1 - \Psi). \tag{1.38}$$

Результаты расчетов требуемого угла перекладки рулевого органа в зависимости от силы и направления ветра сводятся в табл.2 аналогичную табл.1.

По данным таблицы строится график зависимости потребного угла перекладки рулевого органа (см. рис. 3, рис.4).

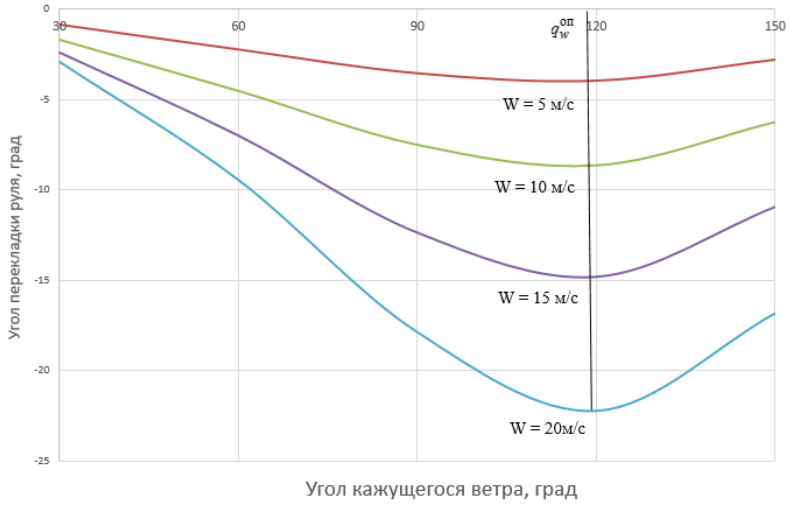


Рис.3. Зависимость угла перекладки руля от направления и скорости кажущегося ветра

По графику определяется опасное направление ветра по углу перекладки рулевого органа и рассчитывается потребный угол перекладки при трех режимах движения.

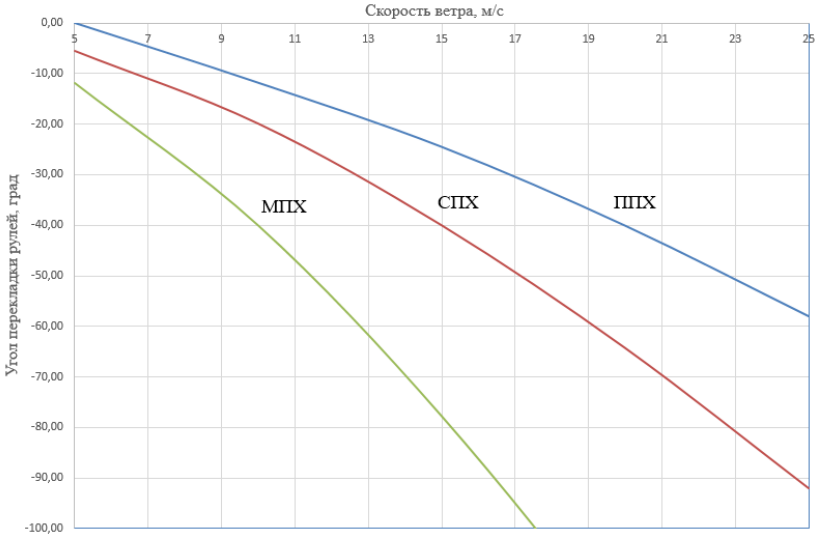


Рис.4. Зависимость угла перекладки руля от направления и скорости кажущегося ветра опасного направления при трех режимах работы движителей

Контрольные вопросы к лабораторной работе №1

1. Что такое кажущийся ветер?
2. Как измерить скорость и направление кажущегося ветра на судне?
3. В чем отличие приводящегося к ветру и уваливающегося по ветру судна?
4. Что такое ветровой угол дрейфа?
5. Как определить ветровой дрейф на движущемся судне?
6. Оцените границы потери управляемости судов при ветре?
7. На какие параметры движения судов оказывает влияние ветер?
8. Как оценивается возможность проводки судна через ограниченный по ширине участок пути при ветре?

Лабораторная работа № 2

«Привально-отвальные маневры судна»

Основным критерием безопасности выполнения маневра привала судна к причалу в условиях ветра является предельно допустимое значение скорости истинного ветра в районе расположения причала, при которой возможен безударный привал судна (см. рис.2.1.).

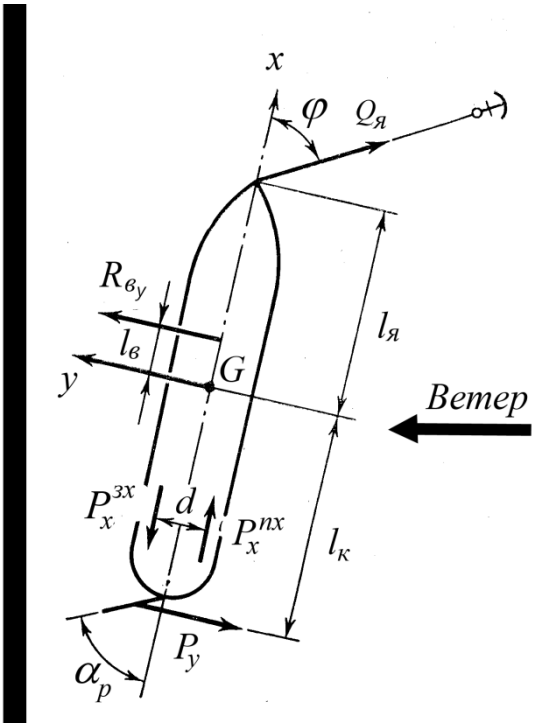


Рис.2.1. Схема сил, действующих на судно при привале в навальный ветер

Она может быть определена по выражению (2.1):

$$U = 1{,}3\sqrt{\frac{P_y + \frac{M_{дв}}{L}}{S_п \rho_в \sin q_v \left(0{,}25 - \bar{l}_в + \frac{q_v}{2\pi}\right)}}, \qquad (2.1)$$

где q_v – угол между направлением ветра и диаметральной плоскостью судна;

P_y – боковая составляющая рулевой силы определяется по выражениям, кН:

на насадках

$$P_{y_н} = P_{шв} \frac{tg\alpha_н}{1{,}00 + 1{,}65\alpha_н^2} \tag{2.2}$$

на рулях

$$P_{y_р} = 0{,}288\mu_р \frac{l_р}{D_в} P_{шв}\alpha_р \tag{2.3}$$

$M_{дв}$ – момент движителей, работающих «враздрай», кН·м:

$$M_{дв} = \left(P_в^{пх} + P_в^{зх}\right)\frac{d}{2}, \tag{2.4}$$

где $P_в^{пх}$, $P_в^{зх}$ – продольные составляющие рулевой силы для переднего и заднего хода, кН;

d – расстояние между винтами, м;

Расчетные выражения для величин в формулах (2.2), (2.3) приведены в лабораторной работе №1.

Упор винтов на швартовых $P_{шв}$ определяется по выражению, кН:

$$P_{шв} = 9{,}74\frac{k_р N_р}{k_м n_0 D_в}, \tag{2.5}$$

где $k_р$, $k_м$ – соответственно коэффициент упора и коэффициент момента в зависимости от шагового отношения $H_в / D_в$ (определяются по рис. Приложения 2);

$N_р$ – мощность, подводимая к винтам, $N_р = 0{,}95N_e$ (N_e – общая мощность СЭУ), кВт;

n_0 – номинальная частота вращения движителей, об/мин.

Коэффициент $k_р$ снимается отдельно для переднего и заднего хода и соответственно этому определяется $P_{шв}^{пх}$ и $P_{шв}^{зх}$.

Если привал судна выполняется с использованием якоря, то потребная длина якорной цепи при отдаче одного якоря, отданного с внешнего борта, определяют по формуле:

$$l_{\text{ц}} = H_{\text{кл}} \sqrt{\frac{2{,}3Q_{\text{я}}}{H_{\text{кл}} m_{\text{ц}}} + 1}\,, \tag{2.6}$$

где $H_{\text{кл}}$ – высота якорного клюза на грунтом, м;

$Q_{\text{я}}$ – держащая сила якоря, кН;

$m_{\text{ц}}$ – масса 1 погонного метра якорной цепи, кг.

Вес погонного метра якорной цепи находится по выражению

$$m_{\text{ц}} = 0{,}023 d_{\text{ц}}^2\,, \tag{2.7}$$

где $d_{\text{ц}}$ – калибр якорной цепи, мм.

Держащая сила якоря $Q_{\text{я}}$ определяется по выражению:

$$Q_{\text{я}} = 9{,}81 k m_{\text{я}}\,. \tag{2.8}$$

Здесь k – коэффициент держащей силы якоря (табл.2.1);

$m_{\text{я}}$ – масса якоря, кг

Таблица 2.1

Значения коэффициентов держащей силы якоря

Тип якоря	Тип грунта		
	илистый	песчаный	каменистый
Адмиралтейский	2,2	3,0	3,0
Холла	2,2	1,5	2,8
Матросова	12,0	8,0	-

Расстояние от места отдачи якоря до причала, обеспечивающее безопасный привал судна, может быть определено по формуле:

$$l_{\text{пр}} = \frac{0{,}435\left(l_{\text{ц}}^2 - H_{\text{к}}^2\right)}{H_{\text{к}}} Arcth\left(1 + \frac{2{,}3H_{\text{к}}^2}{l_{\text{ц}}^2 - H_{\text{к}}^2}\right). \tag{2.9}$$

При этом следует иметь в виду, что моменты сил, действующих на судно при отвале, берутся не относительно ЦМ судна, а относительно точки O контакта судна с причалом (см. рис. 2.2) $\bar{l}_0 = l_0 / L$.

Тогда предельную скорость ветра U при которой возможен отвал судна от причала в навальный ветер (см.рис.2.2) можно определить по формуле, м/с:

$$U = 1{,}3\sqrt{\frac{\sum M_{\text{с}}}{S_{\text{п}}\rho_{\text{в}}L\sin q_v\left(0{,}75+\bar{l}_{\text{п}}-\bar{l}_0-\frac{q_v}{2\pi}\right)}}\,. \qquad (2.10)$$

Отвал судна от причала в навальный ветер может быть обеспечен, если будет соблюдаться следующие условие:

$$\sum M_{\text{с}} \geq M_{\text{в}}\,, \qquad (2.11)$$

где $\sum M_{\text{с}}$ – суммарный вращающий момент от применения различных судовых технических средств, действующих на судне при отвале;

$M_{\text{в}}$ – момент от воздействия силы ветра.

Момент от воздействия силы ветра определяется по выражению:

$$M_{\text{в}} = \frac{1{,}2S_{\text{п}}\rho_{\text{в}}}{2U^2L\sin q_v\left(0{,}75+\bar{l}_{\text{п}}-\bar{l}_0-\frac{q_v}{2\pi}\right)}\,, \qquad (2.12)$$

Моменты судовых сил, действующих при отвале, определяются следующим образом.

Момент от перекладки органа управления:

$$M_{\text{р}} = P_y l_0\,, \qquad (2.13)$$

где l_0 – отстояние органа управления от точки O, обычно $l_0 = (0{,}05 \div 0{,}1)L$.

Момент от натяжения якорной цепи при работе брашпиля:

$$M_{\text{я}} = \left(0{,}7Q_{\text{б}} - 9{,}81H_{\text{к}}m_{\text{ц}}\right)l_{\text{я}}\sin\varphi\,, \qquad (2.14)$$

где $Q_{\text{б}}$ – усилие, развиваемое носовым брашпилем, кН причем

$$l_{\text{я}} = L - l_0\,, \qquad (2.15)$$

или по приближенной формуле

$$M_{\text{я}} = Q_{\text{я}}l_{\text{я}}\,. \qquad (2.16)$$

Момент от работы подруливающего устройства:

$$M_{\text{пу}} = P_{\text{н}}l_{\text{пу}}\,, \qquad (2.17)$$

где $P_{\text{н}}$ – упор подруливающего устройства, кН;

$l_{пу}$ – плечо упора подруливающего устройства, причем

$$l_{пу} \approx L - l_0 . \qquad (2.18)$$

Момент от силы тяги вспомогательного буксировщика:

$$M_б = F_г (L - l_0) \sin \varphi_б , \qquad (2.19)$$

где $F_г$ – сила тяги на гаке вспомогательного буксировщика, кН.

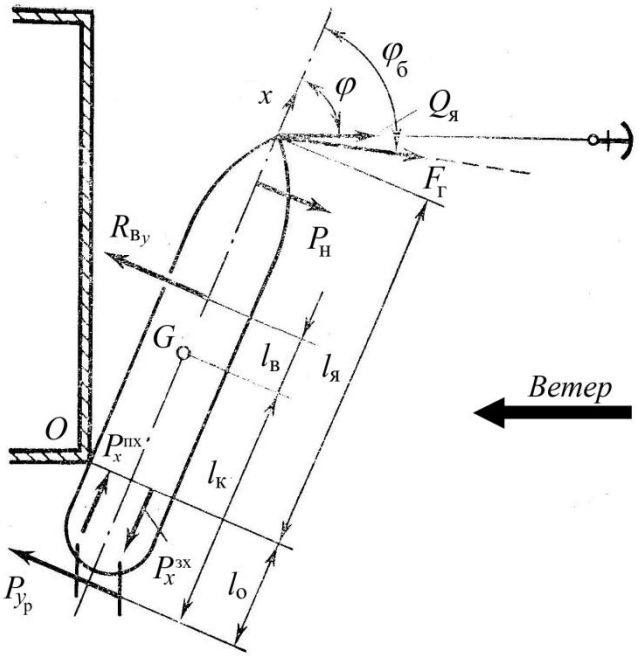


Рис.2.1. Схема сил, действующих на судно при отвале в навальный ветер

Расчеты произвести при направлениях ветра q_v = 30^0, 60^0, 90^0, 120^0, 150^0 и трех режимах работы движителей n_0 = (МХ; СрХ; ПХ).

Результаты оформить в виде графика (см. рис.2.3) зависимости скорости ветра от его направления и режима работы движителей $U = f(q_v; n_0)$.

Определить потребную длину вытравленной якорной цепи и расстояние от причала до места отдачи якоря при выполнении маневра привала в условиях сильного навального ветра.

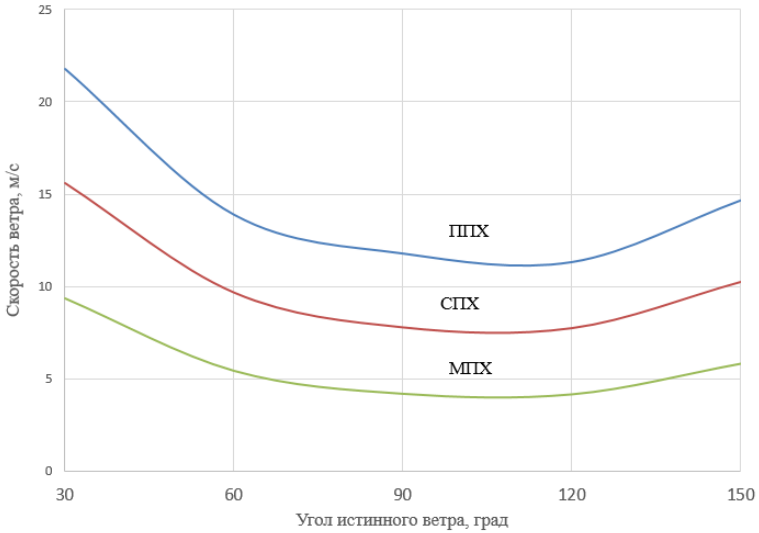


Рис. 2.3. Предельная скорость ветра при которой возможен отвал судна от причала

Контрольные вопросы к лабораторной работе №2

1. Оцените влияние скорости ветра на безопасность подхода к причалу.
2. Нарисуйте схему перекладки рулей (насадок) при подходе к причалу без ветра.
3. Нарисуйте схему перекладки рулей (насадок) при подходе к причалу в навальный ветер.
4. Нарисуйте схему перекладки рулей (насадок) при подходе к причалу в отвальный ветер.
5. Покажите на схеме положение раздельно перекладывающихся насадок при маневре подхода к причалу при навальном ветре.

6. Покажите на схеме положение раздельно перекладывающихся насадок при маневре подхода к причалу при отвальном ветре.

7. Может ли судно обеспечить движение лагом в условиях ветра?

Лабораторная работа №3

«Расчет параметров движения судна на повороте реки»

Основными критериями безопасной проводки судна на повороте являются: скорость движения, ширина занимаемой ходовой полосы, допустимый угол дрейфа и необходимый угол перекладки рулевого органа.

Угол дрейфа на повороте определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{-A_2 + \sqrt{A_2^2 + 4A_1A_3\overline{\omega}}}{2A_1}, \tag{3.1}$$

где $A_1 = c_{23}\bar{l}_к$; (3.2)

$A_2 = c_{21}\bar{l}_к + c_{31} + c_{24}\overline{\omega}\bar{l}_к$; (3.3)

$A_3 = m_1\bar{l}_к\left(1 + {}^{2v_т}\!/_{v}\right) - c_{32} - c_{22}\bar{l}_к$; (3.4)

v – скорость судна, м/с;

$v_т$ – скорость течения, м/с (Знак «+» перед $v_т$ соответствует движению судна по течению, рассматривая движение против течения, следует изменить знак на обратный);

m_1 – безразмерная масса судна, определяемая по выражению:

$$m_1 = \frac{2V}{S_0L} \tag{3.5}$$

V – объемное водоизмещение судна, м^3 ;

$\bar{l}_к$ – относительное отстояние ДРК от центра тяжести судна.

$\bar{l}_к = 0{,}47$ – для одиночных судов;

$\bar{l}_к = 0{,}52 \div 0{,}55$ – для толкаемых составов.

$c_{21}, c_{22}, c_{23}, c_{24}, c_{31}, c_{32}$ – гидродинамические коэффициенты корпуса судна определяемые по следующим формулам:

для речных пассажирских судов:

$$c_{21} = 3{,}14\left(\frac{T}{L}\right)\left(\frac{0{,}63}{\overline{\varphi}}\right)^{5/2}\left(\frac{L}{6B}\right)^{1/3} - 0{,}032; \tag{3.6}$$

$$c_{22} = -2k_1\delta\left(\frac{B}{L}\right); \tag{3.7}$$

$$c_{23} = 1{,}35\left(\frac{T}{B}\right)^{1/2}\left(\frac{0{,}63}{\overline{\varphi}}\right)^{3/2} - 0{,}029; \tag{3.8}$$

$$c_{24} = 0; \tag{3.9}$$

$$c_{31} = 1{,}67\left(\frac{T}{L}\right) - 0{,}56\overline{\varphi} + 0{,}43; \tag{3.10}$$

$$c_{32} = -\left[0{,}44\left(\frac{T}{L}\right) + 0{,}0375\right], \tag{3.11}$$

где $\overline{\varphi}$ – коэффициент продольной остроты судна, $\overline{\varphi} = \delta / \beta$;

δ – коэффициент полноты водоизмещения;

β – коэффициент полноты мидель-шпангоута;

k_1 – коэффициент присоединенных масс, определяемый по формуле:

$$k_1 = \frac{2T}{L}\left[0{,}18 + 2{,}88\left(\frac{B}{L}\right)^2\right](0{,}624 + 0{,}72\delta). \tag{3.12}$$

для грузовых судов и судов смешанного «река-море» плавания:

$$c_{21} = 3{,}14\left(\frac{T}{L}\right); \tag{3.13}$$

$$c_{22} = 0{,}020 + 0{,}37\,(1 - \overline{\sigma}_к) - 12\,(1 - \overline{\sigma}_к)^2; \tag{3.14}$$

$$c_{23} = 0{,}020\left(\frac{B}{T}\right)^2 - 0{,}24\left(\frac{B}{T}\right) + 13{,}0\left(\frac{T}{L}\right) + 0{,}024\left(\frac{L}{T}\right); \tag{3.15}$$

$$c_{24} = 0{,}12 + 1{,}2\,(1 - \overline{\sigma}_к); \tag{3.16}$$

$$c_{31} = \left[5{,}8\left(\frac{T}{L}\right) + 0{,}084 \right]\left(1{,}25 - \bar{\sigma}_{\text{к}}\right); \tag{3.17}$$

$$c_{32} = -\left[15{,}0\left(\frac{B}{T}\right) - 37{,}5 \right]^{-1}, \tag{3.18}$$

где $\bar{\sigma}_{\text{к}}$ – коэффициент полноты кормовой части диаметрального батокса $\bar{\sigma}_{\text{к}} = 0{,}88 \div 0{,}96$;

Потребный угол перекладки рулевого органа для обеспечения движения судна на повороте реки находится по выражению:

$$\alpha_{\text{р(н)}} = A_5\alpha + A_6\bar{\omega}\,. \tag{3.19}$$

для судов, оборудованных рулями:

$$A_5 = -\left(\frac{c_{31}}{\bar{k}_{\text{р}}\bar{l}_{\text{к}}} - \frac{1}{r_v} \right); \tag{3.20}$$

$$A_6 = \left(\frac{\bar{l}_{\text{к}}}{r_v} - \frac{c_{32}}{\bar{k}_{\text{р}}\bar{l}_{\text{к}}} \right). \tag{3.21}$$

для судов, оборудованных поворотными насадками

$$A_5 = -\left(\frac{c_{31}}{\bar{k}_{\text{н}}\bar{l}_{\text{к}}} - \chi_{\text{н}} \right), \tag{3.22}$$

$$A_6 = \left(\chi_{\text{н}}\bar{l}_{\text{к}} - \frac{c_{32}}{\bar{k}_{\text{н}}\bar{l}_{\text{к}}} \right). \tag{3.23}$$

Расчетные выражения для r_v, $\bar{k}_{\text{р}}$, $\chi_{\text{н}}$, $\bar{k}_{\text{н}}$ приведены в лабораторной работе №1.

Значение расчетной величины безразмерной угловой скорости в формулах (3.1), (3.3) и (3.19) находится как

$$\bar{\omega} = 0{,}95\frac{R}{L}, \tag{3.24}$$

где R – радиус поворота, м.

Параметры движения судна по корме следующие:

$$tg\alpha_{\text{к}} = tg\alpha + \frac{l_{\text{к}}}{R\cos\alpha}; \tag{3.25}$$

$$R_{\text{к}} = R\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_{\text{к}}}. \tag{3.26}$$

Отстояние точки поворота от кормы

$$x_{\text{п.п.}} = R_{\text{к}}\sin\alpha_{\text{к}}. \tag{3.27}$$

Ширина ходовой полосы при прохождении судном поворота определяется таким образом:

при $x_{\text{п.п.}} > L$

$$b = R_{\text{к}}\left(1 - \frac{\cos\alpha_{\text{к}}}{\cos\alpha_{\text{ф}}}\right) + \frac{B}{2}; \tag{3.28}$$

при $x_{\text{п.п.}} < L$

$$b = R_{\text{к}}\left(1 - \cos\alpha_{\text{к}}\right) + \frac{B}{2}. \tag{3.29}$$

Здесь $\alpha_{\text{ф}}$ – угол дрейфа по форштевню судна, причем

$$\alpha_{\text{ф}} = arctg\left[tg\alpha_{\text{к}} - \frac{L}{R_{\text{к}}\cos\alpha_{\text{к}}}\right] \tag{3.30}$$

Расчеты произвести при R = 500, 1000, 1500 м; $v = v_0$; $v = 0{,}75v_0$; $v = 0{,}5v_0$.

По результатам расчетов построить зависимости $\alpha = f\left(R_{\text{сх}}\right)$; $b = f(\alpha)$; $\alpha_{\text{р(н)}} = f(\alpha)$.

Проанализировать полученные результаты.

Контрольные вопросы к лабораторной работе №3

1. Как влияет скорость движения на угол дрейфа при прохождении криволинейного участка?
2. Влияет ли скорость движения судна на повороте на ширину ходовой полосы, занимаемой судном?
3. Какое влияние на параметры движения судна на повороте оказывает течение?
4. Как оценить совместное влияние ветра и течения на параметры движения судна при прохождении криволинейного участка?

5. Как влияет длина судна на ширину ходовой полосы, занимаемой судном на повороте?

Лабораторная работы №4

«Определение безопасных параметров движения судов в каналах»

Для обеспечения безопасности судоходства практический интерес представляют следующие задачи:

1. Определение безопасной скорости одиночного судна, км/ч

$$v_{\text{без}} = a(1-n_{\text{к}})\cdot(1-\frac{T}{H_{\text{к}}})^{0,25}, \qquad (4.1)$$

где $a = 24$ – для судов в балласте;

$a = 17$ – для судов в грузу;

T – осадка судна, м;

$H_{\text{к}}$ – глубина в канале, м;

$n_{\text{к}} = \frac{\Omega_{\chi}}{\Omega_{\text{к}}}$ – коэффициент стеснения живого сечения канала корпусом судна;

Ω_{χ} – площадь погруженной части мидель-шпангоута судна, м^2

$$\Omega_{\chi} = \beta BT;$$

$\Omega_{\text{к}}$ – площадь живого сечения канала, м^2

$$\Omega_{\text{к}} = \frac{B_{\text{п}} + B_{\text{д}}}{2} H_{\text{к}};$$

$B_{\text{п}}$ – ширина канала по поверхности воды, м;

$B_{\text{д}}$ – ширина канала по дну, м.

Расчеты провести при $\frac{T}{H_{\text{к}}}$ = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8.

Построить зависимость $v_{\text{без}} = f\left(\frac{T}{H_{\text{к}}}; n_{\text{к}}\right)$.

2. Определение безопасной скорости и безопасного траверзного расстояния при расхождении судов

В этом случае при определении безопасной скорости коэффициент стеснения следует рассчитывать по формуле:

$$n_{\text{к}} = \frac{\Omega_{\chi_1} + \Omega_{\chi_2}}{\Omega_0}, \tag{4.2}$$

где Ω_{χ_2} – площадь погруженной части мидель-шпангоута встречного судна, м^2.

Величина безопасного траверзного расстояния при этом определяется по выражению, м:

$$\Delta b = \frac{A\Omega_{\chi_1} + (\Omega_{\chi_1} + \Omega_{\chi_2}) \cdot (A - v_{\text{без}}^{\text{р}})}{2H_K \cdot (A - v_{\text{без}}^{\text{р}})} - \frac{B_1 + B_2}{2}. \tag{4.3}$$

Здесь $A = a\left(1 - \frac{T}{H_{\text{к}}}\right)^{0,25}$.

Расчеты провести при $\frac{T}{H_{\text{к}}}$=0,5; 0,6; 0,7; 0,8. В качестве встречного судна принять судно, аналогичное заданному. По результатам расчета построить зависимость $\Delta b = f\left(\frac{T}{H_{\text{к}}}; v_{\text{без}}^{\text{р}}\right)$.

Лабораторная работа № 5

«Определение безопасности скорости судов
при заходе в камеру шлюза»

Как показывает практика шлюзования, в настоящее время основной резерв в ускорении шлюзования состоит в уменьшении времени на маневровые операции судов (заход в шлюз, выход из шлюза, движение и маневрирование в подходном канале), которое зависит от многих факторов (внешних условий, типа судна, опыта судоводителя и т.п.). Однако основным фактором ускорения и обеспечения безопасности маневра при прочих равных условиях является правильный выбор скорости судна (состава). Особенно актуальным данный вопрос становится при минимальных запасах воды в подходном канале и на пороге шлюза.

Величину скорости захода в камеру шлюза, при которой динамический запас воды под днищем судна составляет не менее 0,1 м, что обеспечивает безопасные условия движения, можно определять по формуле, м/с:

$$v_{\text{без}}^{\text{зах}} = (0{,}97 n_{\text{к}}{}^2 - 1{,}62 n_{\text{к}} + 0{,}74) \cdot \sqrt{g H_{\text{п}}}\,, \qquad (5.1)$$

где $n_{\text{к}} = \dfrac{\Omega_{\chi}}{\Omega_{\text{кам}}}$ – коэффициент стесненности;

Ω_{χ} – площадь погруженной части мидель-шпангоута судна, м^2

$\Omega_{\text{кам}}$ – площадь поперечного сечения камеры шлюза, м^2;

$$\Omega_{\text{кам}} = B_{\text{кам}} H_{\text{п}}\,. \qquad (5.3)$$

Здесь $B_{\text{кам}}$ – ширина камеры шлюза, м.

$H_{\text{п}}$ – глубина на пороге шлюза, м.

Зависимость (5.1) справедлива при $\dfrac{T}{H_{\text{п}}} \le 0{,}97$ и скоростях захода $v_{\text{зах}} \ge 0{,}4$ м/с.

Содержание задания

1. Определить величину безопасной скорости захода заданного в задании проекта судна в камеру Волжских шлюзов при условиях $\frac{T}{H}$ =0,7; 0,8; 0,9; 0,95.

2. Построить график зависимости безопасной скорости захода судна от глубины воды на пороге шлюза.

3. Определить величину необходимой безопасной глубины на пороге шлюза при скорости захода $v_{зах} = 1{,}5$ м/с и $B_{кам} = 30$ м.

4. Проанализировать полученные результаты.

Лабораторная работа № 6

«Определение элементов уклонения судов (составов) в зоне гидроузла»

Обеспечение безопасных условий маневрирования судов (составов) в зоне гидроузла определяется знанием судоводителями элементов того или иного маневра в сложившихся условиях. Одним из наиболее часто употребляемых маневров при выходе судна из камеры шлюза для расхождения со встречными или ожидающими шлюзование у причальной стенки судами является уклонение.

Под уклонением судна с прямого курса понимается маневр, который включает в себя две знакопеременные эволюции (рис. 6.1).

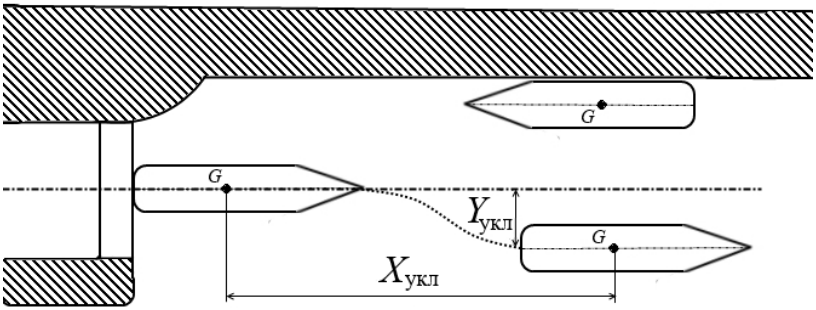


Рис.6.1. Схема маневра уклонения

Величина необходимого смещения судна во время маневра назначается судоводителем из условий обеспечения безопасного заданного траверзного расстояния со встречным судном. Данный маневр осуществляется с помощью соответствующих перекладок органа управления (рис.6.2). В начальный момент перекладка делается в сторону уклонения $\alpha_{р_1}$, затем на противоположный борт $\alpha_{р_2}$. Судно при этом гасит инерцию вращения и выходит на курс, параллельный первоначальному, и рулевой орган отводится в нулевое положение. Смещение судна в результате маневра в сторону, перпендикулярную линии его первоначального курса, называется боковым смещением $Y_{укл}$. Смещение вдоль линии первоначального курса, на которое смещается судно во время маневра, называется продольным смещением $X_{укл}$. Время, необходимое судну для совершения уклонения с момента начала перекладки рулевого органа до выхода на курс, параллельный первоначальному, называется временем уклонения τ.

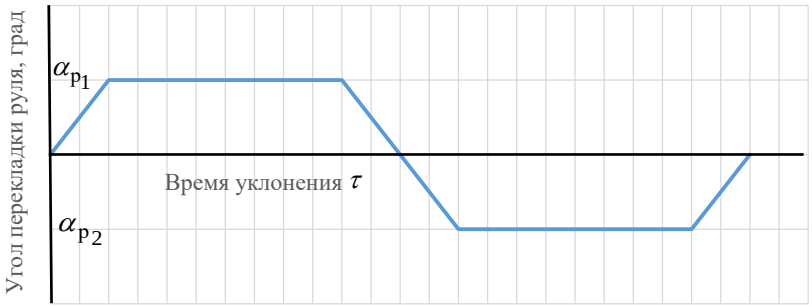


Рис. 6.2. Схема перекладки рулевого органа в процессе маневра уклонения

Величина продольного смещения судна в процессе выполнения маневра можно определить по формуле:

$$X_{укл} = \overline{X}_{укл} L, \qquad (6.1)$$

где L – длина судна (состава), м;

$\overline{X}_{укл}$ – безразмерная величина уклонения, определяемая по выражениям:

для одиночных судов:

$$\overline{X}_{\text{укл}} = \frac{(v-1)^{0,195}}{v+1} - 0,117 + 1,518m'\left(\frac{T}{H_{\text{пк}}} + 3,05m'\right) + \\ + 0,03\overline{Y}_{\text{укл}}\left(11 - \overline{Y}_{\text{укл}}\right); \quad (6.2)$$

для толкаемых составов:

$$\overline{X}_{\text{укл}} = \frac{(v-1)^{0,195}}{v+1} - 0,0825 + 1,518m'\left(\frac{T}{H_{\text{пк}}} + 3,05m'\right) + \\ + 0,03 \cdot \overline{Y}_{\text{укл}} \cdot \left(12,9 - \overline{Y}_{\text{укл}}\right), \quad (6.3)$$

где $\overline{Y}_{\text{укл}} = \frac{Y_{\text{укл}}}{B}$;

$m' = 2\delta\frac{B}{L}$;

δ – коэффициент полноты водоизмещения судна (состава);

$H_{\text{пк}}$ – глубина подходного канала, м.

Содержание задания

1. Определить величину продольного смещения судна при уклонении на величину $Y_{\text{укл}}$.=10, 15, 20, 25 м при скоростях движения v=1,5; 2,0; 2,5 м/с и отношениях $\frac{T}{H_{\text{пк}}}$ = 0,4; 0,6; 0,8.

2. Построить графики зависимости величины продольного смещения судна (состава) от величины необходимого бокового смещения.

3. Проанализировать полученные результаты.

Лабораторная работа № 7

«Расчет действительной скорости движения судна в канале и на мелководье»

Расчет скорости движения судна в канале выполняется в следующей последовательности:

1.1. Определяется коэффициент стеснения живого сечения канала корпусом судна $n_к$ по формуле:

$$n_к = \frac{\Omega_\chi}{\Omega_к}, \tag{7.1}$$

где Ω_χ – площадь погруженной части мидель-шпангоута судна, $м^2$

$\Omega_к$ – площадь живого сечения канала, $м^2$.

1.2. Определяется вспомогательный коэффициент F по выражению:

$$F = 5\left[\left(\frac{T}{H}\right)\frac{v_{зад}}{\sqrt{gH}}\left(\frac{1}{1-n_к}\right)\right]^2, \tag{7.2}$$

где T – осадка судна, м;

H – глубина канала, м;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

$v_{зад}$ – скорости движения судна при заданном режиме работы движителей на глубокой воде, м/с.

Выражение (7.2) можно использовать для расчета скорости движения судна по мелководному участку пути, принимая $n_к = 0$.

1.3. Определяется величина падения скорости движения в канале $\bar{v}$ по формуле:

$$\bar{v} = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{1}{2F}\right)^2 + \frac{1}{F}} - \frac{1}{2F}}. \tag{7.3}$$

1.4. Определяется скорость движения в канале при заданном режиме работы движителя, м/с:

$$v_{кан} = v_{зад}\bar{v}. \tag{7.4}$$

Расчеты производятся для полного, среднего и малого ходов. По результатам расчета строится график зависимости $v_{кан} = f(n_в)$

для конкретного канала и загрузки судна. Габариты канала задаются преподавателем.

Лабораторная работа №8

«Определение параметров экстренного торможения судна на глубокой воде»

Процесс экстренного торможения состоит из 2-х периодов:

первый – от подачи команды до начала работы движителей на задний ход;

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

Путь, проходимый судном за первый период торможения можно определить по выражению:

$$S_1 = \frac{\ln(1 + Cv_0 t_1)}{C}, \qquad (8.1)$$

где

$$C = \frac{R_0 - P_{\text{в}}^{\text{зх}}}{(m + \lambda_{11})v_0^2}, \qquad (8.2)$$

R_0 – сопротивление движению корпуса судна при скорости v_0, кН;

m – масса судна, т

$$m = \rho LBT\delta, \qquad (8.3)$$

λ_{11} – присоединенная масса судна при прямолинейном движении;

v_0 – скорость судна перед началом маневра, м/с.

Упор винтов $P_{\text{в}}^{\text{зх}}$ определяется по выражению, кН:

$$P_{\text{в}}^{\text{зх}} = 9{,}74\frac{k_{\text{р}} N_{\text{р}}}{k_{\text{м}} n_0 D_{\text{в}}}, \qquad (8.4)$$

где $k_{\text{р}}$, $k_{\text{м}}$ – соответственно коэффициент упора и коэффициент момента в зависимости от шагового отношения $H_{\text{в}} / D_{\text{в}}$ (определяются по рис. Приложения 2);

$N_{\text{р}}$ – мощность, подводимая к винтам, $N_{\text{р}} = 0{,}95N_e$ (N_e – общая мощность СЭУ), кВт;

n_0 – номинальная частота вращения движителей, об/мин.

В расчетах можно принять:

$\lambda_{11} = 0{,}05m$ – для судов в грузу;

$\lambda_{11} = 0{,}03m$ – для судов в балласте.

$t_1 = 20$ с.

Скорость судна в конце первого периода торможения v_1 можно определить по формуле

$$v_1 = \frac{v_0}{1 + Cv_0 t_1}. \quad (8.5)$$

Путь, проходимый судном во втором периоде торможения,

$$S_2 = \frac{v_1 \ln\left(1 + a^2\right)}{2ab}, \quad (8.6)$$

где

$$a = \frac{v_1}{v_0}\sqrt{\frac{R_0}{P_{\text{в}}^{\text{зх}}}}; \quad (8.7)$$

$$b = \frac{\sqrt{\left|R_0 P_{\text{в}}^{\text{зх}}\right|}}{\left(m + \lambda_{11}\right)v_0}, \text{ 1/с}; \quad (8.8)$$

Общий путь торможения $S_{\text{т}} = S_1 + S_2$.

Время торможения определяется по выражению:

$$t_{\text{т}} = \frac{S_{\text{т}}}{0{,}525v_0}. \quad (8.9)$$

Поскольку на величину параметров торможения оказывает влияние начальная скорость судна перед маневром, то ее можно учитывать введением поправок:

$$S_{\text{т}_v} = k_{\text{т}_s} S_{\text{т}}; \quad (8.10)$$

$$t_{\text{т}_v} = k_{\text{т}_\text{т}} t_{\text{т}}, \quad (8.11)$$

где

$$k_{\text{т}_s} = \left(\frac{v}{v_0}\right)^{1{,}7}; \quad (8.12)$$

$$k_{T_T} = \left(\frac{v}{v_0}\right)^{0,7}. \quad (8.13)$$

Для морских судов Российским Регистром установлен норматив:

$$S_T \le 6L, \quad (8.14)$$

для судов внутреннего плавания:

$$S_T \le 30,7\sqrt[3]{LBT\delta} + 1,28L. \quad (8.15)$$

Результаты расчетов представить в виде таблицы или графической форме $S_T = f(v)$, $S_T = f(t)$ для полного, среднего и малого хода.

Лабораторная работа № 9

«Расчет инерционных характеристик судна в канале»

Расчет пути и времени разгона, выбега и активного торможения выполняется в следующей последовательности.

1. Определяются вспомогательные величины k_1, и $P_{шв} = P_{зх}$. Их расчетные выражения приведены в лаб. работах №2 и 3, а так же коэффициенты

$$A = \frac{c_{10}}{2B\delta(1+k_1)\cdot\bar{v}^2}; \qquad B = \frac{P_{зх}}{m(1+k_1)}, \quad (9.1)$$

где k_1 – коэффициент присоединенных масс;

$P_{зх}$ – упор движителей при работе на задний ход, кН;

B – ширина судна, м;

δ – коэффициент полноты водоизмещения судна;

m – масса судна, т;

$\bar{v}$ – величина падения скорости движения в канале (см. л. р.№7);

c_{10} – коэффициент сопротивления жидкости движению корпуса судна на прямом курсе, определяемый по выражению:

$$c_{10} = \frac{2 \cdot R_\infty}{\rho L T v_\infty^2}, \tag{9.2}$$

где R_∞ – сопротивление воды движению корпуса судна, на глубокой воде при скорости v_∞, кН;

2. Определяются параметры разгона судна по выражениям:

$$S_\text{р} = \frac{1{,}165}{A};$$
$$t_\text{р} = \frac{1{,}470}{A v_\text{кан}}, \tag{9.3}$$

где $S_\text{р}$, $t_\text{р}$ – путь и время разгона судна в канале до установившейся скорости при соответствующем режиме работы движителей, м/с;

$v_\text{кан}$ – скорость движения судна в канале (см. л/р №7), м/с.

Текущие значения скорости и пути можно определить по формулам:

$$v_\text{р} = v_\text{кан} \cdot \frac{e^{2Av_\text{кан}t_\text{р}} - 1}{1 + e^{2Av_\text{кан}t_\text{р}}};$$
$$S_\text{р} = \frac{1}{2A}\left[\ln \frac{\left(1 + e^{2Av_\text{кан}t_\text{р}}\right)^2}{e^{2Av_\text{кан}t_\text{р}}} - 1{,}386\right]. \tag{9.4}$$

Здесь e – основание натурального логарифма.

3. Определяется путь и время выбега:

$$S_\text{в} = \frac{2{,}3}{A};$$
$$t_\text{в} = \frac{9{,}0}{A v_\infty}. \tag{9.5}$$

Текущие значения скорости и пути при выбеге можно определить по формулам:

$$v_{\text{в}} = \frac{v_{\text{кан}}}{1 + A v_{\text{кан}} t};$$
$$S_{\text{в}} = \frac{1}{A} \ln \left| 1 + A v_{\text{кан}} t \right|. \qquad (9.6)$$

Здесь t – текущее (заданное) время, с.

4. Определяются путь и время активного торможения:

$$S_{\text{т}} = S_{\text{п}} + S_{\text{а}};$$
$$t_{\text{т}} = t_{\text{п}} + t_{\text{а}}. \qquad (9.7)$$

где $t_{\text{п}}$ – продолжительность первого периода торможения (время, необходимое для реверса движителей), с;

$S_{\text{п}}$ – путь проходимый судном за время $t_{\text{п}}$, определяемый по формуле (9.6).

Время активного торможения $t_{\text{а}}$ и путь проходимый судном за это время $S_{\text{а}}$ определяется по выражениям:

$$t_{\text{а}} = \frac{1}{\sqrt{AB}} arctg \frac{v_{\text{п}}}{\sqrt{B/A}};$$
$$S_a = \frac{1}{2A} \ln \left| 1 + \left(\frac{v_{\text{п}}}{\sqrt{B/A}} \right)^2 \right|, \qquad (9.8)$$

где $v_{\text{п}}$ – скорость движения в начале второго периода торможения, определяемая по формуле (9.6).

Текущие значения скорости и пути, проходимом судном во второй период торможения можно определить по выражениям:

$$v = \sqrt{\frac{B}{A}} tg \left(arctg \frac{v_{\text{п}}}{\sqrt{B/A}} - \sqrt{AB}\, t \right); \qquad (9.9)$$

$$S_{\text{а}} = \frac{1}{A} \ln \frac{\cos\left(arctg \dfrac{v_{\text{п}}}{\sqrt{B/A}} - \sqrt{AB}\, t \right)}{\cos\left(arctg \dfrac{v_{\text{п}}}{\sqrt{B/A}} \right)}. \qquad (9.10)$$

Результаты расчетов представляются в виде таблиц или в графической форме $S_{\text{р}} = f(t)$; $S_{\text{в}} = f(t)$; $S_{\text{т}} = f(t)$ для заданных условий и режима работы движителей. Текущие значения скорости и пути рассчитываются с интервалом времени 30 сек.

Лабораторная работа №10

«Крепление груза при подготовке к плаванию в штормовых условиях»

Цель: Приобретение опыта расчета крепления палубного груза с учетом штормовых условий плавания в море.

Задачи: При выполнении лабораторной работы по данной теме производятся расчеты следующих разделов:

1. Определение сил, действующих на груз при бортовой и вертикальной качке.

2. Определение сил, действующих на груз при килевой и вертикальной качке.

3. Крепление груза:

3.1. Расчет усилий, возникающих в найтовах при бортовой качке;

3.2. Расчет усилий, возникающих в найтовах при килевой качке;

3.3. Расчет крепления грузов.

Условия расчета: На крышки грузовых трюмов судна смешанного плавания (СП) загружен контейнер (груз-тяжеловес), который крепиться найтовыми.

Схема размещения груза приведена на рис.10.1

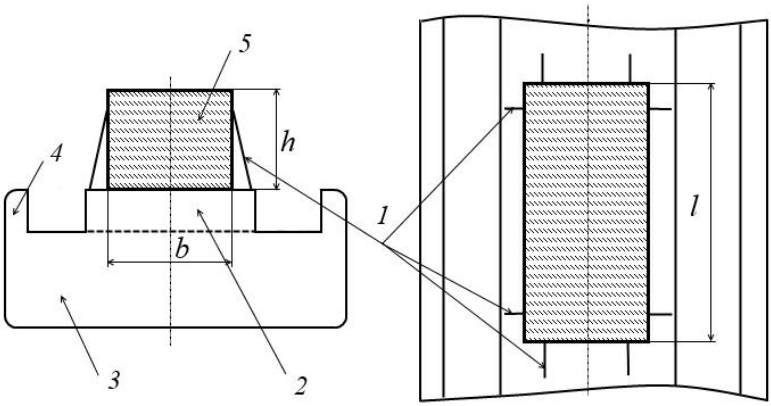


Рис.11.1. Схема размещения груза
1 – найтовы; 2 – крышка грузового трюма; 3 – корпус судна;
4 – фальшборт; 5 – контейнер

1. Определение сил, действующих на груз при бортовой и вертикальной качке

Схема сил, действующих на груз при бортовой и вертикальной качке представлена на рис. 10.2.

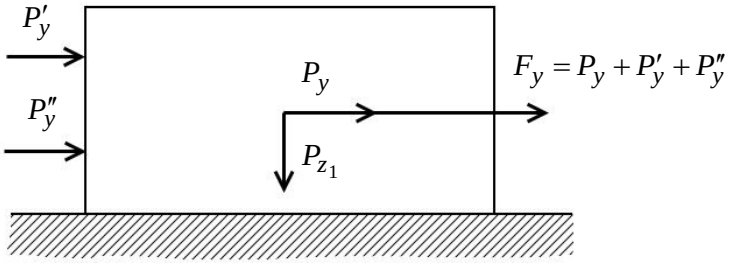


Рис.11.2. Схема действующих на груз сил при бортовой и вертикальной качке

где F_y – максимальная суммарная сила, действующая на груз в поперечном направлении, кН;

P_y – максимальная поперечная составляющая сил инерции и тяжести, кН;

P'_y – поперечная составляющая динамического давления ветра, кН;

P''_y – поперечная составляющая гидродинамических ударов волн, кН;

P_{z_1} – суммарная составляющая сил инерции и тяжести, действующая по оси Oz при бортовой качке, кН.

При бортовой качке на груз действуют силы инерции и тяжести, максимальную суммарную поперечную составляющую которых по оси Oy можно определить по выражению

$$P_y = m\left[g \sin \Theta_{\max} + \left(\frac{2\pi}{T_\Theta} \right)^2 \left(\Theta_{\max} z + r_0 \sin \Theta_{\max} \right) \right], \qquad (10.1)$$

где x, y, z – координаты ЦМ (центра масс) груза, относительно ЦМ судна, м;

r_0 – радиус перемещения орбиты ЦМ судна при вертикальной качке, м.

Определяется как: $r_0 = \frac{h_в}{2}$;

$h_в$ – высота волны, м;

m – масса груза, т;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$\Theta_{\max}$ – угол крена, рад и град.;

T_Θ – период собственных поперечных колебаний судна (период бортовой качки), с.

Это усилие смещает груз и создает опрокидывающий момент.

Принимая $\Theta_{\max} = 30^0$ и округляя значение вводных данных до десятых долей, получим расчетное выражение:

$$P_y = 0{,}5m\left[9{,}8 + \frac{39{,}5(z + r_0)}{T_\Theta^2} \right]. \qquad (10.2)$$

1.2. Суммарная составляющая сил инерции и силы тяжести, действующая по оси Oz, определяется по выражению

$$P_{z_1} = m\left[g\cos\Theta_{\max} - \left(\frac{2\pi}{T_\Theta}\right)^2 \left(\Theta_{\max} y + r_0 \cos\Theta_{\max}\right)\right]. \qquad (10.3)$$

Это усилие нагружает палубу и обеспечивает устойчивость груза.

Действуя таким же образом, как и в формуле (10.2) при $\Theta_{\max} = 30^0$, получим расчетное выражение:

$$P_{z_1} = m\left[8{,}5 - \frac{39{,}5\left(0{,}5y + 0{,}9r_0\right)}{T_\Theta^2}\right]. \qquad (10.4)$$

1.3. Динамическое давление ветра на палубный груз можно определить по формуле

$$P'_y = 2S_y \cos^2\Theta_{\max}, \qquad (10.5)$$

где S_y – площадь парусности боковой поверхности груза, м^2.

$$S_y = lh,$$

где l – длина груза, м;

h – высота груза, м.

При $\Theta_{\max} = 30^0$ получим расчетное выражение

$$P'_y = 1{,}5S_y. \qquad (10.6)$$

1.4. Усилие, вызванное гидродинамическими ударами воды при заливании груза, можно определить по формуле

$$P''_y = pS'_y, \qquad (10.7)$$

где S'_y – площадь заливания боковой поверхности груза, м^2.

$$S'_y = al,$$

где a – высота заливания груза, м;

p – гидродинамическое давление воды, кН/м^2 (снимается с графика рис. 10.3 в зависимости от высоты заливания груза).

1.5. Сила, воздействующая на груз в поперечном направлении

$$F_y = P_y + P'_y + P''_y, \qquad (10.8)$$

где F_y – максимальная суммарная сила, действующая на груз в поперечном направлении, кН.

Примечание. Уменьшение силы P_{z_1} за счет сил плавучести палубного груза здесь не учитывается так же, как и не учитывается ее увеличение за счет натяжения найтовых.

При определении площади поверхности груза, подверженного воздействию ветра, следует учитывать наличие несплошных поверхностей, а для цилиндрических поверхностей, расположенных перпендикулярно направлению ветра, необходимо вводить коэффициент обтекания, равный 0,6.

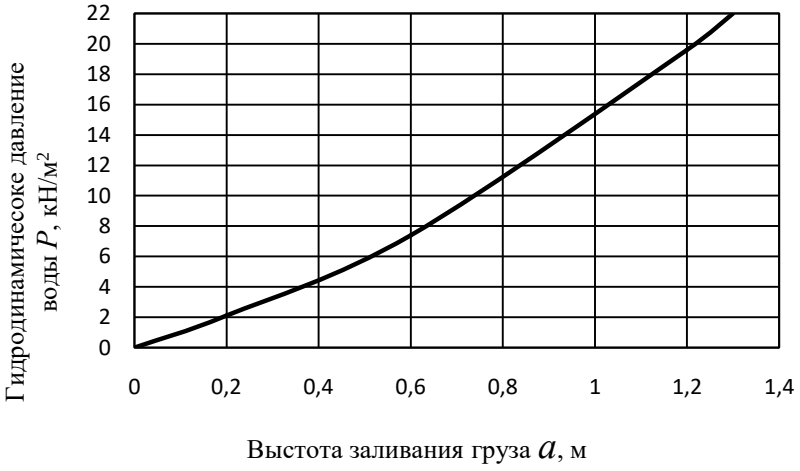


Рис. 10.3. График зависимости гидродинамического давления воды от высоты заливания груза

Например: $a = 0{,}6$ м; $p = 7{,}4$ кН/м; $a = 1{,}2$ м; $p = 19{,}6$ кН/м

2. Определение сил, действующих на груз при килевой и вертикальной качке

Схема сил, действующих на груз при килевой и вертикальной качке показана на рис.10.4.

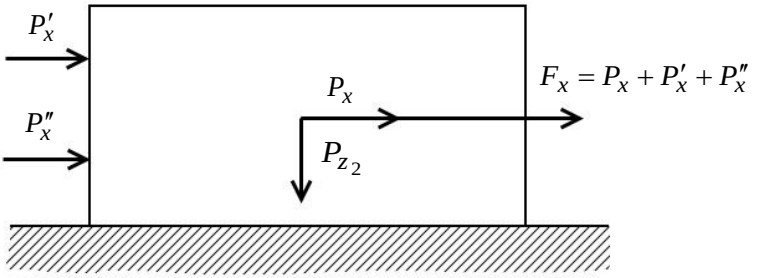


Рис. 10.4. Схема действующих на груз при килевой и вертикальной качке

где P_x – максимальная продольная составляющая сил тяжести и инерции, кН;

P_{z_2} – суммарная составляющая сил инерции и тяжести, действующая по оси Oz при килевой качке, кН;

P'_x – продольная составляющая динамического давления ветра, кН;

P''_x – продольная составляющая гидродинамических ударов волн, кН;

F_x – максимальная суммарная сила, действующая на груз в продольном направлении, кН.

2.1. Максимальную суммарную составляющую сил инерции и тяжести можно определить по выражению

$$P_x = m\left[g\sin\Psi_{\max} + \left(\frac{2\pi}{T_\Psi}\right)^2\left(\Psi_{\max} z + r_0 \sin\Psi_{\max}\right)\right], \qquad (10.9)$$

где Ψ_{max} – угол дифферента, рад и град.;

T_Ψ – период собственных продольных колебаний судна (период килевой качки), с.

Принимая, $\Psi_{max} = 5^0$ получим расчетное уравнение:

$$P_x = 0{,}087m\left[9{,}81 + \frac{39{,}48(z + r_0)}{T_\Psi^2}\right]. \quad (10.10)$$

2.2. Суммарная составляющая сил инерции и силы тяжести, действующая по оси Oz, определяется по выражению

$$P_{z_2} = m\left[g\cos\Psi_{max} - \left(\frac{2\pi}{T_\Psi}\right)^2(\Psi_{max}X + r_0\Psi_{max})\right]. \quad (10.11)$$

Исходя из принятого $\Psi_{max} = 5^0$, расчетное уравнение примет вид:

$$P_{z_2} = m\left[9{,}81 - \frac{39{,}48(0{,}087X + r_0)}{T_\Psi^2}\right]. \quad (10.12)$$

2.3. Динамическое давление ветра на палубный груз можно определить по формуле

$$P'_x = 2S_x, \quad (10.13)$$

где S_x – площадь парусности лобовой поверхности груза, м^2.

$$S_x = bh,$$

где b – ширина груза, м;

h – высота груза, м.

2.4. Усилие, вызванное гидродинамическими ударами воды при заливании груза, определяется по формуле

$$P''_x = pS'_x, \quad (10.14)$$

где S'_x – площадь заливания лобовой поверхности груза, м^2.

$$S'_x = ba,$$

где a – высота заливания палубного груза, м.

2.5. Сила, действующая на груз в продольном направлении

$$F_x = P_x + P'_x + P''_x , \qquad (10.15)$$

где F_x – максимальная суммарная сила, действующая на груз в продольном направлении, кН.

3. Крепление грузов

3.1. Расчет усилий, возникающих в найтовах при бортовой качке

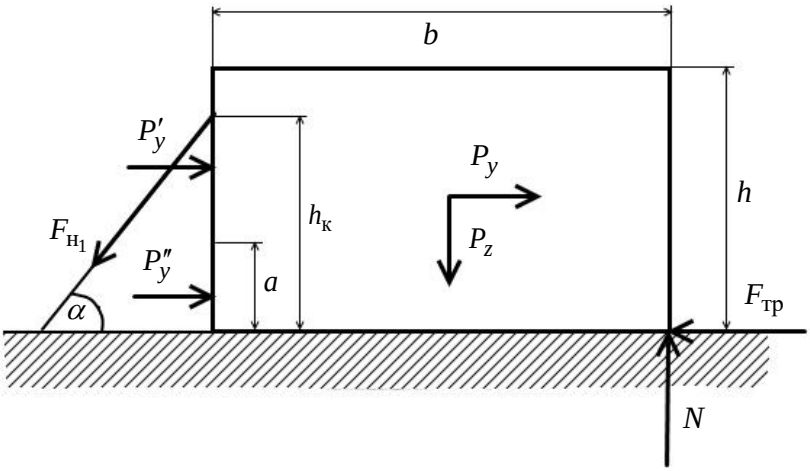


Рис. 10.5. Схема опрокидывающих моментов

Произведем расчет усилия, возникающего в найтовах под действием опрокидывающих моментов, при этом составим уравнение моментов (см. рис.10.5):

$$F_{н_1} \cos\alpha \, h_к + F_{н_1} \sin\alpha \, b + P_z \frac{b}{2} - P_y \frac{h}{2} - P'_y \frac{h}{2} - P''_y \frac{a}{2} = 0 .$$

$$F_{н_1} = \frac{P_y \frac{h}{2} + P'_y \frac{h}{2} + P''_y \frac{a}{2} - P_z \frac{b}{2}}{b \sin\alpha + h_к \cos\alpha} = 0, \qquad (10.16)$$

где $F_{н_1}$ – усилие в поперечных найтовах, возникающее от действия опрокидывающих моментов, кН;

α – угол между поперечными найтовами и палубой, град.;

b – ширина груза, м;

h – высота груза, м;

$h_к$ – расстояние от палубы до точки крепления найтова, м;

a – высота заливания груза, м.

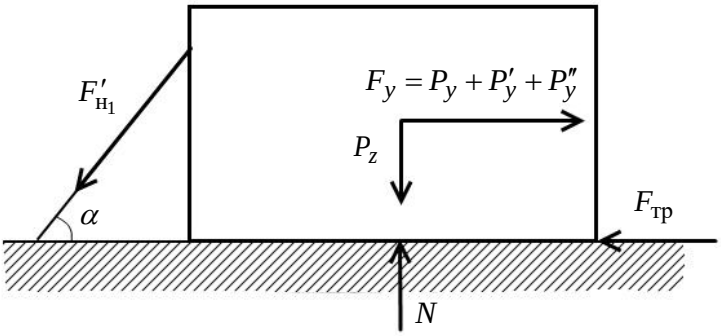


Рис.6. Схема сдвигающих сил

Расчет усилия, возникающего от смещения груза, определяется из очевидного уравнения:

$$F_y - F'_{н_1} \cos\alpha - F_{тр} = 0. \qquad (10.17)$$

При этом:

$$F_y = P_y + P'_y + P''_y;$$

$$F_{тр} = fN,$$

где f – коэффициент трения, ед.;

N – сила реакции опоры, кН.

При расчете усилия $F'_{н_1}$ в поперечных найтовах, возникающее от сил смещения груза, силу трения не учитываем, так как груз установлен на верхней палубе, а коэффициент трения f принимается равным нулю, кН.

Тогдаиз уравнения (10.17) получаем выражение

$$F'_{н_1} = \frac{F_y}{\cos\alpha} = \frac{P_y + P'_y + P''_y}{\cos\alpha}, \quad (10.18)$$

3.2. Расчет усилий, возникающих в найтовах при килевой качке

При килевой качке опрокидывание тяжеловесу не угрожает, поэтому он остается в равновесии, если:

$$\left.\begin{aligned} F_x - F'_{н_2}\cos\beta - F_{тр} = 0; \\ P_x + F'_{н_2}\sin\beta - N = 0. \end{aligned}\right\} \quad (10.19)$$

с учетом того, что $f = 0$ и $\alpha = \beta$.

Здесь β – угол между продольными найтовами и палубой, град., получим расчетное значение

$$F'_{н_2} = \frac{F_x}{\cos\beta} = \frac{P_x + P'_x + P''_x}{\cos\beta}, \quad (10.20)$$

где $F'_{н_2}$ – усилие в продольных найтовах, возникающее от действия сил, смещающих груз, кН.

3.3. Расчет крепления грузов

3.3.1. Расчет разрывного усилия и количества поперечных найтовых.

При расчете разрывного усилия в найтовых следует принимать коэффициент запаса k не менее 3 при креплении груза на открытой палубе, так как рабочая нагрузка должна составлять 1/3 разрывного усилия в тросе. При этом:

$$F_{разр_1} = kF_{раб_1}, \quad (10.21)$$

где $F_{разр_1}$ – разрывная нагрузка на поперечные найтовы, кН;

$F_{\text{раб}_1}$ – рабочая нагрузка на поперечные найтовы, равная $F'_{\text{н}_1}$ или $F_{\text{н}}$, кН.

Тяжеловес с одного борта может быть закреплен одним из следующих вариантов:

1. Двумя найтовыми с разрывной нагрузкой около $\frac{F_{\text{разр}\,1}}{n}$;

2. Тремя найтовыми с разрывной нагрузкой около $\frac{F_{\text{разр}\,1}}{n}$;

3. Четырьмя найтовыми с разрывной нагрузкой около $\frac{F_{\text{разр}\,1}}{n}$,

где n – количество поперечных найтовых одного борта.

В зависимости от выбранного варианта и в соответствии с разрывной нагрузкой по ГОСТ (см. Приложение 3) выбираем диаметр стального троса. При этом учитываем, что для крепления тяжеловесов применяются тросы диаметром 18-27 мм.

3.3.2. Расчет разрывного усилия, диаметра и количества продольных найтовых.

$$F_{\text{разр}_2} = kF_{\text{раб}_2}, \qquad (10.22)$$

где $F_{\text{раб}_2}$ – рабочая нагрузка на продольные найтовы, равная $F'_{\text{н}_2}$, кН;

$F_{\text{разр}_2}$ – разрывная нагрузка на продольные найтовы, кН.

Выбираем вариант с разрывной нагрузкой:

$$\frac{F_{\text{разр}\,2}}{m},$$

где m – количество продольных найтовых одного борта.

Затем в зависимости от разрывного усилия, по ГОСТ 7665-80 (см. Приложение 3) выбираем диаметр троса.

По результатам расчета делается вывод со схемой о закреплении палубного груза на судне для безопасного плавания в море при штормовой погоде.

Лабораторная работа №11

«Плавание в штормовых условиях»

Цель: Дать студентам навыки работы с универсальной штормовой диаграммой по выбору безопасных условий плавания судна в шторм.

Задача: При выполнении данной работы производятся расчеты последующим разделам:

1. Использование диаграмм качки для выбора безопасного сочетания курса и скорости судна в шторм.
2. Расчет условий отсутствия слеминга.

1. Построение диаграммы качки и выбор безопасного сочетания курса и скорости судна в шторм

Диаграмма качки (см. Приложение 4) предназначена для выбора курса и скорости судна с целью уклонения от резонансных условий качки. Диаграмма является графическим изображением зависимости

$$\tau_к = \frac{\lambda}{1{,}25\sqrt{\lambda} + 0{,}51 v_0 \cos q}, \qquad (11.1)$$

где $\tau_к$ – кажущийся период волны, с;

λ – длина волны, м;

v_0 – скорость судна, уз.;

q – курсовой угол бега волны, град.

Диаграмма может быть использована для судов любых форм и размеров, и для любых видов волн.

Входными параметрами являются: период собственных колебаний судна (бортовых и продольных); длина волны; курсовой угол волны и скорость судна.

Диаграмма состоит из двух частей. Нижняя часть представляет семейство концентрических полуокружностей, соответствующих скорости судна в узлах и пучка лучей из центра. Каждый луч определяет курсовой угол волны в градусах. В верхней части диаграммы горизонтальные линии соответствуют длине волны, в метрах, а

кривые периоду кажущейся волны в секундах. Пунктирная кривая, соответствующая периоду кажущейся волны равному бесконечности, означает, что судно идет «оседлав» волну, т.е. на попутном волнении идет со скоростью волны. Кривые расположенные выше этой пунктирной линии, соответствуют случаям, когда скорость попутного волнения больше скорости судна. Кривые расположенные ниже бесконечности соответствуют случаю, когда судно нагоняет волну.

Над верхней частью диаграммы находится тройная шкала для определения периодов кажущейся волны на границах резонансной зоны по периоду собственных колебаний судна.

При нерегулярном волнении, когда длину волны определить затруднительно, границы резонансной зоны определяют с помощью периода собственных колебаний и шкалы степени волнения в баллах (расположенной справа) или по высоте волны, шкалы A и B (слева от диаграммы).

Выбор безопасных сочетаний курса и скорости произвести для заданных значений λ и загрузки судна (малой метацентрической высоты и средней осадки судна).

Период собственных колебаний судна рассчитывают по формулам:

для бортовой качки

$$T_1 = \frac{\delta B}{\sqrt{h}}; \qquad (11.2)$$

для килевой качки

$$T_2 = 2{,}68\sqrt{T_{\text{ср}}}\,, \qquad (11.3)$$

где B – ширина судна, м;

$T_{\text{ср}}$ – средняя осадка, м;

h – малая метацентрическая высота, м;

δ – коэффициент полноты водоизмещения корпуса судна.

Далее рассчитывают границы резонансных значений кажущегося периода волны $\tau_1 = 0{,}8T$, $\tau_2 = 1{,}4T$ и находят на оси ординат диаграммы качки точки, соответствующие их величинам. Через эти

точки проводят линии, параллельные оси абсцисс до пересечения с кривой заданной длины волны. От точек пересечения проводят линии, параллельные оси ординат. На нижней части диаграммы зона, лежащая между указанными линиями, является зоной усиленной качки. Сочетание курсового угла и скорости судна, располагающегося вне данной зоны, соответствует умеренной качке.

В заключении необходимо сделать вывод о наиболее безопасных сочетаниях курса и скорости судна в заданных условиях.

Вариант работы с диаграммой Ремеза рассмотрим на примере:

– судно следует скоростью 10 узлов, курсовой угол волны 70^0 л/б, длина волны 100 метров, период бортовой качки 9 секунд.

Определить положение судна относительно резонансной зоны (условия в которых находится судно) и выбрать безопасный курс и скорость.

На верхней части диаграммы находим точку пересечения горизонтальной прямой соответствующей длине волны λ =100 метров с кривой периода собственных колебаний судна $T_1 = 9$ сек. Из полученной точки опускаем вертикальную линию на нижнюю часть диаграммы. Это линия чистого резонанса.

По вспомогательной шкале над диаграммой определяем значение периодов кажущейся волны на границах резонансной зоны. Отыскав на средней линейке значение равное $T_1 =$ 9 сек. с верхней и нижней линеек снимаем $\tau_1 = 7$ сек. и $\tau_2 = 13$ сек.

На верхней части диаграммы находим точки пересечения горизонтальной прямой $\lambda = 100$ метров с кривыми $\tau_1 = 7$ сек. и $\tau_2 = 13$ сек. Через эти точки проводим вертикальные прямые на нижнюю часть диаграммы. Они определяют границы резонансной зоны.

По скорости судна V =10 узлов и курсовому углу q =70^0 левого борта находим положение судна относительно резонансной зоны (точку на нижней части диаграммы).

В нашем случае вектор скорости судна находится внутри резонансной зоны близко к ее границе.

Из анализа построений делаем вывод о том, что судно, находясь в резонансной зоне испытывает сильнейшую бортовую качку, отрицательно воздействующую на судно, груз и людей.

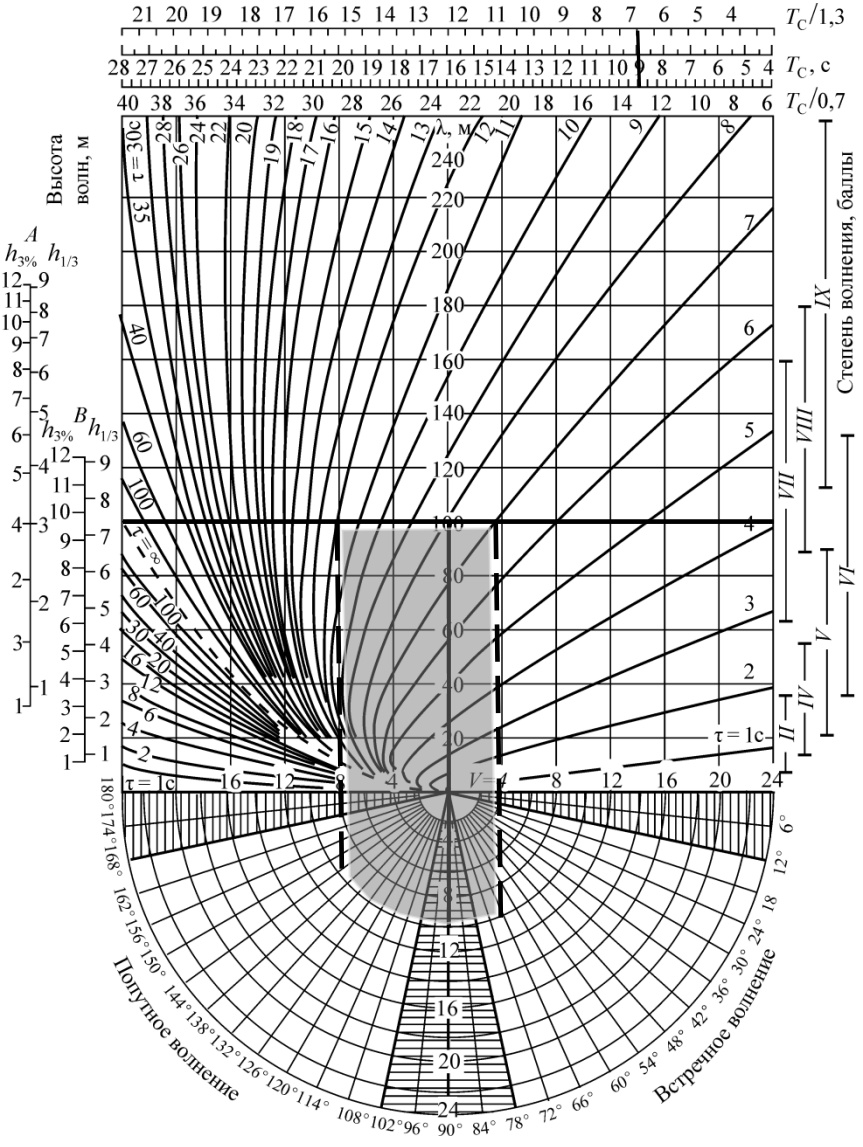


Рис.11.1 Универсальная штормовая диаграмма Ю.В. Ремеза

Для вывода судна из опасного положения, необходимо изменить курс или скорость, или сделать это комплексно, одновременно меняя курс и скорость так, чтобы на диаграмме точка положения вектора скорости судна заняла место вне резонансной зоны. При этом надо учитывать, что, находясь вблизи границы резонансной зоны даже с ее внешней стороны, условия для плавания остаются сложными. Поэтому точку нового положения вектора скорости судна на диаграмме необходимо выбирать, по возможности, дальше от границы резонансной зоны.

В нашем случае для выхода из резонансной зоны можно увеличить скорость до 13–14 узлов, или отвернуть влево, изменив курсовой угол волны до 60^0, или увеличить скорость до 12 узлов и отвернуть в лево, на курсовой угол волны 66^0.

При нерегулярном волнении, когда известна степень волнения в баллах, на верхней части диаграммы находим точки пересечения кривой периода собственных колебаний судна с горизонтальными прямыми, проведенными из концов отрезка, соответствующей бальность.

Если известна только высота волны, то находим точки пересечения кривой периода собственных колебаний судна с горизонтальными прямыми проведенными через точки соответствующим высоте волны на шкалах *A* и *B*. В остальном действия аналогичны предыдущим.

2. Расчет условий отсутствия слеминга

Слеминг (гидродинамические удары волн в днище носовой части судна) может привести к повреждению обшивки корпуса и судового набора.

Условия отсутствия слеминга можно определить по выражению

$$\frac{L}{T_{\text{н}}} \le A\frac{\lambda_{\max}}{h_{\text{в}_{\max}}}, \qquad (11.4)$$

где L – длина судна, м;

$T_{\text{н}}$ – осадка носовой части судна, м;

A – коэффициент, зависящий от числа Фруда (см.рис.11.2);

$\lambda_{\max}$ – длина наиболее крупных волн, м;

$h_{в_{max}}$ – высота наиболее крупных волн, м.

Число Фруда Fr рассчитывается по формуле

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{9{,}81L}}, \qquad (11.5)$$

где v – скорость судна, м/с.

Расчеты выполнить в следующем порядке:

1. Произвести расчет для выбора предельно допустимой скорости движения судна v при длине волны λ, высоте волны $h_в$ и осадке $T_н$.

При условии отсутствия слеминга коэффициент A, зависящий от Fr и L/B, должен быть:

$$A \geq \frac{Lh_{в_{max}}}{T_н \lambda_{max}}. \qquad (11.6)$$

Пример. Судно следует навстречу волне. Рассчитать скорость, при которой слеминг будет отсутствовать.

Исходные данные: L =139,4 м; B =17,7 м; $T_н$ =7,8 м; λ_{max} =120 м; $h_{в_{max}}$ = 5 м.

$$A \geq \frac{139{,}4 \cdot 5}{7{,}8 \cdot 120} = 0{,}74,$$

принимаем A =0,8.

По A =0,8 и L/B =8 по графику рис.11.1 находим максимально допустимое значение Fr. В нашем случае Fr =0,14.

Максимально допустимая скорость судна определяется по выражению:

$$v = Fr\sqrt{9{,}81L}. \qquad (11.7)$$

$$v = 0{,}14\sqrt{9{,}81 \cdot 139{,}4} = 5{,}2 \text{ м/с} = 10 \text{ уз}.$$

2. Определить осадку носовой части $T_н$, при которой не будет слеминга.

По результатам расчета сделать выводы о выборе оптимальной скорости судна и осадки его носовой оконечности.

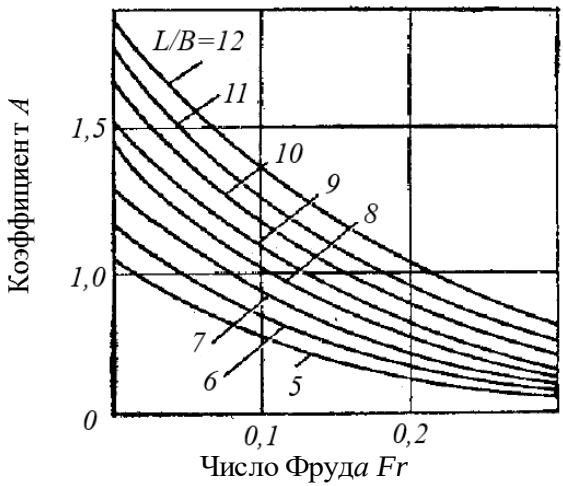


Рис.11.2. Значение коэффициента A

Лабораторная работа №12

«Буксировка судов морем»

Цель: Освоить методику расчета скорости буксировки и подбора длины буксирной линии при буксировке судна морем.

Задача: При выполнении данной лабораторной работы выполняются следующие расчеты:

1. Расчет тяги на гаке и скорости буксировки.
2. Определение элементов буксирной линии.
3.Проверка буксирной линии на допустимое удлинение.
4. Составление комбинированной буксирной линии.

Условия: Осуществляется буксировка однотипных судов.

1. Расчет тяги на гаке и скорости буксировки

Определяют упор винта буксирующего судна на швартовых $T_{ш}$ по формуле, кН:

$$T_{\text{ш}} = 0{,}15N_i\,, \qquad (12.1)$$

где N_i – мощность двигателей, кВт.

Рассчитывают полное сопротивление буксировщика R_1 и буксируемого судна R для полного хода как сумму сопротивлений:

$$R_1 = R_f + R_r + R_{\text{возд}} + R_{\text{волн}};$$

$$R = R_f + R_r + R_{\text{возд}} + R_{\text{волн}} + R_{\text{винт}},$$

где R_f – сопротивление трения, кН;

R_r – остаточное сопротивление, кН;

$R_{\text{винт}}$ – сопротивление застопоренного винта, кН;

$R_{\text{возд}}$ – воздушное сопротивление, кН;

$R_{\text{волн}}$ – дополнительное сопротивление от волнения моря, кН.

$$R_f = f\rho\Omega v^{1{,}83}; \qquad (12.2)$$

$$R_r = 0{,}09\frac{\delta D v^4}{L^2}; \qquad (12.3)$$

$$R_{\text{винт}} = 0{,}5\Theta d^2 v^2; \qquad (12.4)$$

$$R_{\text{возд}} = c\frac{\rho_a}{2} S_{\otimes}\left(v_{\text{в}} \pm v\right)^2; \qquad (12.5)$$

$$R_{\text{волн}} = k\frac{\rho}{2}\Omega v^2. \qquad (12.6)$$

Здесь приняты следующие обозначения:

v – скорость судна, м/с;

$v_{\text{в}}$ – скорость ветра, м/с;

D – масса судна, т;

δ – коэффициент полноты водоизмещения, ед.;

Ω – площадь смоченной поверхности судна, м^2;

$$\Omega = 1{,}05L\left(1{,}7T + \delta B\right)$$

$S_{\otimes}$ – проекция надводной поверхности судна на плоскость мидель-шпангоута;

L – длина судна, м;

f – коэффициент трения (при L =100-110 м, f =0,00142; при L = 120-150 м, f =0,00141)

ρ – плотность воды, т/м^3 (для морской воды ρ=1,024 т/м^3);

ρ_a – плотность воздуха, т/м^3 ($\rho_a = 0{,}122 \times 10^{-2}$ т/м^3);

Θ – дисковое отношение винта, ед.;

d – диаметр винта, м;

c – коэффициент обтекания, изменяющийся в пределах 0,8…1,0 при изменении курсового угла от 0^0 до 30^0, ед.;

k – коэффициент дополнительного сопротивления от волнения моря ($k = 0{,}0001Б$, $Б$ – балл состояния моря), ед.

Далее рассчитывают сопротивление буксирующего и буксируемого судна для трех режимов работы движителей при буксировке (полный, средний и малый ход), используя следующую зависимость:

$$R = R_0\left(\frac{v}{v_0}\right)^2, \qquad (12.7)$$

где R – сопротивление при скорости v;

R_0 – сопротивление при скорости v_0.

Результаты расчетов представляются в виде табл. 12.1.

Таблица 12.1

Сопротивление при различных режимах работы движителей

Скорость	Сопротивление R, кН		
	Буксирующего судна	Буксируемого судна	Суммарное
$v_{\text{ппх}}$			
$v_{\text{спх}} = 0{,}75v_{\text{ппх}}$			
$v_{\text{мпх}} = 0{,}5v_{\text{ппх}}$			

По данным таблицы строят графики сопротивлений в зависимости от скорости. Отдельно строят кривые буксирующего судна, буксируемого судна и суммарного сопротивления.

На графике соединяют точку на оси ординат, соответствующую упору на швартовых $T_{ш}$ буксирующего судна с точкой, соответствующей сопротивлению судна при скорости полного хода на тихой воде, где $R_1' = R_f + R_r$. От точки пересечения полученной прямой с кривой суммарного сопротивления опускают перпендикуляр на ось абсцисс и снимают скорость буксировки $v_б$. Ордината точки пересечения перпендикуляра с кривой сопротивления буксируемого судна дает тягу на гаке $T_г$.

2. Определение элементов буксирной линии

Суда снабжены буксирным тросом согласно требованиям Регистра.

Буксирный трос выбирают по характеристике снабжения N_c, которую определяют по формуле

$$N_c = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0{,}1A, \qquad (12.8)$$

где Δ – весовое водоизмещение судна по летнюю грузовую марку, т;

B – ширина судна, м;

h – высота от летней грузовой ватерлинии до верхней кромки настила палубы рубки, м;

A – площадь парусности судна, $м^2$.

При определении учитывают только площадь корпуса от летней грузовой ватерлинии и площадь надстроек и рубок шириной более чем $0{,}25B$.

После определения характеристики снабжения входят в таблицу прил.5. и находят разрывное усилие и длину буксирного троса.

Поскольку длина имеющегося на судне буксирного троса не более 200 метров, для осуществления буксировки следует использовать буксирный трос как буксировщика, так и буксируемого судна.

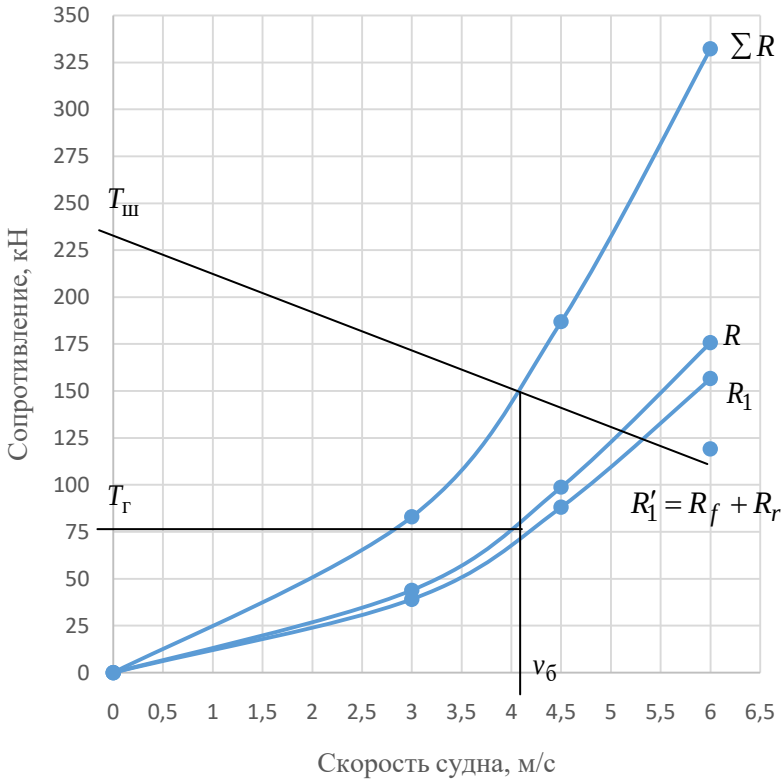


Рис.12.1 График к определению скорости буксировки и тяги на гаке

3. Проверка буксирной линии на допустимое удлинение

Рассчитанная буксирная линия должна допускать увеличение расстояния между судами на величину, превышающую высоту волны в районе буксировки:

$$h_в < \Delta l \, .$$

Указанное увеличение расстояния Δl может быть получено за счет упругих деформаций Δl_ε буксирного троса и за счет распрямления буксирной линии Δl_f (весовой игры)

$$\Delta l = \Delta l_\varepsilon + \Delta l_f \, . \qquad (12.9)$$

Удлинение буксирного троса за счет упругих деформаций определяется по формуле

$$\Delta l_{\varepsilon} = \Delta l_1'' - \Delta l_1', \qquad (12.10)$$

где $\Delta l_1'$ – начальное упругое удлинение буксирного троса, соответствующее усилию, равному $T_{\text{г}}$, м;

$\Delta l_1''$ – конечное упругое удлинение буксирного троса, соответствующее усилию, равному 0,7 разрывного, м.

Упругое удлинение троса рассчитывается по следующему выражению

$$\Delta l_1 = \frac{T l_{\text{т}}}{EF}, \qquad (12.11)$$

где T – усилие, приложенное к тросу, кН;

$l_{\text{т}}$ – длина троса (суммарная), м;

E – модуль упругости, кН/см^2 (для стального троса $E = 7500$ кН/см^2);

F – площадь поперечного сечения троса, см^2.

Увеличение расстояния между судами за счет распрямления буксирной линии определятся по выражению:

$$\Delta l_f = \Delta l_2' - \Delta l_2'', \qquad (12.12)$$

где $\Delta l_2'$ – разность расстояний между судами и длиной буксирной линии при начальном усилии $T_{\text{г}}$, м;

$\Delta l_2''$ – разность расстояний между судами и длиной буксирной линии при предельном усилии, м.

Разность расстояний между судами и длина буксирной линии рассчитывается по формуле:

$$\Delta l_2 = \frac{f_{\delta} q l_{\text{т}} g}{3T}, \qquad (12.14)$$

где f_{δ} – стрелка провиса буксирной линии при данном натяжении, м;

q – масса погонного метра буксирного троса, кг/м;

g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Масса одного погонного метра буксирного троса рассчитывается по выражению

$$q = 0{,}03c^2 . \qquad (12.15)$$

Здесь c – длина окружности троса, см.

Величина f_δ рассчитывается по формуле

$$f_\delta = \frac{g l_т^2 q}{8T} . \qquad (12.16)$$

4. Составление комбинированной буксирной линии

Если полученное удлинение буксирной линии меньше ожидаемой высоты волны в районе буксировки, необходимо добавить в буксирную линию якорную цепь буксируемого судна (длиной до 1/8 буксирной линии) и выполнить проверку на допустимое удлинение от весовой игры еще раз.

В формулах (12.14) и (12.16) массу погонного метра буксирной линии принимать из выражения

$$q = \frac{q_ц l_ц + q_т l_т}{l_ц + l_т} . \qquad (12.17)$$

В этом выражении индексами «ц» и «т» обозначены характеристики цепи и троса соответственно.

Вес погонного метра якорной цепи находится по выражению

$$q_ц = 0{,}023 d_ц^2 , \qquad (12.18)$$

где $d_ц$ – калибр якорной цепи, мм.

По результатам расчетов составляется схема буксировки и делаются выводы о скорости буксировки, длине буксирной линии.

Лабораторная работа №13

«Определение требуемых усилий для снятия судна с мели»

Для успешного снятия судна с мели должно быть выполнено условие

$$F > F_{\text{тр}}, \qquad (13.1)$$

где F –тяговое усилие, кН;

$F_{\text{тр}}$ – сила трения судна о грунт, кН.

$$F_{\text{тр}} = fP. \qquad (13.2)$$

Здесь f – коэффициент трения корпуса о грунт.

P – сила давления судна на грунт, кН.

Значения коэффициента трения корпуса о грунт представлены в табл.13.1.

Таблица 13.1

Коэффициент трения корпуса о грунт

Вид грунта	Значение коэффициента f
Глина жидкая, ил	0,18-0,22
Глина мягкая	0,23-0,30
Глина с песком	0,30-0,32
Песок	0,35-0,38
Галька	0,32-0,42
Каменистый грунт	0,30-0,42
Булыжник	0,42-0,50

Сила давления на грунт P ,кН определяется по выражению

$$P = P_1 + P_2, \qquad (13.3)$$

где P_1 – сила воздействия судна на грунт за счет потери осадки, кН.

$$P_1 = 9{,}81\Delta Tq; \qquad (13.4)$$

q – масса судна, приходящаяся на 1 см осадки, определяется по грузовой шкале, т/м;

ΔT – потеря осадки, м

$$\Delta T = T_{\text{ср}} - T'_{\text{ср}}; \qquad (13.5)$$

$T_{ср}$ и $T'_{ср}$ – соответственно средняя осадка судна до и после посадки на мель, которые определяются по выражениям:

$$T_{ср} = \frac{T_н + T_{\otimes}^{лб} + T_{\otimes}^{пб} + T_к}{4}; \qquad (13.6)$$

$$T'_{ср} = \frac{T_н + 3\left(T_{\otimes}^{лб} + T_{\otimes}^{пб}\right) + T_к}{8}. \qquad (13.7)$$

$P_2 = 9{,}81\rho k_1 k_2 l b h_в$ – дополнительное усилие, возникающее при повреждении обшивки и заполнении водой какого-либо отсека, кН;

l, b – соответственно длина и ширина отсека, м;

$h_в$ – высота уровня воды в отсеке, м;

k_1 – коэффициент полноты отсека, заполненного водой, ед. (см. табл.13.2)

k_2 – коэффициент проницаемости отсека, зависящий от наличия в отсеке груза (см. табл.13.3).

Таблица 13.2

Значения коэффициента k_1 полноты отсека, заполненного водой

Расположение отсека	Без второго дна	Под вторым дном
В оконечности судна	0,5-0,6	0,7-0,8
В средней части судна	0,8-0,9	1,0

Таблица 13.3

Значения коэффициента k_2 проницаемости отсека

Затопленный отсек	Коэффициент k_2
Трюмы с грузом и отсеки в оконечностях судна	0,60
Кладовые снабжения	0,70
Машинное отделение	0,85
Жилые помещения	0,85
Пустые трюмы и цистерны в междудонном пространстве	0,97

Очевидно, что судно самостоятельно сойдет с мели если выполняется следующее условие

$$T_{\text{ш}}^{\text{зх}} > F_{\text{тр}}, \qquad (13.10)$$

где $T_{\text{ш}}^{\text{зх}}$ – упор движителей на швартовых на заднем ходу, кН.

Величина $T_{\text{ш}}^{\text{зх}}$ может быть определена по следующему выражению: $T_{\text{ш}}^{\text{зх}} \approx 0{,}8T_{\text{ш}}^{\text{пх}}$.

Если условие (13.10) не выполняется, то можно попытаться уменьшить силу давления на грунт за счет принятия балласта или перемещения груза (то есть дифферентованием или кренованием). При этом следует учитывать, что при наличии образовавшегося крена и дифферента судна на мели рассматривается не сила трения, а ее проекция на направление действия стягивающих или разворачивающих сил.

Количество груза (балласта), которое необходимо переместить по судну, чтобы оно оказалось на плаву можно рассчитать по выражению, кН

$$\Delta P = \frac{\left[\Delta T_{\text{к}} + \left(\Delta T_{\text{н}} - \Delta T_{\text{к}}\right)\left(0{,}5 + \dfrac{x_a}{L}\right)\right]\rho \nabla H}{x_a\left(x_1 - x_2\right)}, \qquad (13.11)$$

где $\Delta T_{\text{к}} = T_{\text{к}} - T_{\text{к}}'$, м;

$\Delta T_{\text{н}} = T_{\text{н}} - T_{\text{н}}'$, м;

$T_{\text{н}}'$, $T_{\text{к}}'$ – осадка носом и кормой после посадки на мель, м;

ρ – плотность воды, т/м^3;

H – продольная метацентрическая высота, м;

x_a – абсцисса результирующей силы реакции грунта, м;

x_1, x_2 – абсциссы перемещаемого груза (балласта) соответственно до и после перемещения, м;

$\nabla = \delta LBT$ – объемное водоизмещение судна, м^3.

При этом осадка в носовой части судна после перемещения груза будет:

$$T''_{\text{н}} = T'_{\text{н}} - \frac{\Delta P(x_1 - x_2)L}{2\rho \nabla H}, \qquad (13.12)$$

а в кормовой части

$$T''_{\text{к}} = T'_{\text{к}} + \frac{\Delta P(x_1 - x_2)L}{2\rho \nabla H}. \qquad (13.13)$$

При определении балластных цистерн, в которые может быть принят балласт, необходимо учитывать, чтобы абсцисса центра тяжести принятого балласта была не менее:

$$|x_\delta| > x_g + \frac{\delta T'_{\text{ср}} H}{\alpha(x_g - x_a)}. \qquad (13.14)$$

Здесь δ, α – соответственно коэффициенты полноты водоизмещения и ватерлинии, ед.;

x_g – абсцисса ЦМ судна, м.

Если проведенные расчеты показывают, что судно самостоятельно сойти с мели не может, то требуется дополнительная тяга, которая определяется из выражения:

$$F_g = F_{\text{тр}} - T_{\text{ш}}^{\text{зх}} - \Delta P f. \qquad (13.15)$$

В том случае, когда в стягивании с мели задействовано несколько судов, то величина их совместного усилия рассчитывается следующим образом:

$$F_g = n \sum T_{\text{ш}}^{\text{пх}} \cos\beta, \qquad (13.16)$$

где n – количество судов, ед.;

$\sum T_{\text{ш}}^{\text{пх}}$ – упор стягивающих судов, кН;

β – угол между буксирными тросами, град.

Если снятие с мели производится рывком, то заданное усилие рывка принимается в зависимости от разрывного усилия буксирного троса:

$$T_{\text{р}} = \frac{T_{\text{разр}}}{m}, \qquad (13.17)$$

где m – коэффициент запаса прочности буксирного троса при рывке (принимается 1,1-1,3);

$$T_{\text{разр}} = kd_{\text{тр}}^2; \qquad (13.18)$$

$d_{\text{тр}}$ – диаметр троса, мм;

k – коэффициент прочности, кН/мм^2.

Значения коэффициента прочности k представлены в табл.13.4.

Таблица 13.4

Значения коэффициента прочности k

Вид троса	Коэффициент k
Гибкий, кроме тросов окружностью 150, 180, 205 мм	0,40
Гибкий окружностью 150, 180, 205 мм	0,33
Полужесткий окружностью 175, 205 мм	0,55
Жесткий	0,48
Капроновый	0,052
Лавсановый	0,065
Полипропиленовый	0,077

Начальная скорость буксировщика может быть определена по формуле, м/с

$$v_{\text{р}} = \sqrt{\frac{T_{\text{р}}^2 l_{\text{тр}}}{\rho \nabla E S_{\text{тр}}}}, \qquad (13.19)$$

где $l_{\text{тр}}$ – длина буксирного троса, м;

E – модуль упругости троса: для стального троса $E = 8 \times 10^7$, для капронового троса $E = 0{,}2 \times 10^3$, кН/м^2;

$S_{\text{тр}}$ – площадь сечения троса, м^2.

При посадке судна на мель на мягких грунтах может быть эффективно использован способ снятия с мели при помощи размыва

грунта потоками воды, отбрасываемыми гребными винтами судна-спасателя.

При размыве грунта гребными винтами скорость, необходимая для перемещения частиц грунта, определяется по выражению

$$v_{\text{п}} \geq 0{,}25\sqrt{a_r}\ , \qquad (13.20)$$

где a_r – размер частиц грунта, мм.

Результаты расчета по выражению (13.20) для различного рода грунтов приведен в табл.13.5.

Таблица 13.5

Значения скоростей размыва для различных типов грунта

Грунт		Размер частиц a_r, мм	Необходимая скорость размыва $v_{\text{р}}$, м/с
Ил		0,05	0,17-0,24
Песок	мелкий	0,05-0,25	0,24-0,37
	средний	0,25-1,00	0,37-0,65
	крупный	1,00-2,50	0,65-0,70
Гравий	мелкий	2,5-5,0	0,72-0,90
	средний	5-10	0,90-1,00
	крупный	10-15	1,10-1,30
Галька	мелкая	15-25	1,30-1,60
	средняя	25-40	1,60-2,10
	крупная	40-75	2,10-2,80

Скорость потока в диске винта может быть определена по формуле, м/с

$$v_{\text{п}} = 7{,}83\frac{\sqrt{0{,}1P_{\text{ш}}^{\text{пх}}}}{D_{\text{в}}}\ , \qquad (13.21)$$

где $D_{\text{в}}$ – диаметр винта, м.

Скорость потока в заданной точке (под днищем сидящего на мели судна) зависит не только от величины, но и расстояния от оси винта до грунта.

Для многовинтовых судов скорость потока определяется из очевидного выражения

$$\sum_{i=1}^{n} v_{\text{п}} = \sqrt{v_{\text{п}_i}^2 + \ldots v_{\text{п}_n}^2} \ . \qquad (13.22)$$

Глубина размываемого канала обычно достигает величины

$$H_{\text{к}} \approx 0{,}5 D_{\text{в}} \, . \qquad (13.23)$$

Лабораторная работа №14

«Расчет якорной стоянки судна»

Цель: Научить студентов расчету параметров якорной стоянки с учетом воздействия внешних факторов.

Задача: Произвести расчет якорной стоянки судна с учетом влияния внешних факторов (ветер, волнение, течение).

1. Определяется необходимая длина якорной цепи из расчета полного использования держащей силы якоря и куска цепи, лежащего на грунте:

$$l'_{\text{яц}} = H_{\text{кл}}\sqrt{1+\frac{2q}{H_{\text{кл}}}\left(\frac{m_{\text{я}}}{q}k+af\right)}, \qquad (14.1)$$

где $H_{\text{кл}}$ – высота якорного клюза над грунтом, м:

$$H_{\text{кл}} = H_{\text{гл}} + \left(H_{\text{к}} - T_{\text{ср}}\right).$$

$H_{\text{гл}}$ – глубина места постановки судна на якорь, м;

$H_{\text{к}}$ – высота клюза на ватерлинией судна, м;

$T_{\text{ср}}$ – средняя осадка судна в грузу, м;

$m_{\text{я}}$ – масса якоря, кг;

q – вес погонного метра якорной цепи в воде, кг/м:

$$q = 0{,}023d_{\text{ц}}^2.$$

$d_{\text{ц}}$ – калибр якорной цепи, мм;

a – длина участка якорной цепи, лежащей на грунте, м (принимается 40-50 м);

f – коэффициент трения о грунт, выбирается по табл.14.1.

Таблица 14.1

Значение коэффициента трения о грунт

Грунт	Коэффициент f
Песок мелкий	0,35-0,38
Галька	0,38-0,42
Каменная плита	0,40-0,50
Ил	0,10-0,15

Продолжение табл. 14.1

Жидкая глина	0,18-0,22
Мягкая глина	0,23-0,30
Песок с глиной	0,30-0,32

k – удельная держащая сила якоря, выбирается по табл.14.2.

Таблица 14.2

Удельная держащая сила якоря

Масса якоря $m_я$, кг	Удельная держащая сила k для грунта		
	илистого	песчаного	гальки
1500	0,9-2,5 (1,7)	2,0-2,9 (2,5)	2,4-3,6 (3,0)
3000	0,9-2,4 (1,7)	1,9-2,8 (2,4)	2,3-3,6 (2,9)
5000	0,8-2,2 (1,5)	1,8-2,6 (2,2)	2,1-3,3 (2,7)

2. Расчет якорной стоянки судна с учетом воздействия внешних факторов (ветер, волнение, течение).

Судно, стоящее на якоре, подвергается воздействию сил: ветра $R_а$, течения $R_т$, инерционных сил рыскания и качки $R_{ин}$.

$$\sum R = R_а + R_т + R_{ин}. \quad (14.2)$$

Сила ветра рассчитывается по формуле

$$R_а = 0{,}61 c_{ха} U^2 \left(A_u \cos q_u + B_u \sin q_u\right), \quad (14.3)$$

где $c_{ха}$ – коэффициент воздушного сопротивления, зависящий от угла q_u, определяемый как

$$c_{ха} = \left(0{,}8 \div 1{,}0\right)\cos q_u; \quad (14.4)$$

U – скорость ветра, м/с;

A_u, B_u – площадь проекции надводной части корпуса судна соответственно на плоскость мидель-шпангоута и ДП, $м^2$;

q_u – угол между ДП и направлением ветра, град.

Действие течения определяется по формуле

$$R_т = 58{,}8 B_т v_т \sin \Theta_т , \quad (14.5)$$

где $B_т$ – проекция подводной части корпуса на ДП судна, $м^2$;

$$B_т = 0{,}9 L_{max} T_{ср} .$$

L_{max} – наибольшая длина судна, м.;

$v_т$ – скорость течения, м/с;

$\Theta_т$ – угол между направлением течения и ДП, град.

С усилением ветра судно начинает рыскать. Силу рыскания $R_{ин}$ условно принимаем равной весу якоря в воде и рассчитываем по выражению

$$R_{ин} = 8{,}7 m_я . \quad (14.6)$$

Находим сумму действующих на судно внешних сил, используя формулу (14.2).

Держащая сила якоря $F_я$ определяется по формуле, кН:

$$F_я = 10 m_я k . \quad (14.7)$$

Данный расчет верен при условии, что внешние силы не превышают держащей силы якоря, то есть:

$$\sum R < F_я . \quad (14.8)$$

2.1. Определяется минимальная длина якорной цепи, необходимая для удержания судна на якоре, при воздействии внешних сил по выражению

$$l_{яц} = H_{кл} \sqrt{1 + \frac{2{,}8}{H_{кл}} \left(\frac{\sum R}{10q} + af \right)} . \quad (14.9)$$

С целью обеспечения безопасности якорной стоянки вытравливаем на одну смычку больше, чем расчетная длина якорной цепи $l_{яц}$, то есть $l_{яц}$+1 смычка.

2.2. Определяется расстояние от клюза до точки начала подъема якорной цепи с грунта по формуле

$$X = \frac{\sum R}{10q} \ln \frac{l_{яц} + \sqrt{l_{яц}^2 + \left(\frac{\sum R}{10q}\right)^2}}{\frac{\sum R}{10q}}. \qquad (4.10)$$

2.3. Определяется отрезок цепи, который лежит на грунте

$$a = l_{яц} - X. \qquad (4.11)$$

2.4. Определяется радиус окружности $R_{я}$, которую будет описывать корма данного судна, м

$$R_{я} = X + a + L_{\max}. \qquad (4.12)$$

2.5. Держащая сила якорного устройства $F_{х}$ складывается из держащей силы якоря и отрезка якорной цепи лежащей на грунте, кН:

$$F_{х} = F_{я} + (aqf)g. \qquad (4.13)$$

Очевидно, что безопасность якорной стоянки будет обеспечена если держащая сила якорного устройства, будет больше чем суммарное воздействие от внешних сил, то есть $F_{х} > \sum R$.

2.6. Определяется минимальная глубина при выборе места якорной стоянки по формуле

$$H_{гл} = 1{,}2T_{\max} + 0{,}7h_{в}, \qquad (4.14)$$

где $H_{гл}$ – глубина места якорной стоянки в малую воду, м;

T_{max} – наибольшая осадка судна, м;

$h_в$ – максимальная высота волны, при которой судно может стоять на якоре по условиям задания, м.

По результатам расчета сделать выводы о безопасности якорной стоянки судна по условиям задания.

Лабораторная работа № 15

«Определение просадки и безопасной скорости движения судов и составов на мелководье»

Целью лабораторной работы является закрепление и углубление теоретических знаний по обеспечению безопасности движения судов и составов на мелководных участках внутренних водных путей.

Для обеспечения безопасности плавания практический интерес представляет определение безопасной скорости движения судна (состава) при прохождении мелководных участков, которая влияет на величину просадки судна, а также определение величины падения скорости судна на мелководье.

Скорость движения на мелководье определяется по выражению:

$$v_м = v_0\left(1-0{,}7\left(\frac{T}{H}\right)^2\right). \qquad (15.1)$$

Величину просадки речных судов и толкаемых составов по корме можно определить по формуле:

$$\Delta T_к = \frac{a v_м^2}{2g}, \qquad (15.2)$$

где a – числовой коэффициент:

для речных самоходных судов при водоизмещении менее 2000 т

$$a = 0{,}1 + 0{,}4\frac{T}{H}; \qquad (15.3)$$

для грузовых судов и составов водоизмещением более 2000 т

$$a = 0{,}004\left(16{,}5 - \frac{L}{B}\right)\sqrt{\frac{T}{H}}\,. \qquad (15.4)$$

Для судов средних размеров L =80 ÷ 115 м, эксплуатируемых в бассейнах сибирских рек:
для грузовых теплоходов

$$\Delta T_{\text{к}} = \left(0{,}04 + 0{,}35\frac{T}{H}\right)\frac{v_{\text{м}}^2}{2g}; \qquad (15.5)$$

для пассажирских судов

$$\Delta T_{\text{к}} = aT_{\text{к}}\left(\frac{v_{\text{м}}}{\sqrt{gT}}\right)^b. \qquad (15.6)$$

Здесь a и b числовые коэффициенты, определяемые по выражениям:

$$a = 0{,}265 - 3{,}6\frac{T}{H} + 11{,}3\left(\frac{T}{H}\right)^2 - 8{,}5\left(\frac{T}{H}\right)^3; \qquad (15.7)$$

$$b = 0{,}525 - 18{,}6\frac{T}{H} + 19{,}3\left(\frac{T}{H}\right)^2 - 0{,}8\left(\frac{T}{H}\right)^3. \qquad (15.8)$$

Данные расчетные зависимости справедливы для $0{,}4 \le \frac{T}{H} \le 0{,}9$.

Для крупнотоннажных речных и «река-море» плавания судов уточненная зависимость, учитывающая форму судовых обводов, имеет вид:

$$\Delta T_{\text{ср}} = \overline{\sigma} BFr^2\sqrt{\frac{T}{H}}\,, \qquad (15.9)$$

где $\overline{\sigma}$ – отношение коэффициента полноты носовой и кормовой половин диаметрального батокса корпуса судна;

$Fr = \frac{v_{\text{м}}}{\sqrt{gL}}$ – число Фруда.

Значение коэффициента полноты кормовой части диаметрального батокса для толкаемого состава определяется по формуле:

$$\overline{\sigma}_{\text{к}} = 1 - \frac{2L_{\text{т}}\left(T_{\text{б}} - 0{,}88T_{\text{т}}\right)}{L_{\text{б}}T_{\text{б}}}, \qquad (15.10)$$

где $L_т$, $T_т$ – длина и осадка толкача, м;

$L_б$, $T_б$ – длина и осадка барж, м.

С достаточной точностью величину безопасной скорости движения $v_{без}$ при условии некасания дна водоема днищем корпуса судна можно определить по выражению, м/с:

$$v_{без} = \frac{A_2 v_1 - A_1\left(6{,}4L|c| + 6{,}7H|c|\right)}{A_3}, \qquad (15.11)$$

где

$$A_1 = \chi\left(1 + \frac{L}{10Bk_n}\right)(1+m)\cdot\left(3 + \frac{B}{15Tk_n}\right)\delta; \qquad (15.12)$$

$$A_2 = \left[18 + 127\left(180 - k_S^2\right)\right]\left(H - T - 0{,}1\right); \qquad (15.13)$$

$$A_3 = \left[A_1 H + 0{,}1\left(180 - k_S^2\right)\left(H - T - 0{,}1\right)\right] 10^3. \qquad (15.14)$$

L – длина судна или состава, м;

$|c|$ – скорость течения, м/с;

H – глубина на участке, м;

B – ширина судна, м;

T – осадка судна, м;

k_n – количество рядов в составе (для одиночных судов k_n = 1);

k_S – количество барж в ряду (для одиночных судов k_S = 1);

δ – коэффициент полноты водоизмещения судна или баржи;

m – коэффициент стеснения потока.

$$m = \frac{\beta B T k_n}{F}; \qquad F = \chi B_з H, \qquad (15.15)$$

F – площадь сечения русла, м^2;

χ – коэффициент полноты поперечного сечения стесненного русла. В расчетах можно принять χ = 0,7;

$B_з$ – ширина русла по «зеркалу», м;

β – коэффициент полноты мидель-шпангоута;

v_1 – первая критическая скорость, м/с;

$$v_1 = \sqrt{8gH\cos^3\left[\frac{\pi + \arccos(1-m)}{3}\right]} \qquad (15.16)$$

При расхождении судов (составов) влияние судна-партнера на динамическую просадку рассматриваемого судна сводится главным образом к дополнительному стеснению потока. Поэтому безопасные скорости движения при расхождении с однотипными судами или составами могут быть рассчитаны по выражению (15.11) с той лишь разницей, что в формулах (15.12-15.15) величина стеснения m должна быть удвоена.

Расчеты провести для $\frac{T}{H}$=0,7; 0,8; 0,9 и трех режимах работы движителей $v_{\text{пх}}$; $v_{\text{сх}}$; $v_{\text{мх}}$ и ширине русла по «зеркалу» $B_{\text{з}}$ = 200; 400; 600; 800 м. По результатам расчетов построить графическую зависимость $\Delta T_{\text{к}} = f\left(v_{\text{м}}; \frac{T}{H}\right)$.

Контрольные вопросы к лабораторной работе №15

1. Что такое безопасная скорость?
2. Факторы выбора безопасной скорости?
3. В чем проявляется влияние мелководья на движущееся судно?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Технико-эксплуатационные характеристики судов

Наименование Исходных данных	Сормовский	Сормовский (Португ.)	Волга	Сибирский	Сибирский	Морской	Нижегородец
	1557	488АМ	19610	02225	292	1814	16511
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Основные размеры (расчетные) и характеристики судна:							
1.1. Длина, L, м	110,5	112,5	134,5	121,7	124,0	83,3	99,0
1.2. Ширина, B, м	13,0	13,0	16,4	15,6	15,4	12,0	16,2
1.3. Осадка, T, м	3,5	3,5	3,5	3,2	3,0	3,3	3,5
1.4. Коэффициент полноты ватерлинии, α	0,891	0,845	0,860	0,895	0,895	0,880	0,868
1.5. Коэффициент водоизмещения, δ	0,818	0,782	0,830	0,910	0,920	0,809	0,792
1.6. Коэффициент мидель-шпангоута, β	0,990	0,987	0,980	0,990	0,990	0,895	0,993
1.7. Коэффициент диаметрального батокса, σ	0,920	0,900	0,900	0,840	0,830	0,890	0,910
1.8. Боковая площадь парусности, $S_{\text{п}}$, м	480	490	580	542	525	320	520
1.9. Отстояние	-3,5	-4,0	-4,0	-3,5	-3,5	-2,1	-3,0

ЦП от ЦМ, $l_{\text{п}}$, м							
1.10. Мощность главных двигателей, N , кВт	970	1275	1940	1324	1324	1030	1800
1.11. Число главных двигателей, n , ед.	2	2	2	2	2	2	2
1.12. Частота вращения главных двигателей, n_0 об/мин.	330	375	320	300	300	300	375
1.13. Диаметр винта, $D_{\text{в}}$, м	1,6	1,7	1,8	1,500	1,70	1,9	2,2

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
1.14. Шаг винта, $H_в$, м	1,8	1,4	1,6	1,572	1,23	1,4	1,97
1.15. Дисковое отношение, Θ	0,502	0,631	0,745	0,630	0,640	0,502	0,680
1.16. Число винтов, Z, ед.	2	2	2	2	2	2	2
1.17. Тип органа управления	*	*	*	*	*	*	*
1.18. Скорость движения, v_0, км/ч	21,0	21,0	21,5	19,10	20,5	20,5	21,5
1.19. Сопротивление воды движению судна, R_0, кН	95,0	110,0	165,0	168,0	171,0	76,0	120,0
1.20. Масса якоря, $m_я$, т	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,4	2,5
1.21. Калибр якорной цепи, d, мм	43	43	43	43	43	41	43
1.22. Отношение коэффициента полноты носовой и кормовой половин диаметрального батокса $\bar{\sigma} = \sigma_н / \sigma_к$	1,035	1,024					

Примечание:
1. * Рули (2), насадки (2)+средний руль.
2. Тип рулевого органа судна задается преподавателем.

Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант				
	8	9	10	11	12
	И. Щепетов	Ладога	Ладога	Ладога	Сормовский
	1810	16511	16511	16510	289
1.1.	100,0	78,0	77,6	79,4	110,2
1.2.	16,0	11,8	12,0	11,8	13,0
1.3.	3,5	3,5	3,5	3,5	3,75
1.4	0,794	0,848	0,848	0,848	0,891
1.5.	0,784	0,744	0,760	0,780	0,818
1.6.	0,993	0,990	0,990	0,990	0,997
1.7.	0,920	0,900	0,920	0,900	0,920
1.8.	540	280	280	320	510
1.9.	-3,0	-3,0	-3,0	-3,5	-3,6
1.10.	1800	1280	1280	862	975
1.11.	2	2	2	2	2
1.12.	375	300	300	300	320
1.13.	2,2	1,8	1,8	1,8	1,9
1.14.	1,97	1,26	1,32	1,35	1,8
1.15.	0,660	0,540	0,540	0,540	0,560
1.16.	2	2	2	2	2
1.17.	*	*	*	*	*
1.18.	21,8	22,5	23,0	19,8	20,0
1.19.	120,0	86,0	93,0	71,0	97,0
1.20.	2,5	1,75	1,75	1,75	1,5
1.21.	43	43	43	43	43
1.22.					

Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант				
	13	14	15	16	17
	Балтийский	Балтийский	Волго-Балт	Волго-Балт	Якутск
	613	781Э	791	2-95А	1743
1.1.	90,2	92,1	110,2	110,6	105,0
1.2.	13,0	13,0	13,0	13,0	14,8
1.3.	3,4	3,5	3,5	3,5	3,0
1.4	0,760	0,875	0,887	0,904	0,880
1.5.	0,762	0,780	0,816	0,825	0,827
1.6.	0,990	0,970	0,998	0,994	0,998
1.7.	0,880	0,900	0,900	0,910	0,905
1.8.	410	395	440	510	373
1.9.	-3,5	-1,8	-5,2	-4,9	-1,8
1.10.	1280	882	882	1030	1030
1.11.	2	2	2	2	2
1.12.	330	300	300	300	300
1.13.	1,8	1,7	1,7	1,65	1,7
1.14.	1,6	1,76	1,75	2,0	1,65
1.15.	0,561	0,510	0,510	0,581	0,58
1.16.	2	2	2	2	2
1.17.	*	*	*	*	*
1.18.	23,0	20,0	20,0	20,0	20,8
1.19.	97,9	71,0	75,0	94,0	105,0
1.20.	1,5	1,5	1,75	1,75	1,5
1.21.	43	43	43	43	43
1.22.				1,032	1,065

Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант				
	18	19	20	21	22
	Волго-Балт (Чеш.)	Амур	Волжский (укороч.)	СТК	Контейнеровоз
	КУ92-040	925А	0574-АМ	326.1	326
1.1.	112,4	112,4	103,8	78,0	78,1
1.2.	13,0	13,0	16,5	11,6	11,6
1.3.	3,5	3,5	3,49	3,2	3,0
1.4.	0,895	0,875	0,945	0,925	0,945
1.5.	0,920	0,920	0,830	0,837	0,833
1.6.	0,990	0,990	0,996	0,990	0,990
1.7.	0,895	0,895	0,854	0,940	0,940
1.8.	660	750	800	600	600
1.9.	-3,5	-3,5	-2,6	-1,0	-1,0
1.10.	1030	1030	1765	882	882
1.11.	2	2	2	2	2
1.12.	300	300	375	250	250
1.13.	1,8	1,8	1,8	1,79	1,79
1.14.	1,7	1,7	1,5	1,86	1,80
1.15.	0,641	0,641	0,621	2,59	2,59
1.16.	2	2	2	2	2
1.17.	*	*	*	Комплекс Энкеля $S_{p_{ср}} = 2{,}59\ м^2$	Комплекс Энкеля $S_{p_{ср}} = 2{,}59\ м^2$
1.18.	19,0	19,0	21,0	21,5	21,0
1.19.	100,0	103,0	130,0	90,0	80,0
1.20.	1,75	1,75	2,0	1,25	1,2
1.21.	43	43	43	34	34
1.22.					

Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант					
	23	24	25	26	27	28
	Овощевоз	Финский 1000/800	Онего	Нефтерудовоз	Волго-нефть	Волго-нефть
	19620	ТУ-3-100А		1553	1577	550А
1.1.	83,0	78,0	72,0	115,3	128,6	128,6
1.2.	12,0	11,0	11,0	13,2	16,5	16,5
1.3.	1,8	2,4	3,5	3,5	3,5	3,5
1.4.	0,933	0,891	0,738	0,893	0,902	0,902
1.5.	0,857	0,824	0,765	0,823	0,845	0,825
1.6.	0,998	0,995	0,992	0,998	0,998	0,998
1.7.	0,975	0,910	0,900	0,905	0,915	0,915
1.8.	620	272	320	560	540	580
1.9.	+2,0	-1,8	-1,5	-5,1	-5,1	-5,1
1.10.	880	588	1370	882	1470	1470
1.11.	2	2	1	2	2	2
1.12.	250	350	350	300	375	375
1.13.	1,7	1,5	1,8	1,7	1,55	1,55
1.14.	1,7	1,43	1,85	1,75	1,5	1,50
1.15.	0,610	0,450	0,720	0,720	0,620	0,620
1.16.	2	2	1	2	2	2
1.17.	*	*	*	*	*	*
1.18.	18,0	19,0	22,0	20,3	20,0	20,0
1.19.	70,0	55,0	94,0	99,0	130,0	115,0
1.20.	1,0	1,0	1,0	1,75	2,0	2,0
1.21.	34	34	34	43	43	43
1.22.				1,028		1,066

Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант			
	29	30	31	32
	Волгонефть	Ленанефть	Ленанефть	Волго-Дон
	630	621	Р-77	507Б
1.1.	134,1	117,7	105,0	135,0
1.2.	16,5	14,8	14,0	16,5
1.3.	3,5	3,1	2,5	3,5
1.4.	0,914	0,898	0,880	0,935
1.5.	0,843	0,856	0,827	0,851
1.6.	0,999	0,998	0,993	0,996
1.7.	0,920	0,950	0,880	0,905
1.8.	600	368	368	630
1.9.	-4,5	-2,1	-2,1	-5,3
1.10.	1765	970	970	1475
1.11.	2	2	2	2
1.12.	375	330	330	375
1.13.	1,7	1,7	1,7	1,8
1.14.	1,307	1,65	1,65	1,5
1.15.	0,872	0,724	0,724	0,621
1.16.	2	2	2	2
1.17.	*	*	*	*
1.18.	19,0	19,0	19,0	20,0
1.19.	142,0	125,0	85,0	145,0
1.20.	2,25	2,0	1,5	1,75
1.21.	46	46	43	43
1.22.				1,090

Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант				
	33	34	35	36	37
	Волго-Дон	Волжский без приставки	Волжский с приставкой	Калининград	Шестая пятилетка
	1565	05074	05074	05074-М	21-88
1.1.	135,0	135,0	256,0	100,0	90,0
1.2.	16,5	16,4	16,5	12,2	13,0
1.3.	3,5	3,5	3,5	2,8	2,9
1.4.	0,935	0,935	0,935	0,903	0,902
1.5.	0,841	0,851	0,851	0,818	0,837
1.6.	0,996	0,997	0,997	0,997	0,998
1.7.	0,905	0,910	0,910	0,920	0,900
1.8.	580	800	1200	267	253
1.9.	-5,5	-5,6	-4,8	-1,2	-1,0
1.10.	1322	1765	1765	773	735
1.11.	2	2	2	2	2
1.12.	375	375	375	300	350
1.13.	1,8	1,8	1,8	1,7	1,63
1.14.	1,5	1,5	1,5	1,89	1,47
1.15.	0,621	0,621	0,621	0,551	0,452
1.16.	2	2	2	2	2
1.17.	*	*	*	*	*
1.18.	20,0	20,0	19,0	20,0	19,0
1.19.	145,0	150,0	170,0	98,0	72,0
1.20.	1,75	1,75	1,75	1,75	1,2
1.21.	43	43	43	43	34
1.22.		1,083			1,037

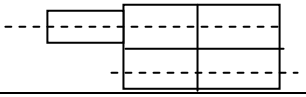
Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант				
	38	39	40	41	42
	Окский	Русь	В. Ильич	М.Горький	В.Куйбышев
	Р-97Т	302	301	Q-040	92016
1.1.	90,0	124,5	118,0	102,9	126,5
1.2.	15,0	16,0	16,0	12,8	16,0
1.3.	2,3	3,0	2,8	2,2	2,85
1.4.	0,887	0,867	0,862	0,800	0,810
1.5.	0,813	0,675	0,677	0,700	0,700
1.6.	0,995	0,898	0,888	0,965	0,970
1.7.	0,920	0,910	0,900	0,920	0,910
1.8.	265	-	1200	-	1300
1.9.	-2,2	-	+2,0	-	+1,5
1.10.	558	2208	2208	1325	2208
1.11.	2	3	3	2	3
1.12.	300	375	375	375	350
1.13.	1,2	1,8	1,8	1,75	1,9
1.14.	1,05	1,675	1,600	1,280	1,450
1.15.	0,481	0,652	0.673	0,650	0,625
1.16.	2	3	3	2	3
1.17.	*	рули (5) комплекс Энкеля $S_{p_{ср}}$ =2,6 $м^2$	рули (5) комплекс Энкеля $S_{p_{ср}}$ =2,6 $м^2$	рули (2)	рули (3)
1.18.	16,5	25,4	25,4	22,0	26,1
1.19.	64,0	138,0	144,0	69,0	160,4
1.20.	1,0	1,6	1,62	1,25	1,75
1.21.	25	47	47	37	46
1.22.	1,017	1,078		1,034	1,041

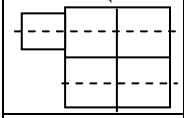
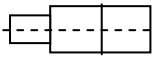
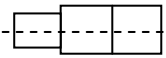
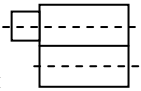
Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант			
	43	44	45	46
	С. Есенин	Севан	Родина	А.Никитин
	Q-065	646	588	26-37
1.1.	83,0	62,0	90,0	90
1.2.	13,0	9,4	12,0	11,65
1.3.	1,65	2,2	2,2	2,2
1.4.	0,805	0,765	0,775	0,780
1.5.	0,670	0,600	0,570	0,560
1.6.	0,980	0,845	0,860	0,866
1.7.	0,920	0,900	0,900	0,910
1.8.	-	-	850	870
1.9.	-	-	+1,9	+1,4
1.10.	658	588	882	1158
1.11.	2	2	3	3
1.12.	420	300	250	570
1.13.	1,25	1,25	1,6	1,68
1.14.	1,125	1,40	2,0	1,73
1.15.	0,625	0,553	0,550	0,499
1.16.	3	2	3	3
1.17.	Рули (3)	Рули (2)	Рули (3)	Рули (3)
1.18.	22,6	22,0	25,0	26,0
1.19.	70,0	44,0	79,0	82,0
1.20.	1,46	1,40	1,35	1,35
1.21.	37	34	34	34
1.22.			1,215	

Продолжение табл.

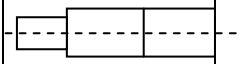
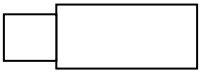
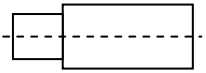
№	Тип и проект судна, вариант		
	47	48	49
	Композитор Глазунов	Дунай	ОТ2400+4 секции 
	785	305	Н3291+1787У
1.1.	76,0	76,0	275,8
1.2.	9,6	10,5	28,0
1.3.	1,9	1,4	3,5
1.4.	0,810	0,800	0,983
1.5.	0,710	0,740	0,900
1.6.	0,990	0,970	0,997
1.7.	0,920	0,900	0,920
1.8.	620	600	-
1.9.	+1,2	+2,5	-
1.10.	588	588	1766
1.11.	2	2	2
1.12.	275	275	375
1.13.	1,5	1,1	1,85
1.14.	2,2	1,1	1,52
1.15.	0,550	0,650	0,891
1.16.	2	2	2
1.17.	Рули (2)	Рули (2)	Рули (2)
1.18.	20,0	19,0	15,8
1.19.	38,0	40,0	260,0
1.20.	0,6	1,25	1,75
1.21.	34	34	43
1.22.		1,05	

Продолжение табл.

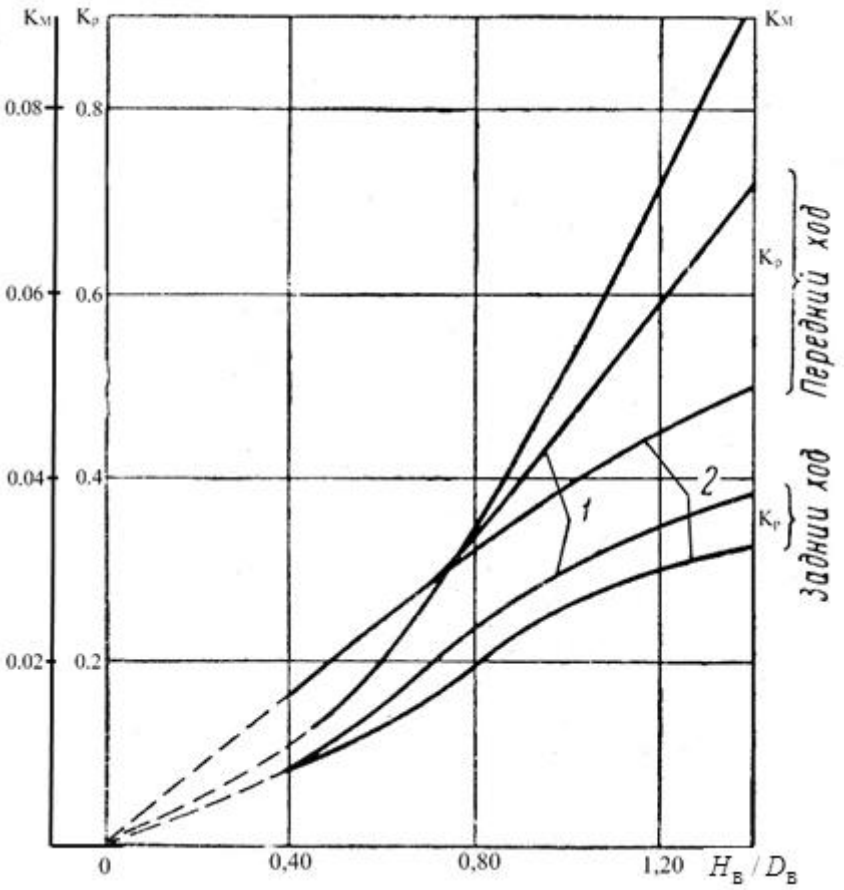
№	Тип и проект судна, вариант			
	50	51	52	53
	ОТ2000+ 4 секции 	ОТ2000 + 2 секции 	Дунайский+ 2 секции 	Дунайский+ 2 секции 
	428+1787	428+1787	749; 112+1787	749; 112+Р-79А
1.1.	237,2	237,2	232,8	135,6
1.2.	28,0	14,0	14,0	28,0
1.3.	3,5	3,5	3,5	3,5
1.4.	0,953	0,953	0,953	0,972
1.5.	0,904	0,904	0,904	0,897
1.6.	0,997	0,997	0,997	0,998
1.7.	0,920	0,920	0,920	0,930
1.8.	-	-	-	-
1.9.	-	-	-	-
1.10.	1470	1470	985	985
1.11.	2	2	2	2
1.12.	375	375	350	350
1.13.	1,71	1,71	1,87	1,87
1.14.	1,64	1,64	1,69	1,69
1.15.	0,840	0,840	0,450	0,579
1.16.	2	2	2	2

1.17.	Насадки (2)	Насадки (2)	Насадки (2)	Насадки (2)
1.18.	14,4	17,5	14,9	14,0
1.19.	170,0	120,0	100,0	120,0
1.20.	1,75	1,75	1,75	1,75
1.21.	43	43	43	43

Продолжение табл.

№	Тип и проект судна, вариант		
	54	55	56
	ОТ-1500+2секции 	ОТ-800+1секция 	Вол-гарь+1секция 
	Р-153+Р-79А	758+81500	Р45Б+1745
1.1.	231,8	120,5	140,0
1.2.	14,0	14,0	14,0
1.3.	3,7	3,5	3,5
1.4.	0,972	0,942	0,943
1.5.	0,897	0,872	0,863
1.6.	0,998	0,995	0,999
1.7.	0,930	0,930	0,925
1.8.	-	-	-
1.9.	-	-	-
1.10.	1102	588	442
1.11.	2	2	2
1.12.	350	275	350
1.13.	2,1	1,66	1,40
1.14.	2,35	1,69	1,34
1.15.	0,480	0,450	0,525
1.1	2	2	2

6.			
1.17.	Насадки (2)	Насадки (2)	Насадки (2)
1.18.	17,5	14,2	14,8
1.19.	130,0	60,0	52,0
1.20.	1,75	1,5	1,5
1.21.	43	34	34



Зависимость коэффициентов упора $k_р$ и момента $k_м$ винта на швартовых от шагового отношения $H_в / D_в$:
1 – винт в насадке; *2* – винт без насадки

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Варианты задания к лабораторной работе № 10
«Крепление груза при плавании в штормовых условиях»

Место установки: Верхняя палуба

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l, м	4	4	4	5	5	4	6	3	4	5
h, м	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
m, т	6	6	18	18	16	14	11	21	10	15
T_Θ, сек	6	7	8	6	7	8	7	7	7	6
r_0, м	2,5	3	2,5	2,5	3	2,5	3	3	3	3,5
a, м	0,9	0,8	0,5	1,2	1,0	0,6	0,7	1,0	1,0	1,0
y, м	3	3	2	4	4	4	5	4	3	5
z, м	4	4	5	4	3	3	3	3	5	3
b, м	3	2	3	3	2	2	4	2	3	3
T_Ψ, сек	5	5	5	6	5	5,5	6	5,5	5,5	6
X, м	40	20	35	30	15	25	30	20	42	44
$h_к$, м	2	2	1,5	1,5	2	1,7	1,6	1,5	1,8	1,5
α, град	60	50	45	45	30	60	50	35	60	45
Θ_{max}	30	35	25	30	30	30	30	35	35	30
Ψ_{max}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
β, град	60	50	45	45	30	60	50	35	60	45

№ варианта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
l , м	6	3	4	6	5	3	5	4	6	3
h , м	3	3	4	3	4	3	2	2	4	2
m , т	18	20	15	25	20	17	18	20	21	15
T_Θ , сек	6	6	7	7	6	6	6	6	7	8
r_0 , м	3	3	4	2,5	3	3	3	3	3	3
a , м	0,4	1,1	1,0	0,5	0,6	1,0	1,2	0,8	1,0	1,0
y , м	5	3	5	4	3	3	4	5	3	4
z , м	3	3	4	3	2	4	3	4	2	3
b , м	3	3	3	4	3	2	4	4	3	2
T_Ψ , сек	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6
X , м	35	30	35	40	43	40	35	35	45	42
$h_к$, м	1,6	2,0	2,0	2,2	2,4	2,5	3,0	2,0	1,9	2,2
α , град	50	45	50	35	40	45	35	40	50	55
Θ_{max}	35	30	35	30	35	30	30	30	30	30
Ψ_{max}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
β ,град	50	45	50	35	40	45	35	40	50	55

Характеристики тросов по ГОСТ 7665-80

ЛК 6×24÷7 ОС (шестипрядный, по 24 проволоки в пряди, с 7 органическими сердечниками)		ЛК 6×30÷7 ОС (шестипрядный, по 30 проволок в пряди, с 7 органическими сердечниками)	
Диаметр, мм	Разрывное усилие, кН	Диаметр, мм	Разрывное усилие, кН
17	93,40	19	116,00
19	115,00	22	144,00
20,5	139,00	24	174,00
22,5	165,50	26	207,00
24,5	194,50	28	243,50
26	226,00	30	282,50
28	258,00	32	323,00
30	294,50	35	368,50
32	333,00	37	416,50
33,5	372,50	39	466,00
37,5	461,00	43	576,00
41	558,00	47	697,00
45	663,50	52	829,50

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Варианты задания к лабораторной работе № 11
«Плавание в штормовых условиях»

№ варианта	Проект судна	Длина волны λ, м	Поперечная метацентрическая высота h, м
1	КУ92-040	80	1,9
2	488АМ	70	1,6
3	1570	90	1,4
4	1557	70	2,2
5	1810	60	2,2
6	507Б	70	1,6
7	05074	90	1,9
8	1577	90	2,2
9	19610	60	2,1
10	02225	70	1,8
11	781Э	80	1,6
12	Р-77	80	1,8
13	488АМ	70	2,0
14	613	90	2,1
15	791	90	2,2
16	925А	80	2,7
17	292	70	2,6
18	16511	80	2,4
19	0574-АМ	70	2,7
20	1810	90	2,1

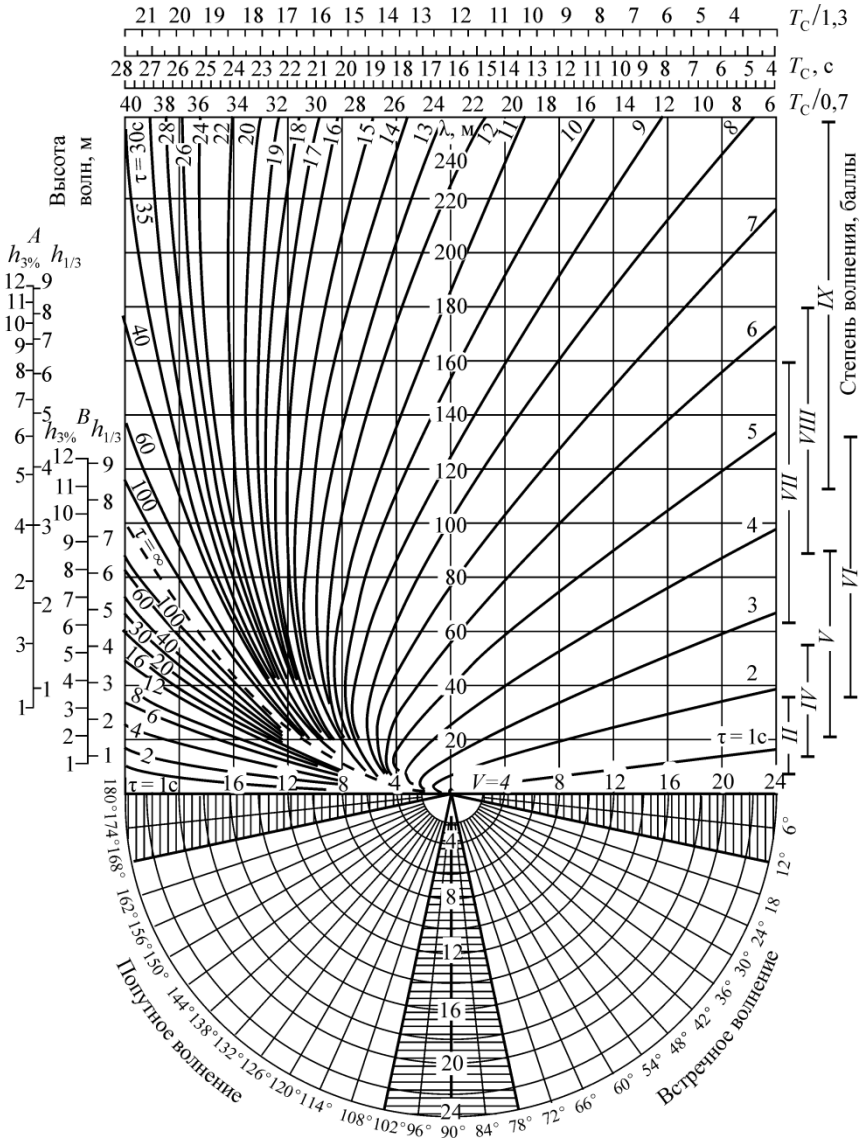


Рис.П.4. Универсальная штормовая диаграмма Ю.В. Ремеза

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Варианты задания к лабораторной работе № 12
«Буксировка судов морем»

№ варианта	Проект судна	Высота волны $h_в$, м	Скорость встречного ветра $v_в$, м/с
1	КУ92-040	3,8	14
2	488АМ	3,3	12
3	1570	3,2	15
4	1557	2,8	11
5	1810	3,4	10
6	507Б	3,6	13
7	05074	3,5	12
8	1577	3,4	11
9	19610	3,2	15
10	02225	2,9	12
11	781Э	2,8	13
12	Р-77	3,1	14
13	488АМ	3,0	11
14	613	3,9	17
15	791	3,6	16
16	925А	3,4	14
17	292	3,5	12
18	16511	2,9	13
19	0574-АМ	3,7	15
20	1810	3,9	15

Характеристика снабжения судна

Характеристика снабжения, N_c		Становые якоря		Масса стоп-анкера, кг	Цепи для становых якорей			
					Суммарная длина обеих цепей, м	Калибр		
Более	Не более	Число	Масса каждого якоря, кг			Категория 1, мм	Категория 2, мм	Категория 3, мм
10	15	2	35	–	110	–	–	–
15	20	2	50	–	137,5	–	–	–
20	25	2	65	–	165	–	–	–
25	30	2	80	–	165	11,0	–	–
30	40	2	105	35	192,5	11,0	–	–
40	50	2	135	45	192,5	12,5	–	–
50	70	2	180	60	220	14	12,5	–
70	90	2	240	80	220	16	14	–
90	110	2	300	100	247,5	17,5	16	–
110	130	2	360	120	247,5	19	17,5	–
130	150	2	420	140	275	20,5	17,5	–
150	175	2	480	165	275	22	19	–
175	205	2	570	190	302,5	24	20,5	–
205	240	3	660	–	302,5	26	22	20,5
240	280	3	780	–	330	28	24	22
280	320	3	900	–	357,5	30	26	24
320	360	3	1020	–	357,5	32	28	24
360	400	3	1140	–	385	34	30	26
400	450	3	1290	–	385	36	32	28
450	500	3	1440	–	412.5	38	34	30
500	550	3	1590	–	412,5	40	34	30
550	600	3	1740	–	440	42	36	32
600	660	3	1920	–	440	44	38	34
660	720	3	2100	–	440	46	40	36
720	780	3	2280	–	467,5	48	42	36
780	840	3	2460	–	467,5	50	44	38
840	910	3	2640	–	467,5	52	46	40
910	980	3	2850	–	495	54	48	42
980	1060	3	3060	–	495	56	50	44
1060	1140	3	3300	–	495	58	50	46
1140	1220	3	3540	–	522,5	60	52	46
1220	1300	3	3780	–	522,5	62	54	48
1300	1390	3	4050	–	522,5	64	56	50

.Характеристика	Цепи или сталь-	Буксирный	Швартовные

снабжения, N_c		ной трос для стоп-анкера		трос		тросы		
Более	Не более	Длина, м	Разрывная нагрузка цепи или разрывное усилие в целом, кН	Длина, м	Разрывное усилие троса в целом, кН	Число	Длина каждого троса, м	Разрывное усилие троса в целом, кН
10	15	–	–	–	–	2	30	29
15	20	–	–	–	–	2	30	29
20	25	–	–	–	–	2	40	29
25	30	–	–	–	–	2	50	29
30	40	55	55	120	65	2	50	29
40	50	70	60	150	81	2	60	29
50	70	80	65	180	98	3	80	34
70	90	85	74	180	98	3	100	37
90	110	85	81	180	98	3	110	39
110	130	90	89	180	98	3	110	44
130	150	90	98	180	98	3	120	49
150	175	90	108	180	98	3	120	54
175	205	90	118	180	112	3	120	59
205	240	–	–	180	129	4	120	64
240	280	–	–	180	150	4	120	69
280	320	–	–	180	174	4	140	74
320	360	–	–	180	207	4	140	78
360	400	–	–	180	224	4	140	88
400	450	–	–	180	250	4	140	98
450	500	–	–	180	276	4	140	108
500	550	–	–	190	306	4	160	123
550	600	–	–	190	338	4	160	132
600	660	–	–	190	371	4	160	145
660	720	–	–	190	406	4	160	157
720	780	–	–	190	441	4	170	172
780	840	–	–	190	480	4	170	186
840	910	–	–	190	518	4	170	201
910	980	–	–	190	559	4	170	216
980	1060	–	–	200	603	4	180	230
1060	1140	–	–	200	647	4	180	250
1140	1220	–	–	200	691	4	180	270
1220	1300	–	–	200	738	4	180	284
1300	1390	–	–	200	786	4	180	309

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Варианты задания к лабораторной работе № 14
«Определение требуемых усилий для снятия судна с мели»

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7
D, т	6400	6700	6800	4500	6330	6740	5860
L ,м	130	131	132	114	125	130	110
q , т/м	1600	1610	1650	1350	1600	1650	1700
H , м	190	195	190	200	210	190	180
h , м	1,8	3,2	2,8	2,0	1,6	1,9	2,1
$T_{\text{н}}$,м	3,94	3,60	3,60	3,52	4,90	3,80	3,60
$T_{\otimes}$, м	4,00	3,66	3,65	3,56	5,00	3,85	3,65
$T_{\text{к}}$, м	4,05	3,72	3,70	3,60	5,10	3,90	3,70
$T'_{\text{н}}$, м	3,21	3,00	3,05	2,69	3,82	2,80	2,98
$T'_{\otimes}$, м	3,68	3,36	3,45	3,28	4,69	3,63	3,42
$T'_{\text{к}}$, м	4,15	3,72	3,85	3,37	5,56	4,46	3,86
$x(x_1)$, м	+45	+40	+40	+40	+40	+45	+40
$z(z_1)$, м	+4	+1	+2	+1	+4	+1	+2
x_2 , м	-30	-40	-25	-40	-40	-45	-40
z_2 , м	+4	+1	+2	+1	+4	+1	+2
x_f , м	+0,4	-0,5	-0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,3
x_a , м	+35	+25	+25	+30	+35	+40	+35
Θ^0 , борт	4 пб	4 лб	3пб	5 лб	4 пб	6 пб	4лб
f	0,33	0,30	0,42	0,32	0,33	0,38	0,38
$P_{\text{пх}}$, кН	291	268	270	280	298	238	270
$P_{\text{зх}}$, кН	210	195	200	220	220	165	195
p , т	180	150	120	120	180	200	120
Расход топлива (воды), т	7	7	8	7	8	12	8
Кол-во суток после выхода из порта	6	6	4	3	4	4	6

№ варианта	8	9	10	11	12	13	14
D, т	6530	5860	6450	4400	4430	4500	4740
L ,м	118	125	130	114	110	120	112
q , т/м	1680	1600	1600	1360	1300	1400	1400
H , м	200	180	200	246	210	190	195
h , м	1,7	2,2	2,0	2,1	1,8	1,8	1,9
$T_{\text{н}}$,м	3,90	4,62	3,95	3,40	3,65	3,95	3,80
$T_{\otimes}$, м	3,98	4,66	4,00	3,43	3,70	4,00	3,85
$T_{\text{к}}$, м	4,06	4,70	4,05	3,46	3,75	4,05	3,90
$T'_{\text{н}}$, м	2,47	3,58	3,45	2,55	2,80	3,25	2,86
$T'_{\otimes}$, м	3,74	4,36	3,76	3,15	3,40	3,72	3,63
$T'_{\text{к}}$, м	4,51	5,34	4,07	3,75	4,00	4,19	4,40
$x(x_1)$, м	+40	+40	+50	+40	+45	+45	+45
$z(z_1)$, м	+2	+5	+3	+1	+2	+4	+1
x_2 , м	-40	-40	-30	-40	-30	-30	-45
z_2 , м	+2	+5	+3	+1	+2	+4	+1
x_f , м	-0,2	-0,5	-0,2	+0,5	-0,2	+0,6	0,0
x_a , м	+35	+30	+35	+40	+35	+35	+40
Θ^0, борт	6 пб	5 лб	4 пб	5 лб	5 пб	4лб	6 пб
f	0,38	0,36	0,36	0,28	0,38	0,36	0,42
$P_{\text{пх}}$, кН	258	238	291	265	230	295	238
$P_{\text{зх}}$, кН	195	150	218	180	165	240	165
p , т	180	180	120	120	150	160	150
Расход топлива (воды), т	6	8	8	6	8	5	6
Кол-во суток после выхода из порта	8	5	3	2	8	3	2

№ варианта	15	16	17	18	19	20
D, т	5950	6450	4450	66800	6700	6740
L ,м	130	130	114	131	132	130
q , т/м	1800	1600	1360	1610	1650	1650
H , м	200	200	246	195	190	190
h , м	2,2	2,0	2,1	3,2	2,8	1,9
$T_{\text{н}}$,м	4,62	3,95	3,40	3,60	3,60	3,80
$T_{\otimes}$, м	4,66	4,00	3,43	3,66	3,65	3,85
$T_{\text{к}}$, м	4,70	4,05	3,46	3,72	3,70	3,90
$T'_{\text{н}}$, м	3,58	3,45	2,55	3,00	3,05	2,80
$T'_{\otimes}$, м	4,36	3,76	3,15	3,36	3,45	3,63
$T'_{\text{к}}$, м	5,34	4,07	3,75	3,72	3,85	4,46
$x(x_1)$, м	+40	+50	+40	+40	+40	+45
$z(z_1)$, м	+5	+3	+1	+1	+2	+1
x_2 , м	-45	-30	-45	-45	-30	-45
z_2 , м	+5	+3	+1	+1	+2	+1
x_f , м	-0,5	-0,2	+0,5	-0,5	-0,2	0,0
x_a , м	+30	+35	+40	+25	+25	+40
Θ^0 , борт	5 лб	4 пб	5 лб	4 лб	3пб	6 пб
f	0,36	0,36	0,28	0,30	0,42	0,38
$P_{\text{пх}}$, кН	238	291	265	268	270	238
$P_{\text{зх}}$, кН	150	218	180	195	200	165
p , т	180	120	130	150	120	200
Расход топлива (воды), т	8	8	5	7	6	12
Кол-во суток после выхода из порта	5	3	2	6	5	4

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Варианты задания к лабораторной работе №15
«Расчет якорной стоянки судна»

№ варианта	Грунт	Скорость течения $v_т$, уз	Скорость ветра U, м/с	Глубина якорной стоянки $H_{гл}$, м	Угол между ДП и направлением ветра q_u, град	Угол между ДП и направлением течения $\Theta_т$, град
1	Плотный ил	2,0	12	22	30	60
2	Ил	1,5	14	15	35	50
3	Песок	1,6	15	25	40	65
4	Галька	2,0	17	20	30	60
5	Камень	1,0	18	28	40	55
6	Глина	2,5	10	35	25	45
7	Ил	3,0	16	40	30	60
8	Песок	3,5	12	35	40	50
9	Галька	3,0	20	20	35	55
10	Камень	3,0	18	18	25	60
11	Плотный ил	2,5	22	30	30	50
12	Песок	2,0	15	26	35	45
13	Галька	1,5	17	28	40	50
14	Галька	1,7	12	31	50	35
15	Камень	2,1	10	29	30	70
16	Ил	2,3	14	19	25	65
17	Песок	2,6	16	23	45	30
18	Камень	2,2	17	32	35	45
19	Глина	1,8	13	25	60	50
20	Ил	1,7	11	27	45	30

Библиографический список

1. **Гофман, А. Д.** Основы управляемости судна / А. Д. Гофман.- СПб.: 1999-100 с

2. **Инструкция по нормированию габаритов судов и толкаемых составов**. - Г.,ГИИВТ, 1980.-37с.

3. **Наставление по штурманской службе на судах речного флота РФ**. – Л. : Транспорт, 1987. – 147 с.

4. **Руководство Р.006-2004** «Расчет маневренности и проведение натурных маневренных испытаний судов внутреннего и смешанного плавания». – М.: Российский Речной Регистр, 2004 – 38с.

5. **Снопков, В.И.** Управление судном : учеб. для вузов / В.И. Снопков. – 3-е изд. перераб. и доп. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.

6. **Соларев, Н.Ф.** Безопасность маневрирования судов и составов / Н.Ф. Соларев. – М. : Транспорт, 1980. – 215 с.

7. **Управление судами и составами** : учебник для ин-тов водн.тр-та / Н.Ф. Соларев [и др.] ; доп.Управлением кадров и учеб.заведений Минречфлота РСФСР для ин-тов водн.тр-та. – 2-е изд.,перераб. и доп. – М.: Транспорт,1983. – 296 с.

8. **Ходкость и управляемость судов** : учеб. для вузов / под ред. В.Г. Павленко. – М. : Транспорт, 1991. – 387 с.

9. **Клементьев А.Н.** Основы управления судном. Ч.1: учеб. пособие для студ. оч. и заоч. обуч. специальности 180403.65 «Судовождение» / А.Н. Клементьев. – Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. – 142 с.

10. **Клементьев А.Н.** Основы управления судном. Ч.2: учеб. пособие для студ. оч. и заоч. обуч. специальности 180403.65 «Судовождение» / А.Н. Клементьев. – Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2015. – 84 с.

Оглавление

с.

Лабораторная работа №1
«Определение параметров движения судна при действии ветра»……..... 3
Лабораторная работа № 2
«Привально-отвальные маневры судна»…….. 13
Лабораторная работа №3
«Расчет параметров движения судна на повороте реки»….. 19
Лабораторная работы №4
«Определение безопасных параметров движения судов в каналах»…… 23
Лабораторная работа № 5
«Определение безопасности скорости судов при заходе в камеру шлюза»……. 25
Лабораторная работа № 6
«Определение элементов уклонения судов (составов) в зоне гидроузла»……... 26
Лабораторная работа № 7
«Расчет действительной скорости движения судна в канале»……. 28
Лабораторная работа №8
«Определение параметров торможения судна на глубокой воде»…… 30
Лабораторная работа № 9
«Расчет инерционных характеристик судна в канале»……... 32
Лабораторная работа №10
«Крепление груза при плавании в штормовых условиях»…. 35
Лабораторная работа №11
«Плавание в штормовых условиях»……. 45
Лабораторная работа №12
«Буксировка судов морем»…… 50
Лабораторная работа №13
«Определение требуемых усилий для снятия судна с мели» 57
Лабораторная работа №14
«Расчет якорной стоянки судна»…….. 63

с.
Лабораторная работа № 15
«Определение просадки и безопасной скорости движения судов и составов на мелководье»…….. 67
ПРИЛОЖЕНИЯ……..
Библиографический список…… 97