



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

**А.К. Сирота**  
**В.К. Тимофеев**

# **МАНЕВРИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ**

Учебно-методическое пособие  
по написанию и защите курсовой работы  
для курсантов и студентов  
специальности 26.05.05 «Судовождение»  
всех форм обучения

Калининград  
Издательство БГАРФ  
2019

**БГАРФ**

**УДК 656.61.052**

**Сирота А.К., Тимофеев В.К. Маневрирование и управление судном:** учебно-методическое пособие по написанию и защите курсовой работы / А.К. Сирота, В.К. Тимофеев. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2019. – 79 с.

Учебно-методическое пособие по написанию и защите курсовой работы для курсантов и студентов специальности 26.05.05 «Судовождение» всех форм обучения разработано на основе учебного плана подготовки БГАРФ в соответствии с требованиями модельного курса ИМО 7.03 и требованиями таблицы А-II/1 Международного Кодекса «Правила дипломирования моряков и несения вахты» (ПДНВ).

Введение, организационно-методические указания и общее редактирование осуществлено заведующим кафедрой безопасности мореплавания доктором военных наук, профессором Тимофеевым В.К. Задания и тематика курсовых работ, а также методические указания по их выполнению составлены доцентом кафедры безопасности мореплавания, капитаном дальнего плавания, почетным работником рыбной отрасли Калининградской области Сиротой А.К.

Рис. 16, табл. 13, библиогр. – 9 назв., прилож. 7.

Рассмотрено и одобрено кафедрой безопасности мореплавания 29.04.2019 г., протокол № 11.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота.

**Рецензенты:** **Шевцов А.Я.**, капитан морского порта Калининград;  
**Мойсеенко С.С.**, профессор кафедры организации морских перевозок БГАРФ – капитан дальнего плавания, д-р техн. наук, профессор

© БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019

**БГАРФ**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Организационно-методические указания по оформлению и защите курсовой работы.....	5
2. Морская буксировка. Общая теория расчета буксирной линии.....	7
Тема 1(А). Буксировка на волнении (буксирная линия-стальной трос с капроновой вставкой) .....	13
Тема 1(Б). Буксировка на волнении (буксирная линия-стальной трос и якорная цепь) .....	15
Тема 2. Снятие судна с мели .....	17
Тема 3. Расчет якорной стоянки.....	26
Тема 4. Плавание в узкости .....	33
Тема 5. Плавание на мелководье.....	42
Тема 6. Плавание в шторм .....	53
Приложение I. Таблица вариантов заданий.....	67
Приложение II. ТТД РМБ типа «ПОСЬЕТ» (модернизированная).....	68
Приложение III. План по палубе бака и юта РМБ .....	73
Приложение IV. Универсальная диаграмма Ю.В. Ремеза .....	74
Приложение V. Сила ветра по шкале Бофорта .....	75
Приложение VI. Шкала степени волнения моря.....	76
Приложение VII. Образец титульного листа курсовой работы.....	78
3. Список рекомендуемой литературы.....	79

## ВВЕДЕНИЕ

Учебная дисциплина «Маневрирование и управление судном» изучается во всех морских учебных заведениях. При её изучении преследуются следующие цели: освоение основ теории и практики управления судном, процессами принятия решений при маневрировании на ограниченной акватории, а также при проведении различных швартовных операций, на ходу судна и в дрейфе. Дисциплина «Маневрирование и управление судном» является одной из ведущих в общем курсе подготовки судоводителя и традиционно подразделяется на две части – теоретическую и практическую. Формирование компетентности для выполнения функций судовождения и управления операциями судна и забота о людях на судне в соответствии с разделами А-II/1 (уровень эксплуатации) и А-II/2 (уровень управления) Кодекса ПДНВ.

На эту тематику написано и издано несколько пособий. В морском университете им. адмирала Г.И. Невельского (Владивосток) – методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Управление судном» для курсантов 4-го курса Пузачева А.Н. Курсовая работа состоит из 3-х разделов: определение маневренных элементов судна; морская практика и определение момента «последнего маневра».

В государственном морском университете им. адмирала Ф.Ф. Ушакова (Новоросийск) – методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Маневрирование и управление судном» Миронова А.В. и Кириллова С.А. В соответствии с этими методическими указаниями курсовая работа посвящается следующим темам: определение элементов циркуляции судна расчетным способом; расчет инерционных характеристик судна, включающих в себя пассивное торможение, активное торможение и разгон судна при различных режимах движения; расчет увеличения осадки судна при плавании на мелководье и в каналах и составление таблицы маневренных элементов судна на основании результатов расчета (расчетно-графическая часть работы).

Данное учебно-методическое пособие посвящено разработке тем, которые не вошли в вышеназванные труды, но имеют большое значение для безопасности мореплавания при эксплуатации судна в различных условиях. В этом заключается новизна этого пособия.

Курсовая работа состоит из 6-ти основных тем: морская буксировка; снятие судна с мели; расчет якорной стоянки; плавание в узкости; плавание на мелководье и плавание в шторм.



Морская буксировка состоит из: буксировки на волнении с использованием стального троса и капроновой вставки и буксировки на волнении за якорь.

Снятие судна с мели: при помощи машин судна работающих назад; дифферентованием; кренованием; с использованием частичной разгрузки, якорного устройства, других судов; буксировкой рывками. Различные способы, применяемые судами, приведены в оглавлении по темам.

Учебным планом специальности 26.05.05 «Судовождение» предусмотрено выполнение учащимися курсовой работы (КР) при очном обучении в 7-м семестре, при 6-летнем заочном обучении в 11-м семестре, при заочном ускоренном обучении в 7-м семестре. Курсовая работа выполняется с целью закрепления знаний, полученных при изучении теоретического курса.

Настоящее пособие содержит методические указания для курсантов всех видов обучения, выполняющих курсовые работы по учебному предмету «Маневрирование и управление судном», и включает варианты заданий, справочный материал и необходимые пояснения. Конкретные данные задания уточняются преподавателем. В приложениях приведены основные размеры и тактико-технические данные плавбазы типа РМБ «Посъет» с увеличенной осадкой.

Вариант задания для каждого курсанта очного отделения определяет преподаватель, а для заочников последняя цифра номера зачетной книжки.

## **1. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ И ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Курсовую работу необходимо оформлять только на компьютере в соответствии со следующими правилами.

Первой страницей работы является титульный лист, однако, номер страницы на нем не указывается, т. е. нумерация страниц начинается со второго листа. Титульный лист оформляется следующим образом:

– по центру листа заглавными буквами 14 шрифтом Times New Roman – ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ;

– на следующей строке – ФГБОУ ВО «КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», далее – БАЛТИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЫБОПРО-

МЫСЛОВОГО ФЛОТА. Через два пробела прописными буквами – Кафедра безопасности мореплавания. Ниже – КУРСОВАЯ РАБОТА по дисциплине «Управление судном и маневрирование». По правой стороне листа – Выполнил: курсант/студент гр. \_\_\_ Ф.И.О и номер варианта/зачетки, ниже – Проверил: проверил – доцент Сирота А.К. На последней строке по центру пишется: Калининград 20\_\_\_. Образец заполнения титульного листа см. в прил. VII.

Следующий лист курсовой работы – содержание. Слово «Содержание» располагается по центру листа. После заголовка через 2 пробела перечисляются первый, второй и последующие вопросы по темам КР.

Далее оформляются вопросы курсовой работы с автоматическим переносом слов, выполненные 14 шрифтом Times New Roman, абзацный отступ – 12,5 мм, межстрочный интервал – 1,5. Равнение по ширине листа. Рисунки, графики, таблицы, формулы и т. п. подписываются и обозначаются, как указано в учебном пособии Букатого В.М. «Дипломная работа» (Калининград: БГАРФ, 2005). Каждый новый вопрос оформляется на новом листе.

Последняя страница – список использованных источников. Помимо учебников и пособий, указанных в разделе, перечня рекомендованной литературы, необходимо указать веб-сайты, информация с которых была использована в контрольной работе.

Курсовая работа не должна копировать учебник. Работа, оформленная не по указанному стандарту, к защите не принимается.

Защита КР происходит путём заслушивания доклада автора по темам задания и устных ответов на контрольные вопросы по темам, которые приведены в учебно-методическом пособии.

## 2. МОРСКАЯ БУКСИРОВКА. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ РАСЧЕТА БУКСИРНОЙ ЛИНИИ

### Условные обозначения:

- $V$  – скорость движения (буксировки), м/с,  
 $v_{пх}$  – скорость полного хода, м/с,  
 $v_{доп}$  – безопасная (допустимая) скорость буксировки, м/с,  
 $R_б$  – полное сопротивление буксирующего судна, кН;  
 $R_{бf}$  – сопротивление трения буксирующего судна, кН;  
 $R_{бр}$  – остаточное сопротивление буксирующего судна, кН;  
 $R_{б \cdot возд}$  – воздушное сопротивление буксирующего судна, кН;  
 $R_{б \cdot волн}$  – волновое сопротивление буксирующего судна, кН;  
 $R_о$  – полное сопротивление буксируемого судна, кН;  
 $R_{of}$  – сопротивление трения буксируемого судна, кН;  
 $R_{ор}$  – остаточное сопротивление буксируемого судна, кН;  
 $R_{о \cdot возд}$  – воздушное сопротивление буксируемого судна, кН;  
 $R_{о \cdot волн}$  – волновое сопротивление буксируемого судна, кН;  
 $R_{о \cdot винта}$  – сопротивление винта буксируемого судна, кН;  
 $R_{тр}$  – сопротивление буксирного троса, кН;  
 $P_в$  – упор винта буксирующего судна при скорости буксировки, кН;  
 $P_{ш}$  – упор гребного винта на швартовах, кН;  
 $F_з$  – тяга на гаке, кН;  
 $F$  – коэффициент трения;  
 $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>, пресной – 1 000, соленой – 1 025;  
 $\rho_в$  – плотность воздуха, 1,25 кг/м<sup>3</sup>;  
 $C_{возд}$  – коэффициент обтекания, равный от 0,8 при ветре, параллельном диаметральной плоскости, до 1,0 при ветре, дующем под углом примерно 30° к ДП;  
 $A_n$  – проекция надводной поверхности судна на плоскость мидель-шпангоута, м<sup>2</sup>;  
 $U$  – скорость ветра, м/с;  
 $k_{волн}$  – коэффициент волнового сопротивления;  
 $R_{з.в.}$  – сопротивление застопоренного винта, кН;  
 $R_{пр.в.}$  – сопротивление проворачиваемого винта, кН;  
 $A/A_d$  – дисковое отношение винта;  
 $D_в$  – диаметр гребного винта, м;  
 $l_n$  – длина погруженной части буксирного троса, м;  
 $l$  – полная длина буксирного троса, м;

- $d_{тр}$  – диаметр буксирного троса, м;  
 $q$  – линейная плотность буксирного троса в воде, кг/м;  
 $h_m$  – средняя высота закрепления буксирного троса над уровнем моря, м;  
 $P_{раз}$  – разрывное усилие троса, кН;  
 $P_{раб}$  – рабочая нагрузка на трос, кН;  
 $k_{зн}$  – коэффициент запаса прочности;  
 $L$  – длина судна по конструктивной ватерлинии, м;  
 $B$  – ширина судна, м;  
 $d$  – осадка судна, м;  
 $d_n$  – осадка судна носом, м;  
 $d_k$  – осадка судна кормой, м;  
 $d_{ср}$  – средняя осадка судна, м;  
 $d_{мид}$  – осадка судна на миделе, м;  
 $V$  – объемное водоизмещение судна, м<sup>3</sup>;  
 $\Delta$  – массовое водоизмещение судна, т;  
 $S_{вл}$  – площадь ватерлинии, м<sup>2</sup>;  
 $X_f$  – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии, м;  
 $a$  – коэффициент полноты ватерлинии;  
 $\beta$  – коэффициент полноты подводной части мидель-шпангоута;  
 $\delta$  – коэффициент общей полноты;  
 $\Omega$  – площадь смоченной поверхности, м<sup>2</sup>;  
 $h_e$  – высота волны, м.

### Общее задание

Выполняется аварийная буксировка однотипного судна, используются штатные буксирные средства и оборудование. Посадка буксирующего судна выбирается из колонок 2, 3, посадка буксируемого – из колонок 4, 5 вариантов задания (прил. I).

### Общие методические пояснения

Морские буксировки относят к особым случаям морской практики, так как этот вид работы связан с весьма сложным маневрированием при самых разнообразных обстоятельствах.

По назначению буксировки могут быть плановыми и случайными (вынужденными или аварийными). Плановая буксировочная операция готовится заранее, и объект буксировки (несамоходное судно, плавкран, плавдок, буровая платформа и другие плавучие сооружения) оборудуется специальными устройствами и техническими сред-



ствами, а все предварительные расчеты по буксировке и рекомендации капитанам буксирного каравана готовятся специалистами научных учреждений или опытными капитанами.

Морские и океанские буксировки судов и других плавучих сооружений, выполняемые буксирами, осуществляются на буксирных тросах длиной 500-700 м и более, подаваемых с буксирных лебедок или посредством специально составленной буксирной линии. Условия, которые должны выполняться во время дальних морских океанских экспедиционных буксировок, устанавливаются нормативными документами ИМО (см. прил. IV), министерства транспорта и других государственных органов, а также договором на буксировку. В числе основных условий определены сроки буксировочных экспедиций по времени года, типы буксируемых объектов (суда, плавучие доки, плавучие краны), мореходность буксируемых объектов (например, объекты, мореходность которых менее 4 баллов по волнению моря, к буксировкам не принимаются), рекомендованные районы плавания и др.

Особенностью портовой буксировки (кантовки), осуществляемой в портах с использованием буксирных тросов, является малая их длина (50-70 м), а также применение способов работы на упор и лагом, когда корпуса буксира и судна находятся в непосредственном контакте.

Особым видом буксировок является проводка судов во льдах, когда ледокол проводит транспортное судно вплотную, «на усах» или на коротком буксире. Возможны два варианта безопасной буксировки в припайных льдах по ранее проложенному каналу:

- буксировка на коротком буксире при длине буксирной линии, равной длине тормозного пути;
- буксировка на буксире длиной 2-3 м, обеспечивающая управляемость ледокола и отсутствие разрушений конструкций судов в случае их контакта.

Вынужденные буксировки аварийных судов могут выполняться буксирами-спасателями или транспортными судами, находящимися вблизи бедствующего судна. Капитан буксирующего судна на месте принимает решение о способе крепления буксирного троса, его длине, скорости движения каравана и выборе пути следования.

Очень важно, чтобы буксирный трос был удобен при работе (подача, крепление, отдача). Наиболее подходит для этого стальной трос. Якорная цепь из-за большой массы неудобна, особенно на корме буксирующего судна. На буксирных судах применяют синтетические буксирные тросы. Для облегчения работы с тросами и получения до-



статочного большого провеса применяют комбинированные буксирные линии.

Скорость буксировки определяется сопротивлением буксирующего  $R_{\bar{o}}$ , буксируемого  $R_o$  судов, буксирного троса  $R_{mp}$  и упором винта буксировщика  $P$  при заданной скорости буксировки  $v$ .

Суммарное сопротивление должно быть преодолено упором гребного винта буксирующего судна:

$$P_{\text{ш}} = R_{\bar{o}} + R_o + R_{mp}. \quad (1)$$

Разница между упором винта на швартовах и сопротивлением буксирующего судна при уменьшенной скорости движения и есть та сила, которая используется на продвижение буксируемого судна. Эту силу называют тягой на гаке:

$$F_z = P_{\text{ш}} - R_{\bar{o}} = R_o + R_{mp}. \quad (2)$$

Максимальной скоростью при буксировке будет та скорость, при которой сопротивления буксирующего и буксируемого судов в сумме составят силу, равную упору винта  $P_{\text{ш}}$ . Эту скорость легко определить, если построить суммарный график сопротивления буксирующего и буксируемого судов в зависимости от скорости. Расчет производят в следующем порядке:

Находят сопротивление буксирующего судна при различных скоростях одним из методов, применяемых в теории корабля, например:

$$R_{\bar{o}} = R_f + R_{\text{ост}} + R_{\text{возд}} + R_{\text{волн}}. \quad (3)$$

Составляющие сопротивления воды (кН) можно рассчитывать по эмпирическим формулам:

– сопротивление трения

$$R_f = f \times \rho \times \Omega \times v^{1.83} \times 10^{-5}; \quad (4)$$

– остаточное сопротивление

$$R_r = 0,09 \times \delta \times \Delta \times v^4 / L^2, \quad (5)$$

где  $f$  – коэффициент трения, который зависит от длины судна и выбирается из табл. 1.

Таблица 1

### Зависимость коэффициента трения от длины судна

L, м	<i>f</i>	L, м	<i>f</i>	L, м	<i>F</i>	L, м	<i>f</i>
30	0,147	80	0,143	130	0,141	180	0,140
40	0,146	90	0,143	140	0,141	190	0,140
50	0,144	100	0,142	150	0,141	200	0,139
60	0,144	110	0,142	160	0,140	210	0,139
70	0,144	120	0,141	170	0,140	220	0,139

Воздушное сопротивление:

$$R_{возд} = C_{возд} \times (\rho_v / 2) A_n \times (U \pm v)^2 \times 10^{-3}. \quad (6)$$

Сопротивление судна на волнении:

$$R_{волн} = k_{волн} \times (\rho / 2) \times \Omega \times v^2 \times 10^{-3}. \quad (7)$$

$k_{волн}$  – коэффициент волнового сопротивления (табл. 2):

Таблица 2

### Коэффициент волнового сопротивления

Волнение, баллы	$k_{волн}$
1 - 2	(0,1 ± 0,2) 10 <sup>-3</sup>
3 - 4	(0,3 ± 0,4) 10 <sup>-3</sup>
5 - 6	(0,5 ± 0,6) 10 <sup>-3</sup>

Расчет сопротивления буксируемого судна отличается от расчета сопротивления буксирующего дополнительным сопротивлением винта  $R_{винт}$ :

$$R_o = R_{of} + R_{or} + R_{o\,возд} + R_{o\,волн} + R_{o\,винт}. \quad (8)$$

Сопротивление гребного винта можно определить по следующим эмпирическим формулам:

– застопоренного –  $R_{з.в.} = 0.5 (A / A_d) \times D_e^2 \times v^2$ ;

– проворачиваемого –  $R_{пр.в.} = (0.1 \div 0.15) (A / A_d) \times D_e^2 \times v^2$ .

Сопротивление погруженной в воду части буксирного троса:

$$R_{mp} = 0,04 l_n \times d_{mp} \times U, \quad (9)$$

где  $l_n$  – длина погруженной части троса, м:

$$l_n = \sqrt{[l^2 - (80R_o h_m/q)]}. \quad (10)$$

Имея вычисленные сопротивления буксирующего и буксируемого (с учетом сопротивления буксирного троса) судов, составляют таблицу сопротивлений, и по ней строят график сопротивлений в прямоугольной системе координат, который затем применяют для определения скорости буксировки и силы тяги на гаке.

В швартовом режиме (при  $u = 0$ ) сила тяги в кН рассчитывается по формуле

$$P = \frac{k_p}{1-L_p} \rho n^2 D_B^4; \quad L_p = \frac{V_p}{\sqrt{V_p^2 + n^2 D_B^2}}, \quad (11)$$

где  $k_p$  – коэффициент упора винта (выбирается по отношению  $H_s/D_s$  и  $L_p$  на семействе кривых « $+n+V$ » из номограммы (рис. 1));

$n$  – частота вращения винта (рад/сек);

$D_s$  – диаметр винта;

$L_p$  – универсальная поступь винта;

$V_p$  – расчетная скорость обтекания винта водой  
 $[V_p = V_c(1 - \psi)]$  (м/с);

$V_c$  – скорость судна относительно воды (м/с);

$\psi$  – коэффициент попутного потока (для морских судов

$\psi = 0 \div 0,2$ ).

Ориентировочно наибольшая скорость буксировки на тихой воде  $V_{\delta}$  зависит от соотношения сопротивлений буксирующего и буксируемого судов:

$$V_{\delta} = V_{nx} \sqrt{[R_{\delta}/(R_{\delta} + R_o)]}, \quad \text{м/с}, \quad (12)$$

где  $V_{nx}$  – скорость полного хода буксировщика, м/с.

Предполагается, что сопротивления судов  $R_o$  и  $R_{\delta}$  предварительно определены для одинаковой скорости  $v$ .

Поскольку штатные буксирные тросы на судах имеют определенную разрывную нагрузку  $P_{разр}$ , необходимо назначить такую скорость буксировки, при которой тяга на гаке была бы не более расчетной рабочей нагрузки  $P_{раб}$  буксирного троса. Правилами Регистра морского судоходства РФ введен коэффициент запаса прочности

$k_{зжс} = 5$  при  $R_0 < 100$  кН и  $k_{зжс} = 3$  при  $R_0 > 300$  кН (промежуточные значения  $k_{зн}$  находят линейной интерполяцией).

Академик А.Н. Крылов рекомендовал проверять буксирную линию на конечную нагрузку, равную половине ее разрывной нагрузки, т. е. предлагал коэффициент запаса прочности, равный двум, для нагрузок, возникающих при плавании на взволнованном море.

Таким образом, допустимая тяга на гаке  $P_{дон} = P_{разр}/k_{з.н.}$ , кН, а безопасная (допустимая) скорость буксировки  $v_{дон} = v_б \sqrt{(P_{дон}/F_2)}$ , уз.

Расчет величины расхождения судов в продольном направлении выполняется по формулам расчета цепной линии. Если примем за параметр цепной линии величину «а» как отношение горизонтальной составляющей натяжения буксирного троса к весу 1 м буксирного троса, получим

$$a = Ro/(q \times g), \text{ м.} \quad (13)$$

При большом натяжении буксирного троса цепная линия приобретает форму параболы и тогда стрелку провеса  $f_{np}$  и расстояние между местами крепления буксирного троса  $x$  можно определить из простых формул:

$$f_{np} = l_1^2 / (2a), \text{ м;} \quad x = l_1 (1 - f_{np} / 3a), \text{ м,} \quad (14)$$

где  $f_{np}$  – провес буксирной линии, м;

$l_1$  – половина длины буксирного троса, м;

$x$  – половина расстояния между судами, м.

Приведенные выше формулы позволяют капитану при случайных буксировках рассчитать с достаточной для практических целей точностью размеры буксирного троса (длину и толщину) и безопасную скорость буксировки.

### **ТЕМА 1(А). Буксировка на волнении (буксирная линия-стальной трос с капроновой вставкой)**

**Цель:** расчет буксирной линии, состоящей из стального троса и капроновой вставки.

#### **Задание**

Буксирная линия составлена из штатного буксирного троса, закрепленного за два 120-метровых швартовных троса буксируемого

судна. Посадка буксирующего судна выбирается из колонок 2, 3, посадка буксируемого – из колонок 4, 5 вариантов задания (прил. I):

1. Описать подготовку судна к буксировке. Перечислить способы крепления буксирных канатов.

2. Описать и вычертить схемы (вид сбоку и вид сверху) огней и знаков, которые, согласно МППСС, выставляют суда, занятые буксировкой (секторы, дальность видимости).

3. Рассчитать сопротивление движению судов в зависимости от скорости, вычертить графики сопротивления буксирующего и буксируемого судов, а также суммарное.

4. Рассчитать упор гребного винта при скорости полного переднего хода (ходовой режим) и по нему найти скорость буксировки и тягу на гаке.

5. Определить возможную максимальную скорость буксировки судна в открытом море при воздействии встречного ветра 10 м/с, создающего волнение 4 балла, высота волны 4 метра.

6. Выполнить расчет буксировки при высоте волны 6 метров с двукратным запасом прочности буксирного троса.

7. Вычертить график зависимости упругого удлинения швартовых тросов от скорости буксировки (сопротивления буксируемого судна).

8. Вычертить схему крепления и соединения буксирной линии.

### **Методические пояснения**

Буксирные линии всех типов надо рассматривать с точки зрения того, насколько они удовлетворяют требованию обеспечения свободного орбитального движения судов при плавании на волнении, т. е. при морской буксировке необходимо подбирать буксирную линию так, чтобы расстояние между судами могло изменяться на значение, равное высоте волны  $h_w$ . При этом в буксирных канатах не должно возникать напряжений, превышающих их прочность.

Длину составной комбинированной буксирной линии определяют, исходя из условий безопасного расстояния между буксирующим и буксируемым судами. Увеличение расстояния между судами при буксировке может быть достигнуто упругой деформацией. Упругое удлинение стальных тросов порядка 1 % и на практике при определении длины буксирной линии не учитывается, а принимается в запас, необходимый для компенсации случайных рывков.

Введение в буксирную линию синтетического троса с упругостью, значительно большей, чем упругость стального троса, делает



такую комбинацию приемлемой. Преимущество этого метода в том, что при сравнительно небольшой стреле провеса обеспечивается хорошее упругое удлинение. Нет необходимости укорачивать буксирную линию при прохождении по небольшим глубинам.

Введение в буксирную линию автоматической лебедки удовлетворяет основному требованию морской буксировки по обеспечению свободного орбитального движения судов при плавании на волнении. Имея тягу, равную упору винта, буксирная лебедка в случае превышения на буксирном тросе предусмотренного усилия начинает травить буксирный трос и, наоборот, когда усилие уменьшается, выбирает его слабины.

Синтетические тросы имеют упругое удлинение перед разрывом от 30 до 50 %. При буксировке расчетное усилие, растягивающее трос, не должно превышать 1/3-1/5 разрывного усилия троса. В таких условиях упругое удлинение синтетического троса можно определить:

$$\Delta l = l \sqrt{(R_o / (a \times P_{\text{разр.}}))}, \text{ м}, \quad (15)$$

где  $a$  – коэффициент, равный:

2,6 – для крученого троса из полиамида;

3,5 – для плетеного восьмипрядного троса из полиамида;

8,0 – для крученого троса из полипропилена или полиэфира;

11,0 – для плетеных тросов из того же материала.

### **ТЕМА 1(Б). Буксировка на волнении (буксирная линия-стальной трос и якорная цепь)**

**Цель:** *расчет буксирной линии, состоящей из стального троса, закрепленного за якорь буксируемого судна.*

#### **Задание**

Буксирная линия составлена из штатного буксирного троса, закрепленного за якорь буксируемого судна, вытравлено за борт 2 смычки якорной цепи. Посадка буксирующего судна выбирается из колонок 2, 3, посадка буксируемого – из колонок 4, 5 вариантов задания (прил. I):

1. Описать подготовку судна к буксировке. Перечислить способы крепления буксирных канатов.

2. Описать и вычертить схемы (вид сбоку и вид сверху) огней и знаков, которые, согласно МППСС, выставляют суда, занятые буксировкой (секторы, дальность видимости).

3. Рассчитать сопротивление движению судов в зависимости от скорости, вычертить графики сопротивления буксирующего и буксируемого судов, а также суммарное.

4. Рассчитать упор гребного винта при скорости полного переднего хода (ходовой режим) и по нему найти скорость буксировки и тягу на гаке.

5. Определить возможную максимальную скорость буксировки судна в открытом море при воздействии встречного ветра 12 м/с, создающего волнение 4 балла, высота волны 5 метров. Определить стрелку провиса буксирного троса.

6. Выполнить расчет буксировки при высоте волны 6 метров с двукратным запасом прочности буксирного троса.

7. Вычертить график зависимости глубины погружения якоря от скорости буксировки (сопротивления буксируемого судна).

8. Вычертить схему крепления и соединения элементов буксирной линии.

### **Методические пояснения**

Увеличение расстояния между судами при буксировке на волнении достигается за счет распрямления линии и определяется величиной ее провеса. В свою очередь, провес линии пропорционален массе троса и, следовательно, чем длиннее линия (или чем она тяжелее), тем большее расхождение между судами может быть обеспечено. На практике утяжеление линии получают путем комбинирования стального буксирного троса с вытравленной якорной цепью.

Весьма распространен метод, при котором буксирный трос прикреплен к якорной цепи и несколько смычек вытравлено за борт. Его преимущества заключаются в следующем: буксирный канат удобно крепится на буксируемом судне; можно и удлинить, и укоротить буксирную линию; тяжелый участок цепи дает сравнительно большую стрелу провеса, которую можно увеличить, не отклепывая от цепи якоря, а закрепив за его скобу буксирный трос и стравив якорную цепь вместе с якорем.

Буксирная линия из якорной цепи, якоря и стального троса, используемая при буксировке аварийного судна, может быть принята как линия, состоящая из двух прямых участков – якорной цепи и троса. При длине вытравленной якорной цепи не более 2-3 смычек, как

это делают обычно на практике, и при большой массе якоря, равной примерно массе двух смычек якорной цепи, такое допущение вполне приемлемо для практических расчетов. При ухудшении погоды, когда на буксируемом судне увеличивают длину вытравленной цепи, форма буксирной линии существенно не изменится и участки якорной цепи и троса по-прежнему можно принимать за линии, близкие к прямым.

Из двух искомых величин  $2x$  и  $f$ , которые рассчитывались в предыдущих примерах симметричных и несимметричных буксирных линий с помощью довольно громоздких формул, легко определяется простейшим геометрическим построением величина провеса  $f_{np}$ . Она является высотой треугольника, все стороны которого известны: длина вытравленных участков цепи и троса и горизонтальная проекция этих участков.

Работу можно выполнять по методике, изложенной в главе 9 учебника «Управление судном» под общ. ред. В.И. Снопкова (СПб.: «Профессионал», 2004).

## ТЕМА 2. Снятие судна с мели

**Цель работы:** *изучение условий, выполнение расчетов, необходимых для снятия судна с мели собственными силами или дополнительными средствами.*

### Задание

Судно село на мель. Волнение ветровое, его направление совпадает с направлением ветра. Из таблицы вариантов заданий (приложение 1) выбрать данные:

- осадка до посадки на мель – колонки 2 и 3;
- осадка после посадки на мель – колонки 4 и 5;
- курс судна – колонка 6;
- действующий ветер – колонка 7;
- высота волны – колонка 8;
- грунт – колонка 12.

1. Дать определения живучести судна, непотопляемости судна, коэффициента проницаемости помещения, палубы переборок, аварийной ватерлинии.

2. Изучить сигналы, подаваемые судном на мели, днем, ночью и в тумане согласно МППСС. Вычертить схемы (вид сверху и сбоку) расположения огней и знаков (секторы, дальность видимости и т. п.).

3. Изучить судовое аварийное имущество. Записать в курсовой работе список материалов, используемых для заделки пробоин.

4. Рассчитать нагрузку судна на грунт с учетом волнового и ветрового воздействия. Рассчитать необходимое усилие для снятия судна с мели.

5. Рассчитать стягивающее усилие главного двигателя при его работе на задний ход.

6. Обосновать расчетами варианты снятия судна с мели собственными силами.

### Методические пояснения

Ручным лотом измеряется глубина вдоль борта судна и определяется характер грунта. При возможности спускается шлюпка и производится промер глубин в окрестностях судна через каждые 10-15 м. Данные наносятся на планшет глубин, на котором в масштабе изображается вертикальная проекция корпуса судна. Снимается осадка носом, кормой и по миделю судна с обоих бортов. Определяют место соприкосновения корпуса с грунтом сравнением глубин у борта судна с осадками в определенных точках корпуса по обоим бортам.

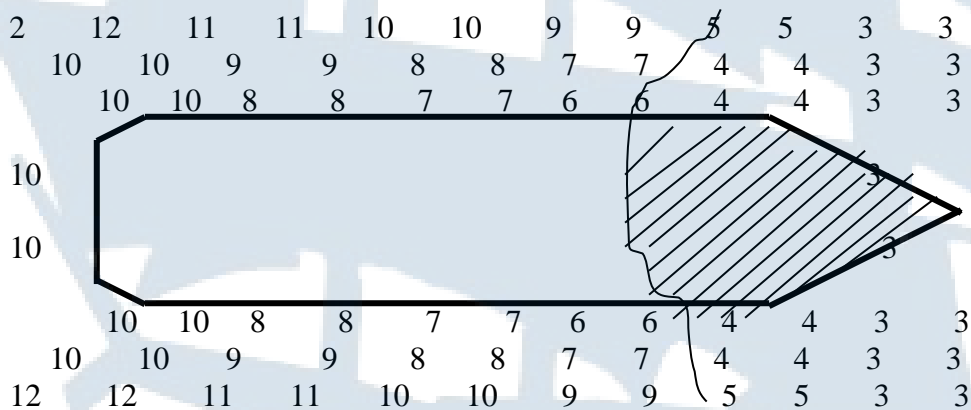


Рис. 1. Планшет глубин

Для определения места касания грунта можно использовать заведенные с носа и кормы подкильные концы. Рассчитывается осадка судна до посадки на мель с учетом израсходованных в рейсе топлива, воды и различных запасов.



### **Силы, действующие на судно, сидящее на мели**

*Реакция грунта* (сила давления судна на грунт).

$$R = g \cdot \Delta D [кН], \quad (16)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения. При повреждении корпуса и поступлении воды внутрь судна сила реакции грунта увеличивается на величину веса влившейся воды;

$\Delta D$  – величина потерянного водоизмещения. При посадке на мель уменьшается осадка судна, т. е. происходит как бы потеря его водоизмещения, которая приводит к нарушению равновесия между весом судна и силами поддержания воды.  $\Delta D$  определяется

$$\Delta D = q(T_{cp} - T'_{cp}), \quad (17)$$

где  $q$  – число тонн на 1 м осадки (определяется по грузовой шкале с учетом плотности воды);

$T_{cp}$  – средняя осадка до посадки на мель:

$$T_{cp} = (T_n + T_k) / 2, \quad (18)$$

где  $T_n, T_k$  – осадки носом и кормой до посадки на мель;

$T'_{cp}$  – средняя осадка после посадки на мель:

$$T'_{cp} = (T'_n + T'_k) / 2, \quad (19)$$

где  $T'_n$  и  $T'_k$  – осадки носом и кормой, снятые после посадки на мель.

*Сила присасывания грунта* – частицы грунта прилипают к корпусу, создавая эффект присасывания тем больший, чем большей вязкостью обладает грунт. Наибольшее присасывание наблюдается у вязкой глины.

*Сила ударов волн* – при длительном воздействии приводит к разрушению корпуса. При снятии с мели, как правило, оказывает положительное влияние – раскачивая корпус и тем самым уменьшая силу присасывания и силу трения корпуса о грунт.

*Сила давления ветра* – в зависимости от направления ветра увеличивает или уменьшает тяговое усилие, необходимое для снятия судна с мели.



## Снятие с мели работой машины на задний ход

Прежде всего, необходимо:

– определить стягивающее усилие  $F$ , необходимое для снятия с мели:

$$F = fR, \quad (20)$$

где  $f$  – коэффициент трения корпуса о грунт (зависит от характера грунта и выбирается из таблиц). Если характер грунта неизвестен, то  $f$  принимается равным 0,5;

– определить силу тяги винта на задний ход  $P_{зх}$  из паспортной диаграммы тяги или расчетными методами. Если стягивающее усилие соизмеримо с силой тяги винта, то съёмка с мели *возможна работой машины на задний ход*. В противном случае необходимо использовать один из методов уменьшения силы реакции грунта: *дифферентование, кренование, частичная разгрузка*.

## Снятие с мели дифферентованием

*Дифферентование* – используется при посадке судна на отдельную банку небольших размеров, когда место касания грунта расположено в оконечностях судна, а под остальной частью киля имеется достаточный запас глубин. Наиболее простым способом изменения дифферента является перекачка балласта или топлива из района посадки в противоположную оконечность.

Первоначально определяется величина потери осадки  $AB$  в месте соприкосновения с грунтом (см. рис. 2):

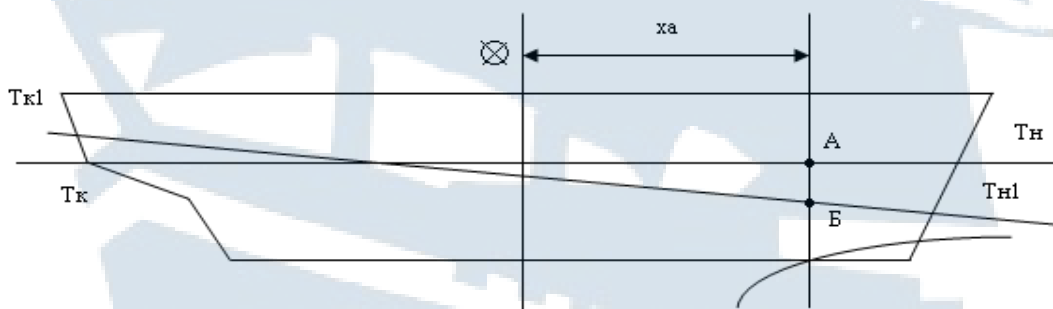


Рис. 2. Схема посадки судна на мель

$$AB = \Delta T_k + (\Delta T_n - \Delta T_k) \left( \frac{1}{2} + \frac{xa}{L} \right), \quad (21)$$

где  $\Delta T_n = T_n - T_{n1}$ ;

$\Delta T_k = T_k - T_{k1}$ ;

$xa$  – абсцисса внешней кромки банки;

$L$  – длина судна между перпендикулярами;

$T_n, T_{n1}$  – осадка носом до и после посадки на мель;

$T_k, T_{k1}$  – осадка кормой до и после посадки на мель.

У судна, находящегося на плаву с осадкой  $T_n$  и  $T_k$ , в результате продольного перемещения груза массой  $P$ , центр тяжести которого располагается в точке с абсциссой  $x_1$ , в точку с абсциссой  $x_2$  изменения осадок носом  $\Delta T'_n$  и кормой  $\Delta T'_k$  составят:

$$\Delta T'_n = \frac{P(x_2 - x_1)L}{2DH},$$

$$\Delta T'_k = -\frac{P(x_2 - x_1)L}{2DH}, \quad (22)$$

где  $D$  – водоизмещение при средней осадке, которую судно имело до посадки на мель;

$H$  – продольная метацентрическая высота;

$L$  – длина судна между перпендикулярами.

Далее с учетом полученных значений  $\Delta T'_n$  и  $\Delta T'_k$  определяется величина  $ab$  уменьшения осадки в месте касания грунта (см. рис. 3).

$$ab = \Delta T'_k + (\Delta T'_n - \Delta T'_k) \left( \frac{1}{2} + \frac{xa}{L} \right). \quad (23)$$

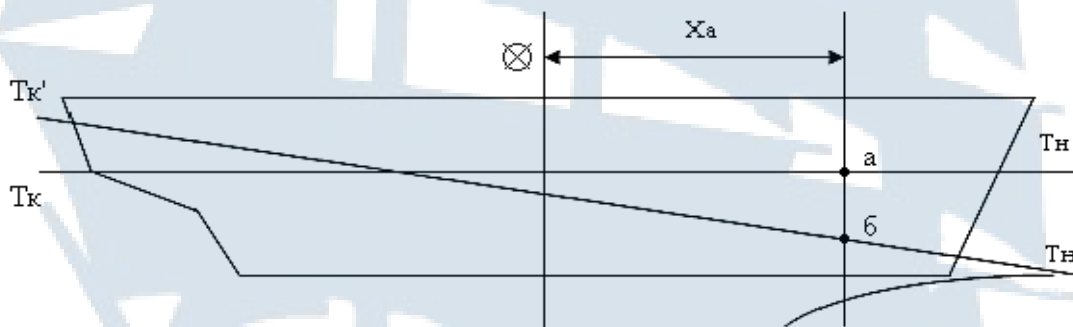


Рис. 3. Схема изменения посадки судна при дифферентовке

Если  $ab > AB$ , то судно после дифферентовки оказывается на плаву. В противном случае уменьшается значение силы реакции грунта. Новое значение силы реакции грунта после дифферентовки  $R_d$  можно примерно оценить по следующей формуле:

$$R_d = R \cdot (AB - ab) / AB. \quad (24)$$

При приемке или снятии груза на судне, находящемся на плаву, для расчета изменения осадок носом и кормой используются нижеприведенные формулы:

$$\Delta T_n = P(xL/2DH - 1/q); \quad (25)$$

$$\Delta T_k = -P(xL/2DH + 1/q), \quad (26)$$

где  $x$  – абсцисса центра тяжести груза.

При снятии груза его масса  $P$  вводится со знаком (+), а водоизмещение судна уменьшается на величину снятого груза и, наоборот, при приеме груза его масса вводится со знаком (-), а водоизмещение судна увеличивается на величину принятого груза.

### **Снятие с мели кренованием**

**Кренование** – применяется, когда судно село на мель одним бортом, а со стороны другого борта имеются достаточные глубины. Креновать судно можно перекачкой топлива, балласта или перемещением груза с борта, находящегося на мели на другой борт до тех пор, пока главная палуба не войдет в воду.

В результате поперечного перемещения груза массой  $P$ , центр тяжести которого располагается в точке с ординатой  $Y1$ , в точку с ординатой  $Y2$  изменения осадок бортов при креновании  $\Delta T'_{кр}$  составят:

$$\Delta T'_{кр} = \pm \frac{P(y_2 - y_1)B}{2Dh}, \quad (27)$$

где  $D$  – водоизмещение при средней осадке, которую судно имело до посадки на мель;

$h$  – поперечная метацентрическая высота;

$B$  – ширина судна.

Величина  $\Delta T'_{кр}$  будет отрицательной для борта, находящегося на мели, и положительной – для борта, находящегося на плаву. Дальнейшие действия аналогичны дифферентовке судна.

### **Снятие с мели с использованием частичной разгрузки**

**Частичная разгрузка судна** применяется при посадке на мель всем корпусом и когда дифферентовка и кренование судна не дают положительных результатов. Разгрузка является наиболее эффективной, а иногда и единственной мерой самостоятельного снятия судна с мели и чаще всего связана с потерей части груза. Поэтому, принимая решение о частичной разгрузке, необходимо учитывать насколько велика опасность гибели судна, если на получение помощи в ближайшее время нельзя рассчитывать.

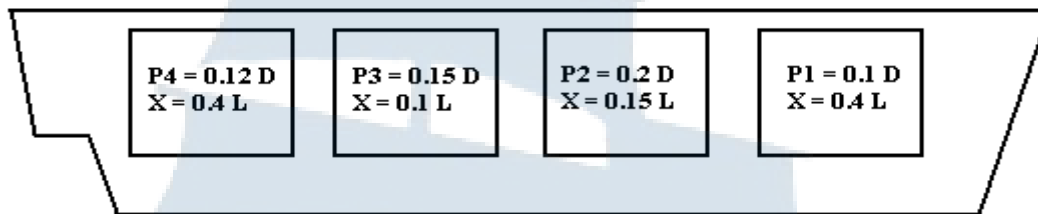


Рис. 4. Каргоплан судна

При частичной разгрузке определяется масса груза  $P$ , подлежащего выгрузке, с тем чтобы судно могло самостоятельно сняться с мели работой машины на задний ход

$$P = \frac{F - P_{zx}}{fg}, \quad (28)$$

где  $P_{zx} = 0.5P_{mx}$ .

При этом абсцисса и ордината центра тяжести снимаемого груза должна совпадать или быть близка к абсциссе ( $x_R$ ) и ординате ( $y_R$ ) равнодействующей силы реакции грунта.

$$x_R = \frac{DH}{\Delta DL} (\Delta T_H - \Delta T_K),$$

$$y_R = \frac{Dh}{\Delta D} \sin \Theta_{кр}. \quad (29)$$

При снятии грузов, расположенных в различных местах, координаты их общего центра тяжести определяются из выражений

$$X = (p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n) / (p_1 + p_2 + \dots + p_n), \quad (30)$$

$$Y = (p_1 y_1 + p_2 y_2 + \dots + p_n y_n) / (p_1 + p_2 + \dots + p_n), \quad (31)$$

где  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – массы отдельных грузов;

$x_n, y_n$  – их координаты.

**Примечание:** при проведении перечисленных выше операций необходимо осуществлять контроль за изменением метацентрической высоты.

При снятии с судна водоизмещением  $D$  и осадкой  $T_{cp}$  груза массой  $P_{сн}$  с точки ( $X_{сн}, Z_{сн}$ ) величина поперечной метацентрической высоты  $h_1$  определится как

$$h_1 = h - \frac{P_{сн}}{D - P_{сн}} \left( T_{cp} - \frac{\Delta T_{cp}}{2} - h - Z_{сн} \right), \quad (32)$$

где  $h$  – начальная метацентрическая высота, м;

$$\Delta T_{cp} = P_{сн} / q. \quad (33)$$

## Использование якорного устройства при снятии с мели

Для создания дополнительного стягивающего усилия и уменьшения давления корпуса на грунт при посадке на мель носовой оконечностью судна можно использовать якорное устройство. Становые якоря при помощи грузовых стрел или кранов заводятся как можно дальше в корму. Во время снятия с мели сила тяги брашпиля дополняет силу тяги винта на задний ход. Завозка на шлюпках стоп-анкеров и верпов, особенно на современных крупнотоннажных судах, обычно не дает положительных результатов.

## Якорное снабжение морских судов

Масса каждого станового якоря в кг должна быть не менее:

$$Q = kN_c, \quad (35)$$

где  $k$  – коэффициент, равный 3.0; 2.75; 2.50 и 2.00 соответственно для судов неограниченного района плавания, ограниченных районов плавания I, II и III.

Суммарная длина обеих цепей в м для становых якорей определяется в виде

$$l_2 = 87r^4\sqrt{N_c}, \quad (36)$$

где  $r$  – коэффициент, равный 1.00; 0.88; 0.76 и 0.64 соответственно для судов неограниченного района плавания, ограниченных районов плавания I, II и III.

Полученное по формуле значение длины цепи должно быть округлено до ближайшего целого числа смычек и должно быть не менее 200 м для судов неограниченного района плавания. Калибр цепей (мм)

$$d = st\sqrt{N_c}, \quad (37)$$

где  $s$  – коэффициент, равный 1.00; 0.94; 0.88 и 0.82 соответственно для судов неограниченного района плавания, ограниченных районов плавания I, II и III;

$t$  – коэффициент, равный 1.75; 1.55; 1.35 соответственно для цепей обыкновенной, повышенной и особой прочности.

## Снятие с мели с помощью других судов

**Буксировка** – наиболее часто используется для снятия судна с мели с посторонней помощью. Рассчитывается необходимое стягива-



ющее усилие и, если оно соизмеримо с суммарной силой тяги винтов судов-спасателей, то снятие с мели возможно буксировкой. При возможности, машина аварийного судна должна работать на задний ход: при этом кроме создания дополнительного стягивающего усилия, из-за вибрации уменьшается присасывание корпуса к грунту и уменьшается коэффициент трения корпуса о грунт.

Типичная схема буксировки при стягивании судна с мели приведена на рис. 5.

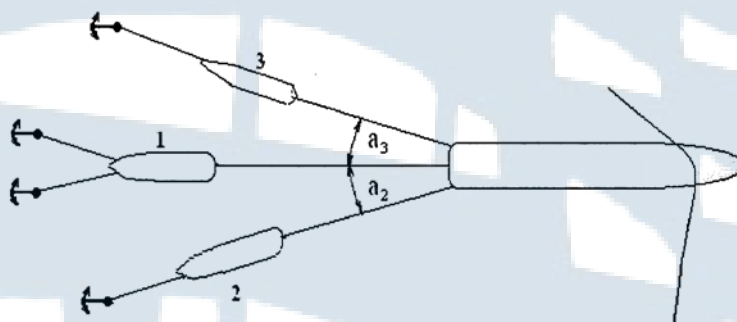


Рис. 5. Схема расположения судов-спасателей при снятии аварийного судна с мели

При такой расстановке стягивающее усилие  $F$  определяется:

$$F = (P_1 + P_{я1}) + (P_2 + P_{я2}) \cos \alpha_2 + (P_3 + P_{я3}) \cos \alpha_3 + P_{зх}, \quad (34)$$

где  $P_1, P_2, P_3, P_{зх}$  – силы тяги винтов судов;  
 $P_{я1}, P_{я2}, P_{я3}$  – силы тяги, создаваемые якорными устройствами судов-спасателей.

### Снятие с мели буксировкой рывками

**Буксировка рывками** используется, когда стягивающее усилие недостаточно для снятия аварийного судна с мели. При рывке возникают силы инерции, которые могут многократно превысить разрывную прочность буксирного троса. Чтобы этого не произошло, необходимо рассчитать допустимую скорость буксировщика к моменту начала рывка.

Во время разгона до скорости  $V$  буксировщик, водоизмещением  $D$ , накапливает кинетическую энергию  $E_k$

$$E_k = \frac{DV^2}{2}, \quad (38)$$

которая переходит в потенциальную энергию упругой деформации буксирного троса  $E_p$

$$E_n = \frac{l_m P_{раз}^2}{8d^2 \varepsilon}, \quad (39)$$

где  $l_m$  – длина буксирного троса;  
 $P_{раз}$  – разрывное усилие троса;  
 $d$  – диаметр троса;  
 $\varepsilon$  – упругость троса ( $\varepsilon = 37 \text{ кН/мм}^2$ ).

Приравнявая  $E_k$  и  $E_n$ , находится допустимая скорость буксировщика, при которой усилия в буксирном тросе не превышают половины его разрывного усилия:

$$V = \frac{P_{раз}}{2} \sqrt{\frac{l_m}{Dd^2 \varepsilon}}. \quad (40)$$

Работу можно выполнять по методике, изложенной в главе 10 учебника «Управление судном» под общ. ред. В.И. Снопкова (СПб.: «Профессионал», 2004).

### ТЕМА 3. Расчет якорной стоянки

**Цель работы:** изучение условий, выполнение расчетов, необходимых для постановки судна на якорь, обеспечения безопасной якорной стоянки и съёмка с якоря.

#### Задание

1. Дать описание якорей, которые должны быть на вашем судне согласно требованиям правил Регистра морского судоходства.
2. Изучить сигналы, подаваемые судном на якорю, днем, ночью и в тумане, согласно МППСС. Вычертить схемы (вид сверху и сбоку) расположения огней и знаков.
3. Пояснить, что означает «характеристика снабжения судна», и как рассчитывается ее значение для вашего судна (см. правила Регистра морского судоходства).
4. Рассчитать силы, действующие на судно во время максимального прилива и отлива, а также во время стоячей воды, ориентировочный курс судна в это время. Выбрать данные из таблицы вариантов заданий (приложение 1).
5. Осадка судна – колонки 2 и 3, глубина моря – колонка 9, грунт – колонка 12, преобладающий ветер – колонка 7, приливо-отливные течения полусуточные, правильные: отливное направлено на запад, максимальная скорость 2 узла, приливное – на восток, максимальная

скорость 1,5 узла. Изменение глубины под килем из-за приливо-отливных явлений не учитывать.

6. Определить количество смычек якорной цепи, которое необходимо вытравить в воду для обеспечения безопасной якорной стоянки в течение нескольких суток.

7. Рассчитать длину якорной цепи, которая будет лежать на грунте во время стоячей воды, максимального приливного и отливного течения.

8. Вычертить в соответствующем масштабе план стоянки судна на якорю и окружность, внутри которой будет находиться судно в любой момент времени.

9. Указать, при каких условиях необходимо потравливать якорь-цепь или отдавать второй якорь. Сигнализация колоколом при постановке и съёмке с якоря.

### Методические пояснения

#### *Держащая сила якорного устройства*

Держащая сила якорного устройства ( $T$ ) зависит от типа якоря, характера грунта и длины вытравленной якорной цепи. Она складывается из держащей силы якоря и держащей силы участка якорной цепи, лежащей на грунте,

$$T = kP_{\text{як}} + fP_{\text{яц}}, \quad (41)$$

где  $k$  – коэффициент держащей силы якоря (зависит от типа якоря и характера грунта; для якоря Холла  $k \cong 2$  для большинства грунтов);

$P_{\text{як}}$  – вес якоря в воде;

$f$  – коэффициент трения цепи о грунт ( $f \cong 0,3$  для большинства грунтов);

$P_{\text{яц}}$  – вес якорной цепи, лежащей на грунте,

$$P_{\text{яц}} = pl; \quad (42)$$

$P$  – вес одного метра якорной цепи в воде

$$p \approx 0.18rd^2; \quad (43)$$

$L$  – длина якорной цепи, лежащей на грунте;

$d$  – калибр цепи (мм).

Наибольшей держащей силой якорь обладает, когда его веретено лежит на грунте (поднятие веретена над грунтом на  $15^\circ$  вдвое уменьшает держащую силу якоря). Поэтому для обеспечения наибольшей

державшей силы якоря длина вытравленной якорной цепи должна быть такой, чтобы в любых условиях веретено лежало на грунте.

### **Силы, действующие на судно, стоящее на якорю**

На судно действуют следующие силы:

– сила давления ветра  $F_a$

$$F_a \approx 0.8W_B^2 S_x, \quad (44)$$

где  $W_B$  – скорость ветра;

$S_x$  – лобовая площадь парусности.

– сила давления течения  $F_m$

$$F_T \approx 60V_T^2 S_m, \quad (45)$$

где  $V_m$  – скорость течения;

$S_m$  – площадь подводной части миделя.

– инерционные силы от волнения  $F_e$ . Возникают за счет участия судна в орбитальном движении частиц воды на волнении.

– инерционные силы, возникающие при рыскании судна  $F_p$ .

**Рыскание** – это колебательные движения судна относительно линии ветра. Появление рыскания вызвано тем, что якорные клюзы расположены вне его диаметральной плоскости. В результате этого силы давления ветра и натяжения якорной цепи ( $T$ ) будут приложены в различных вертикальных плоскостях и создают момент, стремящийся развернуть судно на угол  $q$  таким образом, чтобы силы  $F_a$  и  $T$  стали в одной вертикальной плоскости (рис. 6). При появлении угла  $q$  корпус судна начинает работать как крыло: появляется подъемная сила  $R_{под}$  и дополнительная сила лобового сопротивления  $R_{лоб}$  за счет увеличения площади парусности, под влиянием которых центр тяжести судна начинает перемещаться по траектории, близкой к изогнутой восьмерке. В положении 2 сила натяжения якорной цепи превысит сумму сил  $R_{под}$  и  $R_{лоб}$  и судно рывком перейдет в положение 3. При этом угол  $q$  по отношению к ветру изменит свой знак на противоположный, подъемная сила станет действовать в противоположном направлении и судно начнет движение в обратную сторону. Под влиянием развившихся инерционных сил судно перейдет в среднее положение, совершая непрерывное колебательное движение относительно линии ветра.

Судно не будет дрейфовать, если горизонтальная составляющая равнодействующей указанных выше сил уравнивается держащей силой якорного устройства

$$F_a + F_m + F_B + F_p \leq T. \quad (46)$$

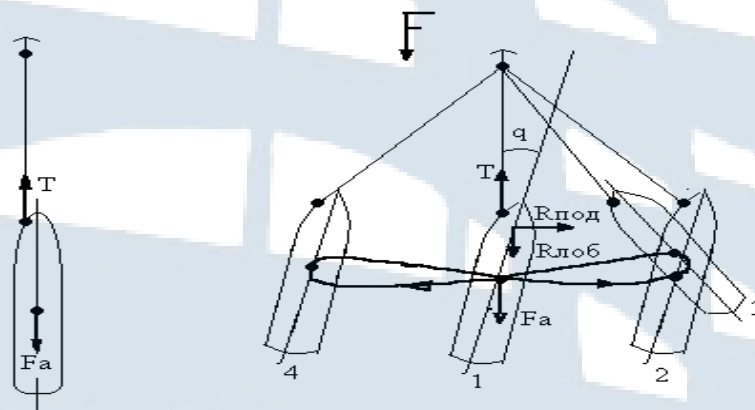


Рис. 6. Траектория движения судна на якорю под действием ветра

Расчет якорной стоянки состоит из решения двух задач: вычислений необходимой длины вытравленной якорной цепи и радиуса сектора, в котором будет перемещаться судно при изменении направления ветра и течения.

**Расчет необходимой длины вытравленной якорной цепи**

Якорная цепь провисает по цепной линии, вершина которой для обеспечения максимальной держащей силы якоря (веретено якоря лежит на грунте) должна находиться в точке крепления якорной цепи к якорю.

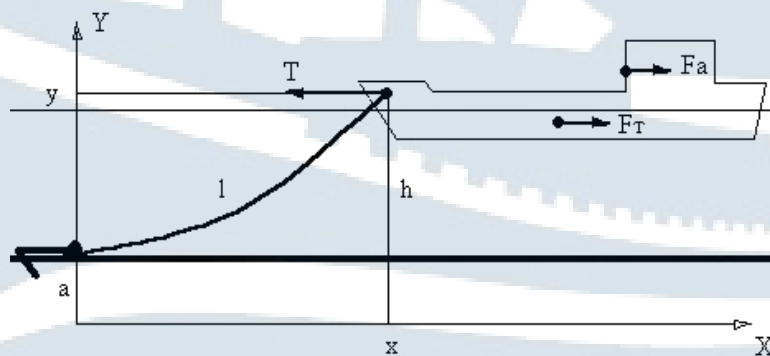


Рис. 7. Схема сил, действующих на судно, стоящее на якорю



**Уравнения цепной линии:**

$$l = a \cdot sh \frac{x}{a}, \quad (47)$$

$$y = a + h \equiv a \cdot ch \frac{x}{a}, \quad (48)$$

где  $a$  – параметр цепной линии

$$a = T/p. \quad (49)$$

В приведенных выше формулах использованы следующие обозначения:

- $x, y$  – координаты клюза;
- $h$  – отстояние клюза от грунта;
- $T = Fa + Ft$  – продольная составляющая натяжения якорной цепи;
- $p$  – вес одного метра якорной цепи в воде;
- $l$  – минимальная длина вытравленной якорной цепи.

Для определения  $l$  возведем обе части уравнений цепной линии (47 и 48) в квадрат и из полученного нижнего уравнения (48) вычтем верхнее (47)

$$a^2 + 2ah + h^2 - l^2 = a^2 \left( ch^2 \frac{x}{a} - sh^2 \frac{x}{a} \right). \quad (50)$$

Учитывая, что выражение в скобках равно единице

$$l = h \sqrt{\frac{2a}{h} + 1} = h \sqrt{\frac{2T}{hp} + 1} = h \sqrt{\frac{2(Fa + Ft)}{hp} + 1}. \quad (51)$$

Полученные формулы основаны на предположении об отсутствии волнения и рыскания судна. Для исключения снижения держащей силы якоря, за счет рывков при волнении и рыскании судна, длина вытравленной якорной цепи должна быть увеличена так, чтобы часть ее, при средних значениях внешней силы, лежала на грунте.

Для компенсации орбитального движения судна при волнении длина дополнительно вытравленной якорной цепи  $\Delta l_v$  должна составлять от 5 до 10 м, в зависимости от высоты волны.

Инерционные силы от рыскания учитываются при помощи коэффициента динамичности  $k_D$ , где  $\Delta l_p$  – дополнительно вытравленная длина якорной цепи для компенсации инерционных сил от рыскания.

$$l + \Delta l_p = h \sqrt{\frac{2(Fa + Ft)k_D}{hp} + 1}. \quad (52)$$

Значение коэффициента динамичности принимается равным от 1,4 до 1,7 в зависимости от типа судна и условий стоянки. Величина  $k_d$  принимается большей для судов в балласте, особенно имеющих дифферент на корму, для судов, у которых центр парусности смещен в нос, и при увеличении силы ветра. Таким образом, необходимая длина вытравленной якорной цепи

$$l_n = l + \Delta l_B + \Delta l_p. \quad (53)$$

### Расчет радиуса сектора, в котором будет перемещаться судно при изменении направления ветра и течения

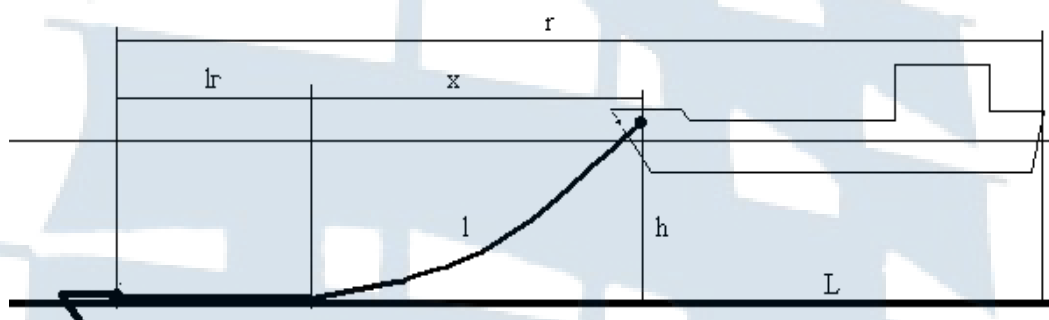


Рис. 8. Радиус рыскания судна, стоящего на якорю

Значение радиуса  $r$  определяется:

$$r = l_2 + x + L,$$

где  $l_2$  – длина участка якорной цепи, лежащей на грунте;

$L$  – длина судна.

Величина  $l_2$  определяется разностью общей длины вытравленной якорной цепи и значения  $l$ , рассчитанного в предыдущем разделе.

Значение  $x$  можно получить по таблицам цепной линии. Для приближенной оценки при больших глубинах якорной стоянки

$$x = \sqrt{l^2 - h^2}. \quad (54)$$

При малых глубинах –  $x = l$ .

### Практические рекомендации по определению необходимой длины якорной цепи

При благоприятных условиях погоды (ветер силой до 4 баллов и незначительном течении) рекомендуется вытравливать якорную цепь на длину, равную:

- на малых глубинах – до 25-30 м – 5-6 глубин;
- на средних глубинах – от 25-30 м до 50 м – 3-4 глубины;

– на больших глубинах более 50 м – не менее 2 глубин места якорной стоянки.

### ***Выбор места якорной стоянки***

На внутренних рейдах постановка на якорь производится в месте по указанию лоцмана. На внешних рейдах место якорной стоянки обычно указано на навигационных картах и постановка на якорь производится в указанном районе по возможности в стороне от других судов.

При выборе места якорной стоянки в других случаях желательно, чтобы оно:

- было по возможности защищено от ветра и волнения;
- обладало хорошим грунтом и глубинами, обеспечивающими надежность удержания судна на якорю;
- имело безопасные подходы к месту отдачи якоря;
- располагало достаточным пространством чистой воды для безопасного маневрирования;
- было в стороне от створов, фарватеров, подводных кабелей.

Наиболее удобная глубина места якорной стоянки составляет 20-30 м. На глубинах более 100 м становиться на якорь не рекомендуется. Минимальная глубина якорной стоянки должна быть такой, чтобы во время отлива и при качке на волнении судно не могло коснуться грунта.

От характера грунта зависит держащая сила якоря. Хорошими грунтами с наибольшей держащей силой считаются ил, песчаный ил, глина, глинистый ил. К средним относятся рыхлые грунты: песок, ракушка, галька, щебень. Плохими являются скальные грунты:

- плита,
- валуны,
- скалы.

### **Обеспечение безопасности якорной стоянки**

#### ***Общие меры обеспечения безопасности:***

- ходовая вахта на мостике и в машинном отделении;
- главный двигатель – в готовности, назначенной капитаном;
- запрещается проводить работы, связанные с выводом из строя главного двигателя, рулевого и якорного устройства;
- постоянное наблюдение за состоянием погодных условий, окружающей обстановкой, поведением других судов, стоящих поблизости на якорю;

- контроль за положением судна для своевременного обнаружения дрейфа;
- организация регулярного приема и анализ гидрометеопрогнозов;
- при ухудшении гидрометеорологических условий машина переводится в немедленную готовность;
- потравливается якорная цепь;
- принимаются меры по уменьшению рыскания;
- при возможности принимается балласт для создания дифферента на нос, отдается второй якорь.

Эффективность перечисленных выше мер в значительной степени зависит от их своевременности. Особую опасность представляет усиление ветра с направлений, при которых может возникнуть дрейф судна в сторону навигационных опасностей. В этом случае разумно заблаговременно сняться с якоря и идти штормовать в море.

Работу можно выполнять по методике, изложенной в главе 5 учебника «Управление судном» под общ. ред. В.И. Снопкова (СПб.: «Профессионал», 2004).

#### **ТЕМА 4. Плавание в узкости**

**Цель:** *расчет сил и моментов гидродинамического взаимодействия судов при обгоне на малом расстоянии друг от друга.*

##### **Условные обозначения к теме 4:**

- $1$  – индекс, относящийся к обгоняемому судну;
- $2$  – индекс, относящийся к обгоняющему судну;
- $D$  – кратчайшее расстояние между бортами судов при обгоне;
- $D_0$  – кратчайшее расстояние между диаметрными плоскостями судов при обгоне;
- $H$  – глубина моря;
- $v$  – скорость движения судна;
- $\xi$  – расстояние между плоскостями миделей судов;
- $X_2$  – продольная гидродинамическая сила;
- $Y_2$  – поперечная гидродинамическая сила;
- $M_2$  – момент поперечной гидродинамической силы;
- $Fr$  – число Фруда;
- $k_d$  – коэффициент, учитывающий влияние кратчайшего расстояния между диаметрными плоскостями судов;
- $c_x, c_y, c_m$  – коэффициенты влияния отношения длин судов;

$k_h$  – коэффициент влияния глубины моря;  
 $k_x, k_y, k_m$  – коэффициенты гидродинамического взаимодействия;  
 $K_0$  – коэффициент относительного расположения судов;  
 $P_g$  – мощность, потребляемая гребным винтом, кВт;  
 $H_g$  – шаг гребного винта, м;  
 $D_g$  – диаметр гребного винта, м;  
 $N$  – частота вращения гребного винта,  $c^{-1}$ ;  
 $B_{CP}$  – средняя ширина руля;

### **Задание**

1. Описать, какие возникают силы и моменты при прохождении одного судна вблизи другого, особенно в узкости.

2. Рассчитать силы и моменты, действующие на оба суда при обгоне на малом расстоянии. Вычертить схему действия сил и моментов. Данные взять из таблицы вариантов заданий (приложение 1): глубина моря – колонка 9.

3. Обгоняемое судно: осадка – колонки 2 и 3, скорость – колонка 10.

4. Обгоняющее судно: осадка – колонки 4 и 5, скорость – колонка 11.

5. Рассчитать боковую силу руля и момент, действующий на судно от переложенного руля, сравнить с моментом от гидродинамического взаимодействия при обгоне сделать выводы о возможности безопасного обгона.

6. Описать правила и сигналы, вычертить схему огней и знаков, которые, согласно МППСС, выставляют суда при обгоне в узкости.

7. Записать меры, предпринимаемые для обеспечения безопасности судна при расхождении в узкости.

### **Методические пояснения**

#### ***Краткая характеристика узкости, мелководья и каналов***

С точки зрения управления судном понятие узкости определяется соотношением между маневренными характеристиками судна (с учетом его линейных размеров) и шириной водного пространства, в пределах которого судно может безопасно следовать при существующих средствах навигационного обеспечения. С точки зрения ширины акватории делят на открытые и каналы.

Открытые акватории делят на глубокие, мелкие и углубленные морские пути. Открытой и глубокой акваторией называется такая, на



которой дно и берега не оказывают влияния на маневренные качества судна. Ширина открытой акватории определяется диаметром циркуляции. В морской мировой практике принимается, что для выполнения самостоятельной циркуляции на акватории, где нет ветра и течения, необходимы размеры акватории

$$B_a > 8L, \quad (55)$$

где  $B_a$  – ширина акватории, м;  
 $L$  – длина судна, м.

Эта зависимость действительна для всех плавсредств, так как коэффициент  $k$ , равный 8, является наибольшим коэффициентом из используемых для определения нормального диаметра циркуляции. Величина параметра ширины акватории соответствует минимальному диаметру тактической циркуляции.

Одной из опаснейших навигационных ситуаций является расхождение судов на небольших траверзных расстояниях. В этом случае на суда действуют дополнительные внешние силы, обусловленные гидродинамическим воздействием корпусов. В результате действия этих сил управляемость судов ухудшается и может возникать аварийная ситуация, приводящая к столкновению судов.

Морская практика зарегистрировала достаточно большое количество столкновений, которые произошли в результате гидродинамического взаимодействия судовых корпусов.

В зависимости от сочетания различных факторов и взаимного положения судов возникают гидродинамические поперечные силы  $Y_2$  и моменты  $M_2$  могут менять свой знак и может происходить не только «притяжение», но и «расталкивание» судов.

Таким образом, в процессе встреч и обгонов судов характер действия гидродинамических усилий непрерывно изменяется, что влечет за собой соответствующие трудности в управлении судами. В реальных условиях взаимодействие судов может иметь еще более сложный характер, что объясняется взаимодействием волновых систем расходящихся судов, наличием углов дрейфа, влиянием ограничений фарватера по глубине и ширине и т. д. В последние десятилетия вопрос о гидродинамическом взаимодействии судов изучен достаточно полно для скоростей хода, соответствующих числам Фруда, при которых волнообразование, создаваемое судовым корпусом, незначительно ( $Fr < 0,25$ ).

В конце 80-х годов научные сотрудники Гамбургского морского института выполнили серию экспериментов по определению сил и

моментов, действующих на суда при движении параллельными курсами на малых траверзных расстояниях, и предложили полуэмпирический метод расчета этих сил и моментов.

Встречное движение судов обычно не приносит вреда, как известно из практики, так как:

- на первом этапе действуют силы отталкивания;
- этап прохождения короткий;
- сила присасывания на последнем этапе вызывает возврат к стабильному движению в первоначальном направлении.

Такое маневрирование, часто выполняемое в узких проходах, далее не рассматривается. Маневр обгона опасен и риск увеличивается в связи с:

- большой скоростью судна;
- небольшим расстоянием расхождения;
- небольшим различием между скоростями  $v_1$  и  $v_2$ .

В большинстве случаев столкновения судов происходят на последнем этапе, когда обгон почти завершен, из-за того, что после действия силы присасывания в параллельном положении действует момент рыскания по отношению к обгоняемому судну.

Полуэмпирический подход к методу расчета сил присасывания и моментов рыскания при обгоне одного судна другим на параллельных курсах.

Если два судна идут параллельными курсами, образуется поле гидродинамических сил взаимодействия  $X_2$ ,  $Y_2$  и вращающего момента (момента рыскания)  $M_2$ . Эти силы измеряются при взаимодействии судов во время испытаний моделей в различных относительных положениях  $\xi$  и находят коэффициенты взаимодействия. Затем найденные коэффициенты используются для расчета сил и моментов при обгоне других судов при условии, что длины судов различаются не более чем на 60 % ( $L_1/L_2 < 1,6 > L_2/L_1$ ).

**Рассчитываются средние величины:**

- средняя длина:  $L_{cp} = (L_1 + L_2)/2$ ,
- средняя осадка:  $d_{cp} = (d_1 + d_2)/2$ ,
- средняя скорость:  $v_{cp} = (v_1 + v_2)/2$ .

**Учитывается плотность воды:**

- для пресной  $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$ ,
- для соленой морской воды  $\rho = 1\,025\text{ кг/м}^3$ .

Определяется кратчайшее расстояние между диаметрными плоскостями судов  $D_o$ , которое равно кратчайшему расстоянию между бортами судов, увеличенному на половину ширины обоих судов

$$D_o = D + B_1/2 + B_2/2. \quad (56)$$

Значение продольной силы  $X_z$ , поперечной силы  $Y_z$  и момента рыскания  $M_z$  находятся по формулам:

$$X_z = k_x c_x k_d k_h (\rho/2) v_m^2 L_m d_m;$$

$$Y_z = k_y c_y k_d k_h (\rho/2) v_m^2 L_m d_m;$$

$$M_z = k_m c_m k_d k_h (\rho/2) v_m^2 L_m d_m.$$

Коэффициент влияния расстояния между диаметрными плоскостями судов аппроксимируется зависимостями:

если  $D_o \leq 0,6 L_m$ , то  $kd = 0,35 L_m/D_o$ ;

если  $D_o \leq L_m$ , то  $kd = 0,21 L_m/D_o^2$ ;

если  $D_o \leq 1,4 L_m$ , то  $kd = 0,21 L_m/D_o^3$ ;

если  $D_o > 1,4 L_m$ , то  $kd = 0,294 L_m/D_o^4$ .

Коэффициенты влияния отношения длин судов аппроксимируются следующими параболическими зависимостями:

$$C_x = 0,012 (-(L_1/L_2)^2 + 2 (L_1/L_2)) + 0,005;$$

$$C_y = 0,02 (-(L_1/L_2)^2 + 2 (L_1/L_2)) + 0,01;$$

$$C_m = 0,004 (-(L_1/L_2)^2 + 2 (L_1/L_2)) + 0,001.$$

Коэффициент влияния глубины моря определяется по формуле, предложенной Ю.М. Матушкиным

$$k_h = 1 + 10 e [-0,786(H/d_{cp})^{(5/3)}]. \quad (57)$$

Коэффициенты гидродинамического взаимодействия, зависящие от взаимного расположения судов  $K_o$ ,  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_m$ , выбираются из табл. 3, составленной по результатам испытаний моделей в опытовом бассейне, где:

–  $K_o = \xi/L_{cp}$  – для относительного расположения судов;

–  $k_x$  – для продольной силы  $X_z$ ;

–  $k_y$  – для поперечной силы  $Y_z$ ;

–  $k_m$  – для момента рыскания  $M_z$ .

### Коэффициенты взаимодействия судов при обгоне

$K_0$	$k_x$	$k_y$	$K_m$
-1,00	-0,289	0,296	0,264
-0,75	-0,690	0,345	0,706
-0,50	-1,000	-0,060	1,000
-0,25	-0,850	-0,595	0,873
0	-0,250	-0,935	0,221
0,25	0,590	-0,982	-0,682
0,50	0,590	-0,637	-0,927
0,75	0,810	-0,250	-0,706
1,00	0,330	-0,089	-0,424

Если длины взаимодействующих судов имеют отношение более 2 ( $L_1/L_2 > 2 < L_2/L_1$ ), этот метод вообще неприемлем.

Необходимо внимательно следить за управляемостью судна. Возникающие гидродинамические силы и моменты должны быть компенсированы перекладкой руля и увеличением оборотов гребного винта для увеличения боковой силы руля и ее момента. Можно считать, что сила на руле определяется водяным потоком, создаваемым винтом, который работает в швартовном режиме.

*При этом условии боковая сила руля равна*

$$Y_p = k(\alpha) P_{ув} b_{cp} / D_v, \quad (58)$$

где  $k(\alpha)$  – коэффициент, зависящий от угла перекладки руля, который при углах в пределах 20-25° может быть принят равным 0,3.

Упор винта в швартовном режиме можно вычислить по эмпирической формуле

$$P_{ув} = 1,13 (1,9 - H_v / D_v) (P_v / D_v^n). \quad (59)$$

В качестве плеча действия боковой силы руля в первом приближении можно принимать половину длины корпуса судна. Ввиду больших значений возникающих сил и моментов, необходимо выполнять приведенные ранее рекомендации, кроме того:

– скорость обоих судов должна быть уменьшена на ранней стадии с целью получения установившегося режима работы винта и скорости судна в период маневра;

– дистанция расхождения должна быть насколько возможно большей. Более того, обороты винта должны быть увеличены в тече-



ние маневра обгона на обгоняющем судне с целью получения большей силы на руле, в то же время скорость судна за это время увеличится незначительно.

Эксплуатация морских и других судов показывает, что наиболее жесткие условия вследствие взаимодействия полей давлений наблюдаются при встречном расхождении двух судов в каналах закрытого и открытого профилей. Обгонные движения судов в каналах, как правило, запрещаются.

Результаты теоретических исследований, экспериментов на моделях и натурных испытаний судов позволяют судить о следующем.

Случай обгона одного судна другим является более опасным, чем встречное расхождение при прочих равных условиях, так как гидродинамические силы и моменты, возникающие на корпусе судна при обгоне, значительно больше. При практически равных расстояниях между бортами судов при обгоне и встречном расхождении на одних и тех же скоростях максимальные значения коэффициентов  $k_y$  и  $k_m$  (а, следовательно, сами силы и моменты) при обгоне в 2-7 раз больше.

В случае обгона максимальные значения коэффициентов  $k_y$  и  $k_m$  положительны, и воздействие гидродинамических усилий на суда наиболее опасно, так как максимальная поперечная сила стремится сблизить корпуса судов, а момент разворачивает носовую оконечность обгоняющего судна в сторону обгоняемого судна.

При встречном расхождении поперечные силы в большинстве случаев оказываются отрицательными (т. е. отталкивают одно судно от другого), а максимальный по абсолютной величине момент, как правило, отрицателен, т. е. наблюдается отталкивание одного судна от другого.

Натурные испытания показали, что в случае обгона, особенно на малых глубинах, суда неоднократно наваливались друг на друга, несмотря на действия судоводителей даже при довольно значительных траверзных расстояниях между судами (при траверзных расстояниях от 2 до 5 ширин меньшего судна).

В подавляющем большинстве случаев момент гидродинамических сил, возникающих при обгоне одного судна другим, достигает максимального значения, когда мидель обгоняющего судна находится примерно на траверзе кормы обгоняемого. При этом момент стремится развернуть обгоняющее судно в сторону обгоняемого, а момент, действующий на обгоняемое судно, стремится развернуть его кормовую оконечность в сторону обгоняющего.



При встречном расхождении до того, как мидели судов выйдут на траверз, момент гидродинамических сил стремится отвернуть носовые оконечности друг от друга. В дальнейшем наблюдается отбрасывание кормовых оконечностей судов. В некоторых случаях наблюдается взаимное притяжение кормовых оконечностей.

При движении на мелководье наблюдается значительный рост гидродинамических сил и моментов с увеличением скорости при относительном расстоянии между миделями судов  $K_0$  от 0,6 до 1,2. В положении  $K_0$  от 0,7 до 1,0 (наиболее опасном по значениям действующих моментов) наблюдается резкое возрастание коэффициентов  $c_y$  и  $c_m$ .

Наиболее опасным является случай обгона на скоростях, близких к критическим на мелководье  $v \geq 0.7\sqrt{gH}$ . При обгоне на глубокой воде и на мелководье силы и моменты практически не влияют на движение судов, когда расстояние между бортами составляет *более 6 ширин меньшего судна*.

При встречном расхождении влиянием гидродинамических усилий на корпуса судов, как на глубокой воде, так и на мелководье, можно пренебрегать, когда расстояние между бортами составляет более 2,5 ширин меньшего судна.

В период натурных испытаний было установлено, что при обгоне одного судна другим маневрирование рулем должно осуществляться очень осторожно. Наблюдались случаи, когда при зарыскивании обгоняющего судна в сторону обгоняемого предельная перекладка рулевых органов на противоположный борт не давала положительного эффекта, вследствие того, что при полной перекладке руля на борт судно получало значительное обратное смещение, из-за чего воздействие дополнительных гидродинамических усилий на корпус возрастало.

При обгоне маневрирование рулем на обгоняющем судне следует начинать тогда, когда его носовая конечность еще не поравнялась с кормой обгоняемого судна. В положении, когда относительное расстояние между центрами судов  $K_0 \approx 2$ , необходимо начинать плавную перекладку руля на внешний борт, увеличивая угол перекладки руля так, чтобы наибольший момент рулевых сил действовал на обгоняющее судно при  $K_0 = 0,8-1,0$ , т. е. когда его середина будет находиться на траверзе кормы обгоняемого судна.

При встречном расхождении двух судов не требуется значительных перекладок рулей. Например, для однотипных судов при расстоянии, равном примерно одной ширине, требовалась перекладка

рулей не более 5-10°. Движение судна в обгон, с заранее приданным углом дрейфа, позволяет избежать зарыскивания обгоняющего судна в сторону обгоняемого, но если суда движутся в обгон на малых расстояниях между бортами, наличие угла дрейфа на обгоняющем судне не исключает сил взаимного притяжения.

При заметном различии в размерах судов наибольшие гидродинамические усилия от взаимодействия при обгоне будут действовать на меньшее по размерам судно. Наихудшим является случай, когда по размерам (по длине) оно будет примерно в 3 раза меньше другого. Поэтому рекомендуется соответствующее маневрирование производить на меньшем судне.

Гидродинамические усилия от взаимодействия судов резко увеличиваются с ростом скорости. Поэтому при встречах и обгонах на ограниченных глубинах скорость должна отвечать условию

$$v \leq 0.5 \sqrt{gH},$$

а на глубокой воде

$$v \leq 0.2 \sqrt{gH}.$$

### **Маневровая полоса движения с учетом внешних факторов**

Ширина полосы безопасного движения  $B_{б.д.}$  в стесненных условиях плавания (в каналах, по узким фарватерам и т. д.) принимается равной

$$B_{б.д.} = B_m + B, \quad (60)$$

где  $B_m$  – маневровая полоса движения, м;

$B$  – запас, равный ширине судна, м.

Маневровая полоса движения в общем случае может быть определена из следующего выражения

$$B_m = L_y \sin(\alpha + \beta + \gamma) + B \cos(\alpha + \beta + \gamma) + Vt \sin \varphi, \quad (61)$$

где  $L_y$  – длина цилиндрической вставки судна, м;

$\alpha$  – угол ветрового дрейфа, град;

$\beta$  – угол сноса от течения, град;

$\gamma$  – угол дрейфа от волнения, град;

$V$  – скорость судна, м/с;

$\varphi$  – угол рыскания, град;

$t$  – период рыскания судна, с,

Натурные наблюдения показали, что при движении в обгон на мелководье происходит резкое увеличение просадки судов. При движении на мелководье при траверзных расстояниях, равных от 1 до 7

ширин меньшего судна, максимальная просадка совместно движущихся судов может увеличиваться на 20-50 % по сравнению с просадкой одиночного судна. При встречном расхождении судов на сравнительно больших скоростях наблюдается изменение их просадки (особенно для меньшего судна, когда оно попадает в систему волны большего судна). Максимальное изменение просадки при встречном расхождении меньше, чем при обгоне. Наибольшего значения в случаях обгона просадки обгоняющего судна достигает в положении  $K_0 = 1 - 1,2$ .

Работу можно выполнять по методике, изложенной в главе 7 учебника «Управление судном» под общ. ред. В.И. Снопкова (СПб.: «Профессионал», 2004).

## ТЕМА 5. Плавание на мелководье

**Цель:** расчет просадки судна и влияния мелководья на управляемость и скорость движения судна.

### Задание

1. Описать, какие возникают силы и моменты при плавании на мелководье.
2. Вычертить схему: сигналы, выставляемые судном, стесненным своей осадкой.
3. Записать меры, предпринимаемые для обеспечения безопасности судна при плавании на мелководье.
4. Рассчитать просадку и скорость судна при плавании на мелководье. Данные взять из таблицы вариантов (прил. I):
  - осадка судна – колонки 2 и 3,
  - глубина под килем – 3 метра,
  - скорость на чистой воде соответствует полному маневренному ходу.

### Методические указания

Мелководье характеризуется определенными глубинами. Обычно для проведения ходовых или сдаточных испытаний, чтобы исключить влияние мелководья, выбирают полигон с глубиной, определяемой выражением

$$H \geq 4T + \frac{3V^2}{g}, \quad (62)$$

где  $T$  – осадка судна, м;  
 $V$  – скорость судна, м/с;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

При решении практических задач управления судном на мелководье можно считать, когда отношение глубины к осадке судна

$$\frac{H}{T} < 3. \quad (63)$$

*Судоходный канал* – искусственно проложенный водный путь, оснащенный современными средствами навигационного оборудования, обеспечивающими безопасность плавания судов.

*Судоходные каналы классифицируются:* по назначению, способу устройства, наличию оградительных сооружений, пропускной способности, размерам поперечного сечения и высоте надводных переходов, длительности навигационного периода и характеру материковых грунтов, составляющих ложе канала.

*По назначению* каналы подразделяются на соединительные и проходные; *по способу устройства* – на закрытые (шлюзованные) и открытые; *по наличию искусственных оградительных сооружений* – на огражденные и не огражденные.

*По пропускной способности* каналы классифицируются показателями проектного и фактического судооборота в обоих направлениях, выраженными количеством пропускаемых судов и их регистровым тоннажем.

По размерам поперечного сечения и высотам надводных переходов (мосты, линии электропередач и др.) каналы классифицируют по:

- максимально допустимой осадке пропускаемых судов;
- максимально допустимой высоте надводного габарита судов;
- режиму пропуска судов (каналы одностороннего или двустороннего движения).

Каналы двустороннего движения могут иметь достаточную ширину либо по всей длине для расхождения встречных судов в любом пункте, либо специальное расширение в нескольких пунктах для ожидания пропуска встречных судов. В принципе движение в каналах в зависимости от размеров судов может быть в каждом конкретном случае и односторонним и двусторонним.

По длительности навигационного периода каналы подразделяются на незамерзающие с круглогодичным навигационным периодом и замерзающие с ограниченным навигационным периодом по ледовым условиям.



По характеру грунтов, составляющих ложе, каналы подразделяются на имеющие глинистое или суглинистое ложе, песчаное или супесчаное ложе, илистое ложе, каменистое и скальное ложе.

### Влияние мелководья на скорость судна

Вследствие влияния различных факторов скорость судна на мелководье меньше чем на глубокой воде.

Для расчета скорости на мелководье может быть применена формула, полученная А. П. Смирновым

$$V_m = k_v k_\delta k_{B/T} V_\infty, \quad (64)$$

- где  $V_m$  – скорость судна на мелководье, м/с;  
 $V_\infty$  – скорость судна на глубокой воде, м/с;  
 $k_v$  – коэффициент пропорциональности (табл. 4);  
 $k_\delta$  – коэффициент пропорциональности за полноту водоизмещения подводной части корпуса судна (табл. 5);  
 $k_{B/T}$  – коэффициент пропорциональности отношения ширины судна к осадке  $B/T$ .

Таблица 4

### Значения коэффициента $k_v$

$H/T$	Скорость $V_\infty$ на глубокой воде, уз											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97
3,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94
2,50	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92
2,00	0,98	0,97	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88
1,50	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,84	0,84
1,30	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82
1,25	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,82	0,81
1,10	0,94	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,83	0,82	0,82		

Таблица 5

### Значения коэффициента $k_\delta$

$\delta$	0,7-0,75	0,75-0,80	0,80-0,85
$k_\delta$	1	0,973	0,947



Значения коэффициента  $k_{B/T}$ 

$B/T$	2,0	2,5	3,0	3,5
$k_{B/T}$	1,026	1,00	0,973	0,947

Из анализа таблиц можно видеть, что падение скорости на мелководье может превышать 20 % по сравнению с глубокой водой. Данные таблиц получены в основном многочисленными натурными экспериментами. Практическое применение таблиц позволит судоводителям более обоснованно выбирать оптимальный курс судна с учетом глубин, более точно вести счисление судна, что, в конечном счете, повысит безопасность плавания. Эмпирическая формула позволяет определить величину изменения скорости на мелководье с погрешностью  $\pm 2-3$  %. Натурные эксперименты показали, что режим работы двигателя на мелководье при поддержании постоянной частоты вращения является чрезвычайно тяжелым и нормальная эксплуатация двигателя не может быть обеспечена без снижения мощности двигателя с уменьшением глубин. На основании этого рекомендуется при плавании на мелководье при  $\frac{H}{T} < 3$  всережимный регулятор двигателя отключать и переходить на постоянную подачу топлива во избежание перегрузки главного двигателя. Следует обратить внимание судоводителей, что на мелководье показания индукционного лага будут завышаться из-за увеличения скорости потока, обтекающего корпус судна.

Влияние мелководья начинает заметно сказываться при переходе за скорости, равные  $0.6V_{кр}$  ( $V_{кр} = \sqrt{gH}$ , где  $H$  – глубина места), когда высота и длина создающихся при движении судна поперечных волн начинают резко возрастать. По мере увеличения скорости увеличивается и угол, составляемый гребнями волн с ДП судна. При скорости  $V \geq 0,75V_{кр}$  поперечные и расходящиеся волны совмещаются в одну общую поперечную волну, достигающую наибольших размеров при скорости  $V = (0.9 - 1.0)V_{кр}$  и имеющую вид поперечного вала, движущегося вместе с судном несколько впереди форштевня. В кормовой части судна несколько впереди ахтерштевня также создаются поперечные волны, которые распространяются далеко по обе стороны от судна. Вместе с ростом волнообразования растет и сопротивление воды движению судна, перегружается двигатель, возрастает расход топлива, повышается износ двигателя. Поэтому увеличивать скорость судна

до значений, больших  $0,8V_{кр}$ , не целесообразно. Скорость судов в канале назначается в пределах 4-12 мор. узлов, однако она не должна превышать величины  $0,9V_{кр}$ .

### **Влияние мелководья и узкостей на управляемость и инерционно-тормозные характеристики судов**

Практикой установлено, что на мелководье, по сравнению с глубокой водой, резко ухудшается эксплуатационная устойчивость судна на курсе, повышается рыскливость; заметно ухудшается и поворотливость судов.

На мелководье резко уменьшаются углы дрейфа, угловая скорость поворота и, соответственно, увеличивается радиус установившейся циркуляции при одинаковых углах перекладки руля.

Исследования А.Д. Гофмана показали, что ухудшение поворотливости на мелководье носит закономерный характер. Для определения радиуса установившейся циркуляции на мелководье  $R_m$  им получена следующая зависимость

$$R_m = \frac{R_\infty}{1 + 0,1T/H - 0,71(T/H)^2}, \quad (65)$$

где  $R_\infty$  – радиус установившейся циркуляции на глубокой воде, м.

### **Просадка судов при плавании на мелководье, в каналах и реках**

При движении судов происходит изменение их положения на плаву по отношению к свободной поверхности и дну водоема. Существенное изменение посадки (просадки судна) наблюдается в условиях мелководья, в каналах, реках и других стесненных условиях.

Наиболее общее решение имеет так называемый классический метод. Этот метод основывается на непосредственном применении закона Бернулли и закона неразрывности жидкости. Модифицируя уравнение Бернулли и принимая, что величину давления  $P$  можно выразить высотой водяного столба над условным уровнем  $H$ , уравнение Бернулли примет вид

$$H + \frac{U^2}{2g} = const, \quad (66)$$

где  $H$  – глубина, м;

$U$  – скорость потока воды, омывающего судно, называемая скоростью встречного потока, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

При сравнительно малых докритических скоростях движения снижается роль собственного волнообразования судна. Перераспределение погруженного объема судна на ходу может быть приближенно объяснено изменением свободной поверхности воды из-за наличия стесненности фарватера.

Рассмотрим случай движения судна в канале. Движение его в соответствии с уравнением Бернулли приводит к увеличению скорости движения воды вдоль корпуса судна, а это приводит к понижению зеркальной поверхности воды (глубины  $H$ ). Для этого случая можно написать

$$H_o + \frac{V^2}{2g} = H_{\text{с}} + \frac{(V+U)^2}{2g}, \quad (67)$$

где  $H_o$  – глубина в канале, не возмущенном проходом судна, м;  
 $H_{\text{с}}$  – глубина в канале в момент прохода судна, измеренная посередине длины судна, м;  
 $V$  – скорость судна, м/с.

После преобразования, обозначив  $H_o - H_{\text{с}} = \Delta H$ , получаем величину понижения зеркальной поверхности воды (просадку судна)

$$\Delta H = \frac{U(2V+U)}{2g}. \quad (68)$$

### Расчет по методу В.П. Смирнова

Увеличение осадки кормой для морских судов на мелкой воде можно получить по формуле В.П. Смирнова

$$\Delta T_k = \alpha_T k_L \Theta_{\psi} V^2. \quad (69)$$

Формула получена после обработки результатов натурных испытаний морских судов методом математической статистики способом наименьших квадратов. Точность определения величины просадки  $\sigma = 1,0-1,5$  % от осадки кормой. В этой формуле  $\alpha_T$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение относительной осадки.

Таблица 7

**Значения  $\alpha_T$  в зависимости от  $T/H$** 

$T/H$	$\alpha_T$	$T/H$	$\alpha_T$
0,35	0,0146	0,700	0,0232
0,40	0,0156	0,725	0,0242
0,45	0,0164	0,750	0,0250
0,50	0,0174	0,775	0,0262
0,55	0,0187	0,800	0,0274
0,60	0,0201	0,825	0,0288
0,65	0,0216	0,850	0,0206

$k_L$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий длину судна.

Таблица 8

**Значения  $k_L$  в зависимости от  $L_{\perp\perp}$** 

$L_{\perp\perp}$	до 100 м	100-150	более 150
$k_L$	0,95	1,05	1,25

$\Theta_\psi$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий начальный дифферент  $\Psi_n$  на корму.

Таблица 9

**Значения  $\Theta_\psi$  в зависимости от  $\Psi_n$** 

$\Psi_n$	0	0,5 $\Psi_{\max}$	$\Psi_{\max}$
$\Theta_\psi$	1,0	1,025	1,050

Увеличение осадки носом при  $T_n = T_k$  может быть определено:

$$\Delta T_n = \Delta T_k C_n. \quad (70)$$

Значения коэффициента  $C_n$  приведены на графике внизу – грубо приближенный.

L/B=5,0

$C_n$							
2,0							6,0
1,0							7,5
0	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	$\delta$

Рис. 9. График приближенных значений  $C_n$

### Расчет по методу NPL

Графический метод NPL (National Physical Laboratory). Метод опубликован в 1973 г. в Великобритании и разработан на основе модельных испытаний, теоретических вычислений, выполненных при помощи ЭВМ и эксперимента для крупнотоннажных судов. Испытания моделей и крупных судов позволили выявить много общих элементов:

1. Форма судна ( $0.80 \leq \delta \leq 0.90$ ) имеет малое влияние на проседание и дифферент судна.
2. Работа винта незначительно влияет на параллельные проседания, а больше на дифферент.
3. Нагрузка винта не имеет большого влияния на проседание.
4. Суда во время движения получают дифферент на нос.
5. Параллельное проседание и дифферент уменьшаются пропорционально  $H/T$ , а для  $H/T = const$  проседание увеличивается с ростом скорости судна.
6. Начальный дифферент на корму в некоторых случаях может не быть уравновешенным дифферентом на нос, возникающим во время движения судна.

Начальный дифферент на корму нежелателен, даже если в конечном итоге судно во время движения получит дифферент на нос, так как некоторые элементы кормы, такие как руль, винт, опасно приближаются к грунту. Проседание меняется при движении судна на циркуляции влево или вправо (зависит от направления вращения винта), разные величины проседания будут во время ускорения и замедления движения.

Если дифферент судна находится в пределах от  $1/100L_p$  на корму до  $1/500L_p$  на нос, то посадка носом и кормой может быть определена графически с помощью номограммы (рис. 10).

Для решения задачи необходимо знать скорость судна  $V$  (уз), длину  $L$  (м), глубину моря  $H$  (м) и дифферент.

Из точки значения скорости на оси абсцисс проводят вверх вертикальную линию до пересечения с линией глубины. От полученной точки проводят горизонтальную линию до пересечения с кривыми



дифферента. Из точек пересечения опускают перпендикуляры до их пересечения с линией длины судна. Значения величин  $\Delta T_n$  и  $\Delta T_k$  находят на шкале  $\Delta T$  (м).

Рекомендации сохранять запас глубины под килем при мягких грунтах не менее 0,3 м, а при плотных – не менее 0,4 м могут быть приемлемы только на хорошо обследованных подходных каналах и при условии, что скорость будет уменьшена насколько возможно, а маневрирование для расхождения с другими судами сведено к минимуму.

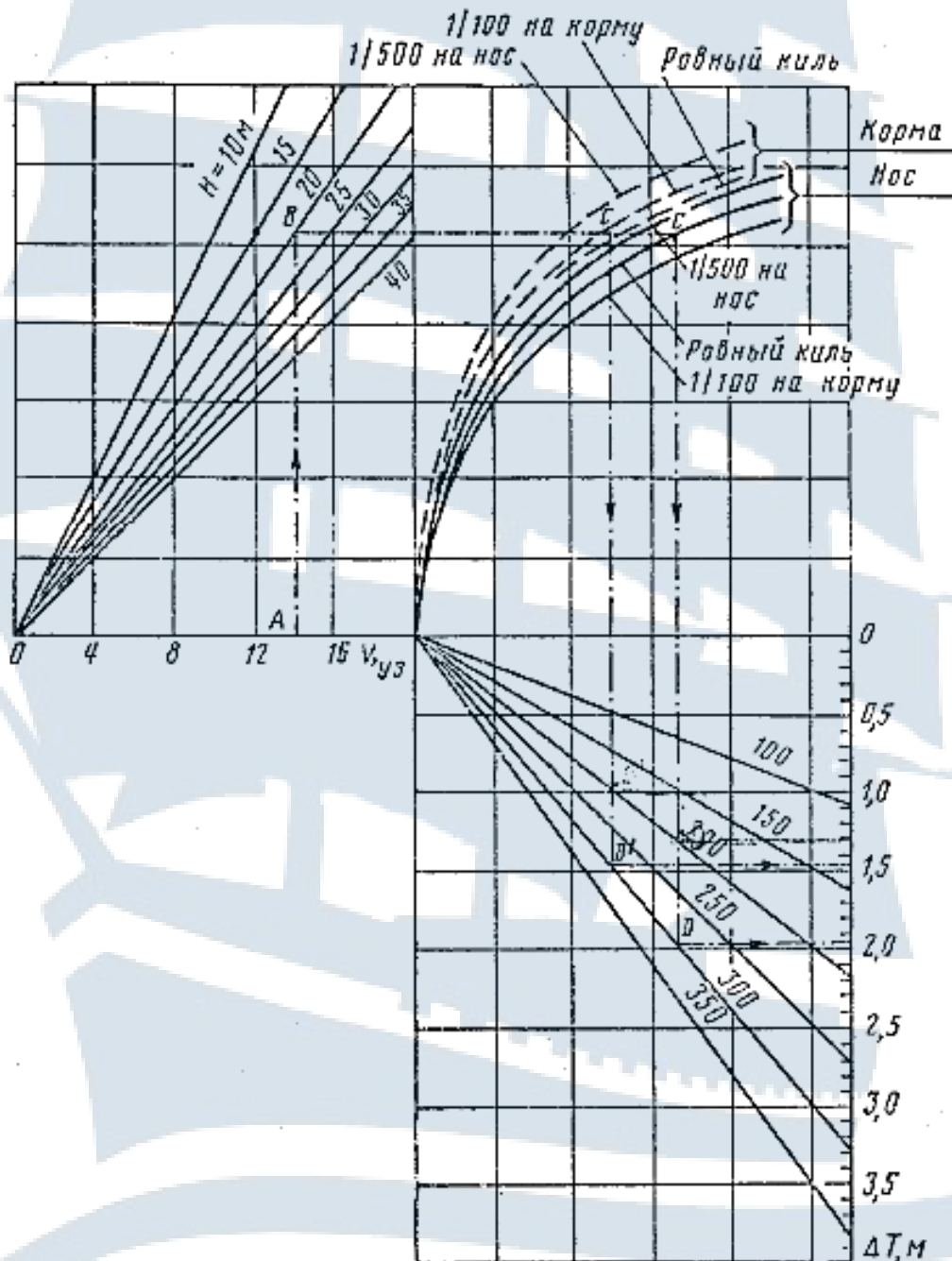


Рис. 10. Номограмма для определения просадки судна по методу NPL

## Определение запаса воды под корпусом судна при плавании в каналах и на мелководье

Величина клиренса  $K$  (глубина под килем) должна быть не менее суммы навигационных запасов:

$$K \geq \sum z_i \text{ или } K = (H_n \pm \Delta H_n) - (d + \Delta d + a) \geq z_0 + z_1 + z_2 + z_3, \quad (71)$$

где  $H_n$  – навигационная глубина, м;

$\Delta H_n$  – поправка глубины на отклонение уровня воды  
(положительна, когда уровень выше ординара), м;

$d$  – осадка (наибольшая) судна в воде стандартной плотности  
( $\rho = 1025 \text{ кг/м}^3$ ), м;

$\Delta d$  – поправка осадки судна на соленость воды (табл. 10), м;

$a$  – поправка на обледенение судна, м (учитывается в каждом конкретном случае);

$z_0$  – запас на крен судна, м;

$z_1$  – минимальный навигационный запас, м;

$z_2$  – волновой запас, м;

$z_3$  – скоростной запас, м.

$$z_0 = \frac{B}{2} \sin(\Theta + \Theta_0), \quad (72)$$

где  $B$  – ширина судна, м.

$\Theta$  – угол крена от ветра (табл.), град;

$\Theta_0$  – динамический угол крена (табл.), град.

Таблица 10

### Поправка осадки судна на соленость воды

Плотность воды, кг/м <sup>3</sup>	Соленость промили	$\Delta d$ , м	Плотность воды, кг/м <sup>3</sup>	Соленость промили	$\Delta d$ , м
1025	32	0,000d	1010	13	0,012d
1020	26	0,004d	1005	7	0,016d
1015	20	0,008d	1000	0	0,020d

Таблица 11

## Угол крена от ветра, град

Тип судна	Скорость расчетного ветра, м/с				
	9	13	16	19	22
Универсальное, паром, лихтеровоз, газовоз	-	1	1	1	2
Контейнеровоз	1	2	3	4	5
Пассажирское	1	3	4	6	8

Таблица 12

## Динамический угол крена судна в грузу, град

Тип судна	V, уз								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Универсальное, лесовоз, контейнеровоз	1	1	2	2	3	4	5	6	7
Лихтеровоз, пассажирское, паром, газовоз	-	-	-	1	1	1	1	2	2
Танкер, комбинированное	-	-	-	-	-	-	1	1	1

Таблица 13

Минимальный навигационный запас  $z_1$ , м

Вид грунта в слое 0,5 м	На входе в порты, на входном и внешнем рейдах	На всех прочих участках внутренней акватории
Ил	0,04d	0,03d
Наносный плотный (заиленный, ракушка, гравий)	0,05d	0,04d
Слежавшийся плотный (песок, глина, супесь, суглинки, галька)	0,06d	0,05d
Скальный (валуны, оцементированные породы – песчаники, известняки и др.)	0,07d	0,06d

При движении на прямом курсе (на прямолинейных участках канала) принимается  $\Theta_0 = 0$ .

Волновой запас в первом приближении равен  $0,5 h_{3\%}$  – полувысоте волны 3 % обеспеченности.

Натурные наблюдения показали, что при движении в обгон на мелководье происходит резкое увеличение просадки судов. При движении на мелководье при траверзных расстояниях, равных от 1 до 7 ширин меньшего судна, максимальная просадка совместно движущихся судов может увеличиваться на 20-50 % по сравнению с просадкой одиночного судна. При встречном расхождении судов на сравнительно больших скоростях наблюдается изменение их просадки (особенно для меньшего судна, когда оно попадает в систему волны большего судна). Максимальное изменение просадки при встречном расхождении меньше, чем при обгоне. Наибольшего значения в случаях обгона просадки обгоняющего судна достигает в положении  $K_0 = 1-1,2$ .

Работу можно выполнять по методике, изложенной в главе 7 учебника «Управление судном» под общ. ред. В.И. Снопкова (СПб.: «Профессионал», 2004).

## ТЕМА 6. Плавание в шторм

**Цель:** *выбор курса и скорости при плавании в шторм. Использование диаграмм. Крепление палубного груза.*

### Задание

1. Изучить назначение и принцип построения диаграмм для выбора курса и скорости при плавании в штормовых условиях.

2. Рассчитать периоды собственных поперечных и продольных колебаний судна. Данные взять из таблицы вариантов заданий (приложение I):

- осадка судна – колонки 4 и 5;
- курс судна – колонка 6;
- скорость – колонка 10.

3. Показать на диаграмме опасные секторы при заданном курсе и скорости плавания.

4. Сделать расчеты крепления 20-футового контейнера с максимальной весовой загрузкой. Позиция груза – крышка трюма № 3. Координаты груза снять с чертежа (Приложение I) в указанном масштабе.

## Методические указания

### *Факторы, действующие на судно во время шторма*

Главными факторами, действующими на судно при плавании в шторм, являются ветер и волнение, совместное воздействие которых приводит к появлению ряда нежелательных, а иногда и опасных для судна явлений. К таким явлениям относятся:

– бортовая, вертикальная и килевая качка – колебательные движения судна под воздействием внешних сил, во время которой судно испытывает удары волн, большие напряжения в корпусе, заливание палуб. Вызванные качкой инерционные силы являются причиной смещения грузов, сдвигов с фундаментов механизмов и судовых устройств. Чрезмерная бортовая качка может служить причиной опрокидывания судов, когда направление крена совпадает с направлением давления ветра. Поэтому к судам предъявляются требования, чтобы при качке динамический кренящий момент от воздействия ветра при самых неблагоприятных условиях плавания ( $M_w$ ) не превышал опрокидывающего момента при данном водоизмещении судна ( $M$ ), т. е. выполнялось условие

$$K = M / M_w \geq 1, \quad (74)$$

где  $K$  – критерий погоды.

– Не менее опасные последствия имеет и килевая качка, при которой ухудшается режим работы винта из-за действующих на него переменных гидродинамических сил и моментов, что может привести к поломке лопастей, конструкций валопровода, вызвать вибрацию вала и кормы. При килевой качке наблюдается заливание палуб, днищевый слеминг – удары днища носовой оконечности судна о волну и бортовой слеминг – удары волн в развал носа, что может привести к серьезным повреждениям конструкций корпуса.

– Потеря скорости судна за счет увеличения сопротивления движению как из-за непосредственного воздействия на корпус ветра и волн, так и их вторичного влияния – качка, ветровой дрейф и крен, рыскание, снижение эффективности работы гребного винта и т. д.

Перечисленные выше явления приводят к общему ухудшению управляемости судна и изменению его маневренных характеристик в зависимости от курсового угла ветра и его скорости, а также от направления и интенсивности волнения, что необходимо учитывать при решении различных задач управления судном.



### ***Влияние на качку курса и скорости судна***

Величинами, характеризующими качку, являются угол наклона судна (амплитуда) и период, в течении которого судно совершает одно полное колебание. Колебания судна на тихой воде, возникающие под действием однократно приложенного к корпусу судна момента внешних сил, называются собственными или свободными. Период свободных колебаний при бортовой качке приближенно можно определить по следующей формуле

$$T = \frac{kB}{\sqrt{h}}, \quad (75)$$

где  $k$  – коэффициент, равный 0,81 для грузовых судов;  
 $B$  – ширина судна;  
 $h$  – поперечная метацентрическая высота.

Период свободных колебаний при килевой и вертикальной качке приближенно рассчитывается по формуле

$$T_k = 2.4\sqrt{T_{cp}}, \quad (76)$$

где  $T_{cp}$  – средняя осадка судна.

Более точно периоды свободных колебаний можно определить с использованием информации капитану по остойчивости.

На взволнованной поверхности моря качка происходит под действием волн. Возмущающей силой является сила поддержания, направленная перпендикулярно поверхности волнового склона. Она вызывает колебания судна с частотой следования волн. Такие колебания называются вынужденными. Амплитуда качки резко возрастает, когда отношение периодов свободных и вынужденных колебаний судна составляет 0,7-1,3 (*явление резонанса*). При отсутствии хода судна период вынужденных колебаний равен периоду волн.

При движении изменяется период прохождения волн относительно корпуса, т. е. изменяется период вынужденных колебаний судна, который становится равным кажущемуся периоду волн ( $\tau'$ ), учитывающему скорость судна ( $V$ ) относительно направления волн

$$\tau' [c] = \frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda + 0.514V \cos q}}, \quad (77)$$

где  $\lambda$  – длина волны;  
 $V$  – скорость судна в узлах;  
 $q$  – курсовой угол волны.

Как видно из приведенной формулы, изменением курса и скорости судна можно изменять значения кажущегося периода волнения,

то есть регулировать период вынужденных колебаний судна для недопущения явления резонанса. Для упрощения задачи выбора курса и скорости в штормовых условиях созданы различные диаграммы качки. Наибольшее распространение получила **универсальная диаграмма Ремеза**, построенная на основе приведенной выше формулы для кажущегося периода волнения. (Приложение IV).

Диаграмма состоит из двух частей. В верхней ее части нанесены кажущиеся периоды волн в виде семейства кривых. Пунктирная кривая соответствует случаю, когда  $\tau' = \infty$ , т. е. судно идет на попутном волнении и его скорость равна скорости распространения волн. Ниже пунктирной кривой расположены кривые, соответствующие случаям, когда судно обгоняет волны. На вертикальной оси отложены длины волн  $\lambda$  от 0 до 240 м. Отрезки горизонтальной оси влево и вправо от 0 соответствуют проекциям скорости судна на направление бега волн ( $V \cos q$ ). Для нахождения величины  $V \cos q$  к основной диаграмме пристроена в нижней части вспомогательная диаграмма, которая представляет собой семейство концентрических окружностей и радиальных линий. Каждой окружности соответствует скорость судна  $V$  от 0 до 24 уз, а радиальным линиям – курсовые углы направления бега волн  $q$  от 0 до  $180^\circ$ .

Над диаграммой помещена шкала для определения кажущегося периода волны, соответствующего зоне резонанса  $0,7 \tau' < T < 1,3 \tau'$ .

Слева от диаграммы помещены шкалы  $A$  и  $B$  для определения зон усиленной качки при нерегулярном волнении, а справа шкала баллов волнения, используемая в тех же случаях.

***Вход в диаграмму возможен тремя путями:***

- при регулярном или близком к регулярному волнению – по длине волны (вертикальная ось);
- при нерегулярном волнении – по высоте волн 3 % обеспеченности (левая шкала) и степени волнения в баллах (правая шкала).
- предварительно рассчитывается или определяется по информации капитана по остойчивости период свободных колебаний судна.

Длина волны определяется глазомерно сравнением с длиной судна. Кроме этого, длину волны можно определить по кажущемуся периоду волн с использованием диаграммы качки. Кажущийся период волн определяется по прохождению гребней волн через визир пеленгатора.

***Последовательность решения задачи:***

- в нижней части диаграммы находится точка, соответствующая скорости судна  $V$  и курсовому углу волн  $q$ ;

– из этой точки проводится вертикальная линия до пересечения с кривой, соответствующей определенному кажущемуся периоду волн  $\tau'$ ;

– ордината точки пересечения соответствует длине волны  $\lambda$ .

**Высота волн 3% обеспеченности определяется следующим образом:**

– из наиболее низкой точки судна глазомерно определяется высота трех наиболее крупных из ста волн;

– высота меньшей из трех определенных волн принимается за высоту волн 3 % обеспеченности.

*Степень волнения в баллах* (от 0 до 9) определяется по высоте волны (Мореходные таблицы. Таблица 50-а. Шкала степени волнения) или по признакам для определения состояния поверхности моря (Мореходные таблицы. Таблица 50-б. Шкала состояния поверхности моря).

Рассмотрим примеры использования диаграммы Ремеза для определения зон усиленной бортовой качки:

**Пример 1.** Определить зону усиленной бортовой качки судна, скорость которого  $V = 12$  уз, курсовой угол волны  $q = 110^\circ$ .

– Рассчитываем или находим из судовой информации об остойчивости период свободных колебаний судна:  $T = 12$  с.

– Определяем кажущийся период волн:  $\tau' = 6,5$  с.

– Определяем длину волны по диаграмме:  $\lambda = 40$  м.

– Используя верхние шкалы, определяем кажущиеся периоды волн, соответствующие границам зоны усиленной качки:  $\tau = 9$  с,  $\tau = 17$  с.

– Находим точки пересечения кривых  $\tau = 9$  с,  $\tau = 12$  с,  $\tau = 17$  с с горизонтальной линией, проходящей через отметку  $\lambda = 40$  м и, через них, проводим вертикальные линии. Образованные этими линиями полосы, выделенные на нижней части диаграммы, являются зонами усиленной качки.

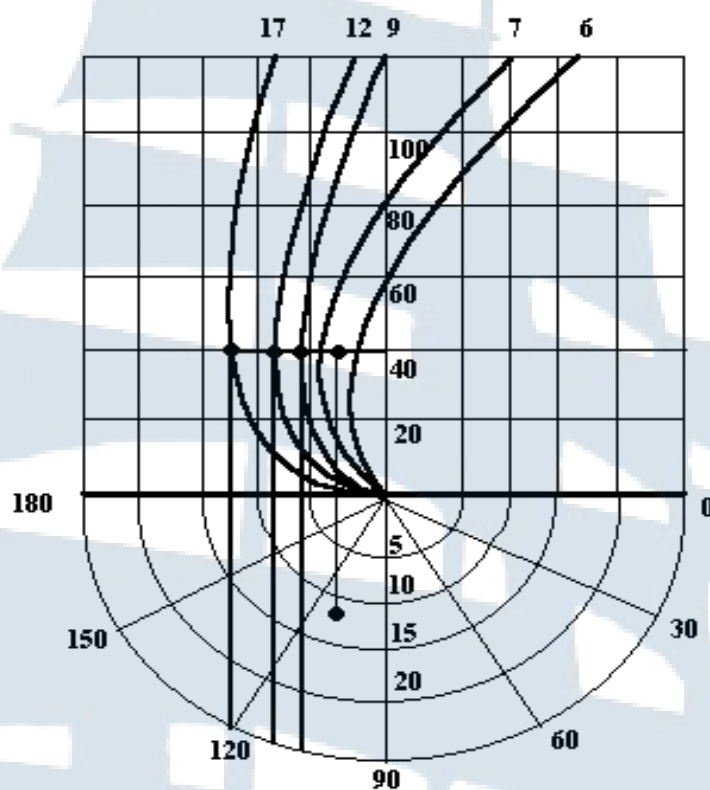


Рис. 11. Схема графического построения к примеру № 1

**Пример 2.** Определить зону усиленной бортовой качки с использованием высоты волны 3 % обеспеченности равной 4,5 м. Период свободных колебаний судна  $T = 16$  с.

– Используя верхние шкалы, определяем кажущиеся периоды волн, соответствующие границам зоны усиленной качки:  $\tau^* = 12$  с,  $\tau^* = 23$  с.

– Находим точки пересечения кривых  $\tau^* = 12$  с,  $\tau^* = 16$  с,  $\tau^* = 23$  с с горизонтальными линиями, проведенными через отметки 4,5 м на шкалах *A* и *B* в левой части диаграммы и через них проводим вертикальные линии. Образованные этими линиями полосы, выделенные на нижней части диаграммы, являются зонами усиленной качки. Более темным полосам соответствуют зоны более сильной качки.

**Пример 3.** Определить зоны усиленной бортовой качки по степени волнения.

– Решение задачи аналогично предыдущему примеру, только горизонтальные линии проводятся через концы отрезков, обозначающих баллы волнения из правой части диаграммы.



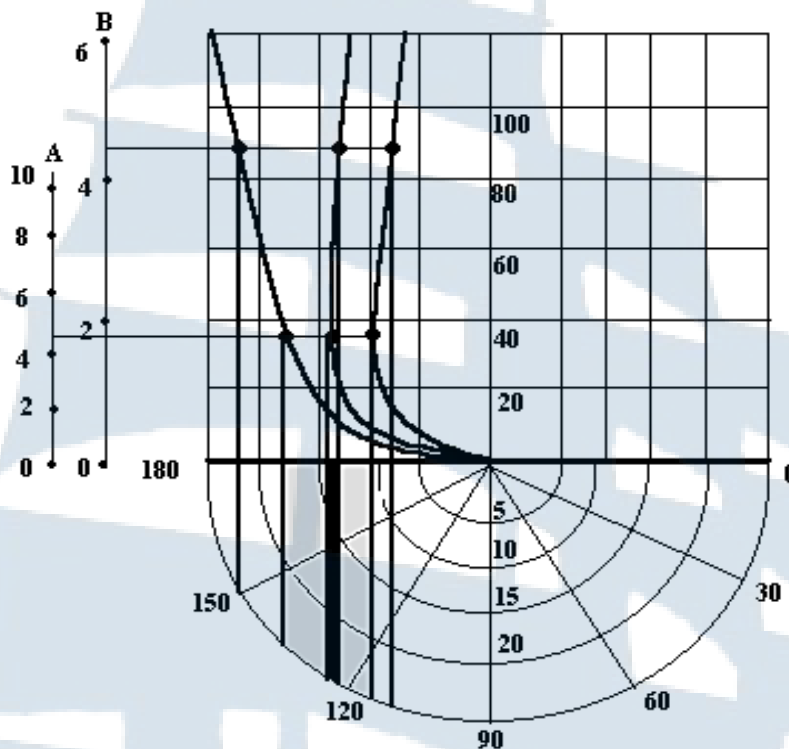


Рис. 12. Схема графического построения к примеру № 3

Универсальная диаграмма может быть использована и для определения резонансных зон для килевой качки. Однако эта задача на практике обычно не решается, поскольку только одна амплитуда килевой качки не определяет начала слеминга и заливания судна.

**Рекомендации по управлению судном при плавании в штормовых условиях:**

- При сильном встречном волнении необходимо снизить скорость судна для избежания слеминга, заливания палуб, неравномерностей в работе двигателя.

- Поворот на новый курс проводится после специальной подготовки, поскольку при его выполнении, когда судно окажется лагом к волне, возможно резкое, близкое к резонансному усиление качки. При подготовке к повороту необходимо определить направление ветра и волнения, реакцию судна на ветер, характер волнения (средний период и длина волн, периодичность наиболее крупных волн). С использованием универсальной диаграммы качки определяются диапазоны курсов и скоростей, при которых наблюдается усиленная качка. При встречном волнении судно приводят против ветра и уменьшают ход до минимально возможного. Поворот начинают, переложив руль на борт и дав полный ход, в момент, когда корма окажется на обратном склоне последней из серии наиболее крупных волн. Изменение курса



с попутного или на попутный к волне следует выполнять плавно в интервале курсовых углов волнения  $180-45^\circ$ . Скорость выбирают таким образом, чтобы после поворота судно не оказалось в *резонансной зоне* и она не была равна скорости распространения волн.

– На нерегулярном волнении поворот выполняют с таким расчетом, чтобы судно проходило лагом к волне с максимальной скоростью поворота в период, когда волны меньше.

– Особую осторожность, при плавании в штормовую погоду, следует соблюдать при длине волны, примерно равной длине судна. В этом случае при встречном волнении наблюдаются резкие изменения нагрузки на корпус, что может вызвать его повреждения. Для предупреждения чрезмерных нагрузок может потребоваться уменьшение скорости хода и изменение курсового угла волнения.

– На попутном волнении может возникнуть угроза потери устойчивости и опрокидывания судна, особенно когда скорость волны близка к скорости судна. Известна формула для расчета метацентрической высоты ( $h$ ):

$$h = r + Z_c - Z_g, \quad (78)$$

где  $r$  – метацентрический радиус;

$Z_c, Z_g$  – отстояние от киля центра величины и центра тяжести.

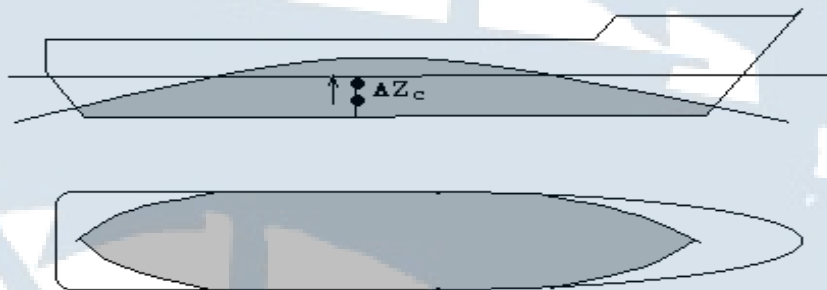


Рис. 13. Вероятное изменение величины  $Z_c$  на гребне волны

Когда судно находится на гребне волны, величина  $Z_g$  не изменяется; величина  $Z_c$  несколько увеличивается, а метацентрический радиус значительно уменьшается, так как он находится в зависимости от площади действующей ватерлинии (выделенный на рисунке участок). В особо неблагоприятных случаях метацентрическая высота уменьшается вплоть до отрицательных значений и судно теряет начальную устойчивость, а его крен достигает значительной величины. Внешними признаками ситуации, при которой возможно опрокидывание, являются быстрое нарастание крена на гребне волны, глубо-

кие зарыскивания судна и его слабая реакция на перекладку руля. При появлении этих признаков в качестве первой меры предосторожности необходимо экстренно снижать скорость.

### **Способы штормования судна**

В тех случаях, когда продолжение рейса в штормовых условиях становится опасным для людей и судна, применяется один из следующих основных способов штормования:

– **Способ штормования на носовых курсовых углах.** Судно удерживается носом против волны. Выбор скорости осуществляется из условия минимальной заливаемости и минимального количества ударов волн в носовую оконечность: обычно это минимально необходимая для сохранения управляемости скорость. Если судно достаточно хорошо управляется и бортовая качка не слишком интенсивная, то можно двигаться под некоторым углом к волнению. Крупнотоннажным судам даже рекомендуется для уменьшения изгибающих моментов на корпусе штормование на курсовых углах волнения  $35-45^\circ$ . Указанный способ рекомендуется для большинства судов.

– **Способ штормования на кормовых курсовых углах.** Судно ложится на курс прямо по волне или под небольшим углом к ней. Способ применяется при достаточной остойчивости судна, когда длина волны больше или меньше длины судна, а скорость судна не равна скорости распространения волн. При таком способе штормования увеличиваются периоды качки, судно не испытывает ударов волн, на палубу попадает меньше воды. Однако на попутном волнении возрастает рыскливость судна, оно хуже слушается руля и попытки удержать судно точно на курсе обычно бесполезны и приводят к усиленной работе рулевой машины.

### **Крепление груза при плавании в штормовых условиях**

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

**Задачи:** *при выполнении курсовой работы по данной теме производятся следующие расчеты:*

- определение сил, действующих на груз при бортовой и вертикальной качке;
- определение сил, действующих на груз при килевой и вертикальной качке;

- расчет усилий, возникающих в найтовах при бортовой качке;
- расчет усилий, возникающих в найтовах при килевой качке;
- расчет крепления грузов.

**Условия расчета:** на крышку грузового трюма судна загружен контейнер (груз-тяжеловес), который крепится *найтовыми*. Схема размещения груза приведена на рис. 14.

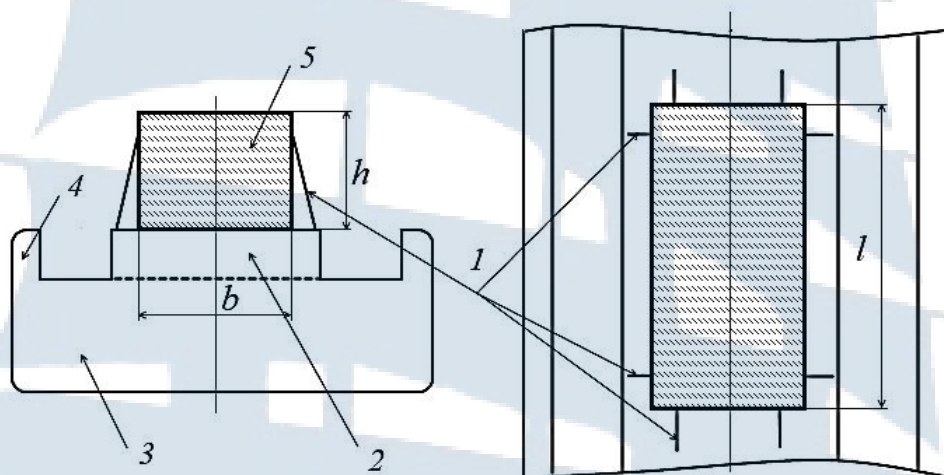


Рис.14. Схема размещения груза:

1 – найтовы; 2 – крышка грузового трюма; 3 – корпус судна;  
4 – фальшборт; 5 – контейнер

При плавании судна в шторм большое значение для обеспечения сохранности грузов и безопасности судна и людей имеет крепление груза, особенно палубного, поскольку на него штормовые условия оказывают наибольшее влияние. Поэтому в порту погрузки необходимо произвести расчеты по креплению грузов, ориентируясь на самые худшие гидрометеорологические условия плавания судна в предстоящем рейсе.

### **Силы, действующие на палубный груз при бортовой и вертикальной качке**

**Силы инерции и тяжести по оси Y** – смещают груз и создают опрокидывающий момент:

$$P_y = m \left[ g \sin \Theta_{max} + \left( \frac{2\pi}{T_\Theta} \right)^2 \left( \Theta_{max} Z + \frac{h_B}{2} \sin \Theta_{max} \right) \right], \quad (80)$$

где  $m$  – масса груза;

$\Theta_{max}$  – максимальный угол крена;

$h_B$  – максимальная высота волн;

$T_o$  – период бортовой качки;  
 $Z$  – аппликата центра тяжести груза;  
 $g$  – ускорение свободного падения.

**Силы инерции и тяжести по оси Z** – нагружает палубу и обеспечивает устойчивость груза

$$P_z = m \left[ g \cos \Theta_{max} + \left( \frac{2\pi}{T_\Theta} \right)^2 \left( \Theta_{max} Y + \frac{h_B}{2} \cos \Theta_{max} \right) \right], \quad (81)$$

где  $Y$  – ордината центра тяжести груза.

**Динамическое давление ветра на палубный груз:**

$$P_Y^1 = 1,5 S_Y, \quad (82)$$

где  $S_Y$  – боковая площадь парусности груза.

**Сила ударов волн при залипании грузов:**

$$P_Y^{11} = p S_Y^1, \quad (83)$$

где  $S_Y^1$  – площадь залипания боковой поверхности;  
 $p = 7,4$  кН при высоте залипания 0,6 м;  
 $p = 19,6$  кН при высоте залипания 1,2 м.

**Суммарная сила, действующая на груз в поперечном направлении:**

$$F_Y = P_Y + P_Y^1 + P_Y^{11}. \quad (84)$$

**Усилия, возникающие в найтовых при бортовой качке ( $F_N$ ):**

– под действием опрокидывающих моментов:

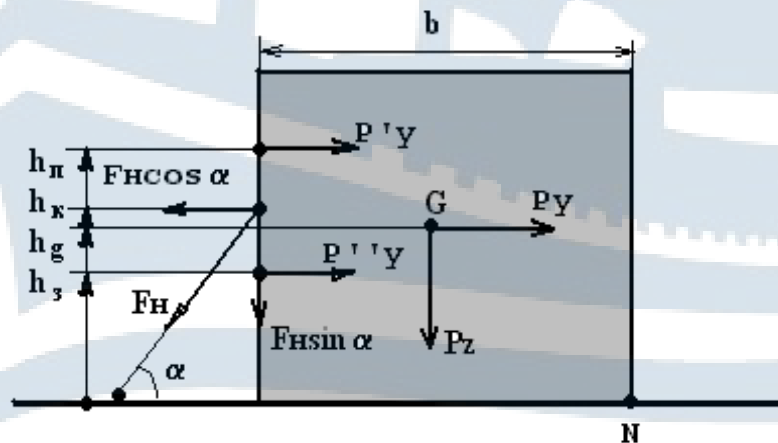


Рис. 15. Схема опрокидывающих груз моментов

Составляем уравнение моментов относительно точки N

$$F_H \cos \alpha \cdot h_k + F_H \sin \alpha \cdot b + P_z \cdot b/2 = P_Y h_g + P_E^1 h_n + P_Y^{11} h_3. \quad (85)$$

Откуда находим

$$F_H = \frac{P_Y h_g + P_Y^{11} h_3 + P_z b/2 - P_E^1 h_n}{b \sin \alpha + h_k \cos \alpha}. \quad (86)$$

– под действием сил, смещающих груз:

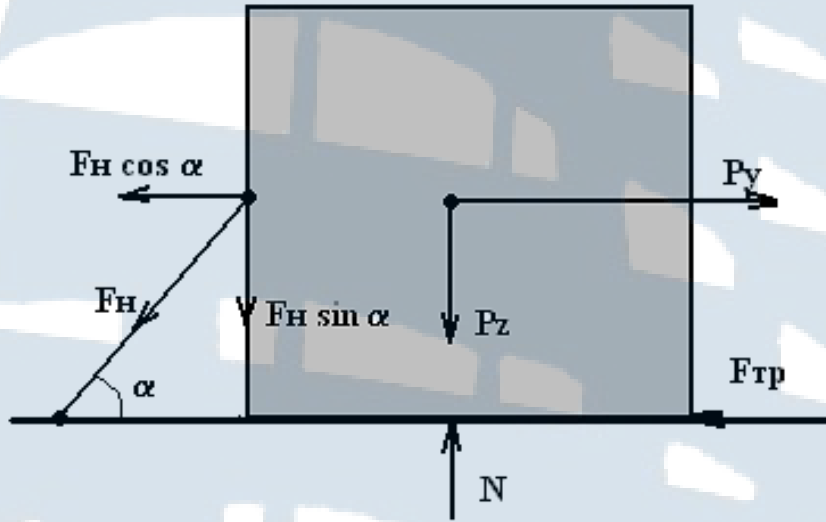


Рис. 16. Схема сдвигающих сил

Составляем уравнения сил:

$$F_Y = F_H \cos \alpha + F_{ТР}, \quad (87)$$

$$P_z + F_H \sin \alpha = N, \quad (88)$$

$$F_{ТР} = fN, \quad (89)$$

где  $N$  – реакция опоры (палубы);  
 $f$  – коэффициент трения скольжения.

Подставляя в первое третье и второе уравнения, получим

$$F_Y = F_H \cos \alpha + fP_z + fF_H \sin \alpha. \quad (90)$$

Коэффициент  $f$  принимается равным:

– 0,15 (сталь-сталь);

– 0,5 (сталь-дерево)

Откуда находим

$$F_H = \frac{F_x - fP_z}{\cos \alpha + f \sin \alpha}. \quad (91)$$



Из полученных значений  $F_H$  выбирается большее, которое и принимается за усилие, возникающее в найтовых при бортовой качке.

### ***Усилия, возникающие в найтовых при килевой качке***

Учитывая небольшую амплитуду килевой качки, уравнения опрокидывающих моментов можно не составлять. Составляется только уравнения сил, смещающих груз аналогично бортовой качке, откуда определяется усилие, возникающее в ***найтовых***

$$F_H = \frac{F_x - f P_z}{\cos \beta + f \sin \beta}, \quad (92)$$

где  $\beta$  – угол между продольным найтовым и палубой.

### ***Расчет крепления груза***

Поперечные и продольные найтовы для крепления груза выбираются в соответствии с ГОСТ 7679-69 по разрывному усилию ( $F_{раз}$ ), которое определяется

$$F_{раз} = F_H k, \quad (93)$$

где  $k$  – коэффициент запаса прочности.

Для крепления палубного груза:  $k = 3$ ; груза в трюмах  $k = 2,5$ .

Если для крепления используется несколько найтовых ( $n$ ), то они выбираются по

$$F_{раз} = F_H k / n. \quad (94)$$

*Дополнительная нагрузка на палубу при обтяжке найтовых принимается равной 10-12 % от суммарного разрывного усилия всех найтовых.*

Канаты для найтовок выбираются из табл. 14.

Канаты двойной свивки типа ЛК-О конструкции 6х30 [0+15+15]+7 о.с. (Выдержки из ГОСТ 3083-80).

Таблица 14

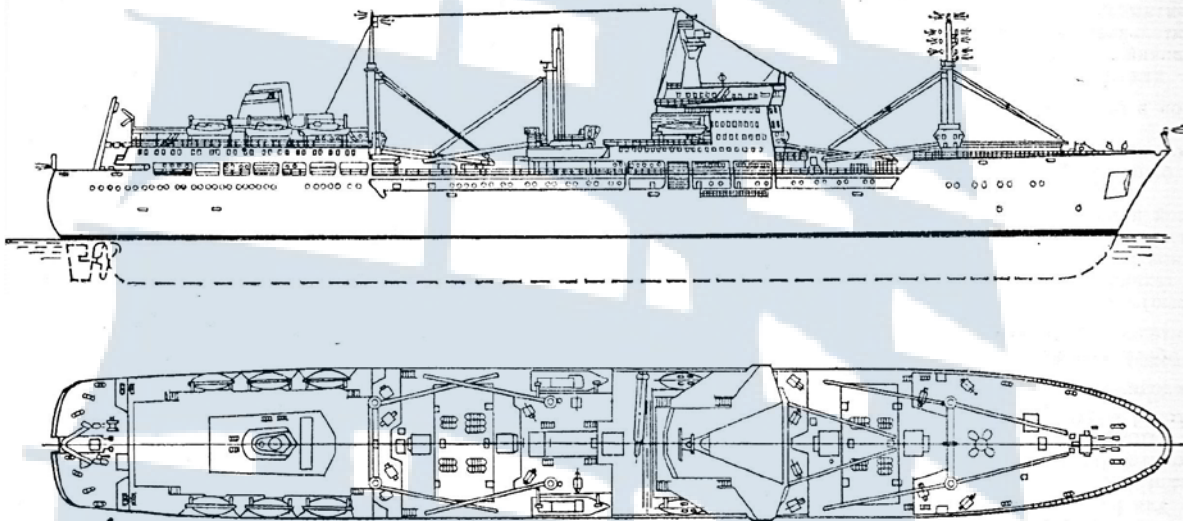
Диам. каната $d_t$ , мм	Расчет. площадь сечения всех проволок $S$ , мм <sup>2</sup>	Ориентир. масса 1 000 м смазанного каната $p_t$ , кг	Маркировочная группа, Мпа [кгс/мм <sup>2</sup> ]		
			1 372 [140]	1 568 [160]	1 764 [180]
			Разрывное усилие каната, Н (не менее)		
19	108,3	1 075,0	122 000	140 000	153 500
21	132,3	1 335,0	152 000	173 500	191 000
23	158,7	1 625,0	185 000	211 000	232 000
25	187,5	1 870,0	213 500	244 000	267 500
26,5	210,7	2 135,0	243 500	278 000	303 500
28,5	243,7	2 495,0	284 500	325 000	357 500
30,5	277,44	2 800,0	319 000	365 500	401 000
32,5	306,07	3 125,0	356 000	407 500	456 000
34,5	348,48	3 555,0	405 500	464 000	509 500
38	421,28	4 305,0	490 500	561 000	616 000
42	523,07	5 345,0	609 500	696 500	765 000
46	611,43	6 240,0	712 500	814 000	894 500
48	670,81	6 815,0	782 000	891 000	980 000
50	733,0	7 490,0	853 600	974 500	1 065 000
53,5	836,91	8 550,0	974 500	1 105 000	1 220 000
57	978,29	9 985,0	1 135 000	1 300 000	1 430 000
61	1 097,76	11 200,0	1 270 000	1 460 000	1 600 000
65	1 246,45	12 450,0	1 420 000	1 625 000	1 785 000

Работу можно выполнять по методике, изложенной в главе 8 учебника «Управление судном» под общ. ред. В.И. Снопкова (СПб.: «Профессионал», 2004).

Таблица вариантов заданий

Вариант	До посадки		После посадки		Курс, гр.	Ветер, гр, м/с	Высота волны, м	Глубина моря, м	U, уз.	U, уз.	Грунт
	d <sub>н</sub> м	d <sub>к</sub> м	d <sub>н</sub> м	d <sub>к</sub> м							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	10,35	10,35	10,20	10,30	30	0°-4	0,1	25	10	12	Ракушка
2	10,30	10,35	10,15	10,30	50	250°-5	0,3	20	11	12,5	Песок
3	10,25	10,30	10,10	10,20	70	20°-6	0,3	18	12	13,5	Гравий
4	10,20	10,25	10,05	10,10	90	260°-7	0,3	17	13	14,5	Галька
5	10,15	10,25	10,00	10,10	110	20°-8	0,3	25	9,5	12	Валуны
6	10,10	10,25	9,95	10,05	130	270°-5	0,4	18	9,0	11,5	Глина
7	10,05	10,20	9,80	9,05	150	60°-4	0,2	25	10	12	Глина, песок
8	10,00	10,20	9,75	10,15	170	280°-5	0,2	26	11	12,5	Ракушка
9	9,90	10,15	9,60	10,10	190	80°-3	0,1	17	12	13,5	Песок
10	9,85	10,15	9,65	10,10	210	290°-4	0,2	18	13	14,5	Гравий
11	9,80	10,10	9,55	10,00	230	110°-5	0,3	19	9,5	12	Галька
12	9,75	10,05	9,60	10,00	250	300°-6	0,3	20	9,0	11,5	Валуны
13	9,65	10,00	9,35	9,90	270	120°-7	0,3	21	8,0	10,0	Глина
14	9,60	9,95	9,40	9,85	290	310°-4	0,2	22	8,5	14	Глина, песок
15	9,55	9,95	9,25	9,80	310	140°-6	0,3	23	8,5	13	Ракушка
16	9,45	9,90	9,15	9,75	330	320°-5	0,3	24	9,5	12	Песок
17	9,35	9,85	9,10	9,70	350	160°-3	0,1	25	9,0	11,5	Гравий
18	9,25	9,85	9,00	9,60	10	330°-9	0,3	26	10	12	Галька
19	9,20	9,80	9,00	9,60	20	180°-6	0,2	27	11	12,5	Валуны
20	9,15	9,75	9,00	9,55	40	190°-5	0,2	28	12	13,5	Глина
21	9,10	9,70	8,75	9,50	60	200°-6	0,3	29	13	14,5	Глина, песок
22	9,05	9,65	8,70	9,45	80	340°-7	0,3	30	9,5	12	Ракушка
23	9,00	9,60	8,75	9,45	100	200°-8	0,3	31	9,0	11,5	Галька
24	8,95	9,55	8,60	9,40	120	230°-8	0,2	32	8,0	10,0	Валуны
25	8,90	9,50	8,65	9,35	140	240°-10	0,3	18	8,5	13	Глина
26	8,85	9,45	8,65	9,05	310	140°-6	0,3	23	8,5	13	Ракушка
27	8,80	9,40	8,60	9,20	330	320°-5	0,3	24	9,5	12	Песок
28	8,75	9,35	8,55	9,15	350	160°-3	0,1	25	9,0	11,5	Гравий
29	8,70	9,30	8,50	9,10	10	330°-9	0,3	26	10	12	Галька
30	8,65	9,25	8,45	9,05	20	180°-6	0,2	27	11	12,5	Валуны
31	8,60	9,20	8,40	9,00	40	190°-5	0,2	28	12	13,5	Глина
32	8,55	9,15	8,35	8,95	60	200°-6	0,3	29	13	14,5	Глина, песок
33	8,50	9,10	8,30	8,90	80	340°-7	0,3	30	9,5	12	Ракушка
34	8,45	9,05	8,25	8,85	100	200°-8	0,3	31	9,0	11,5	Галька
35	8,40	9,00	8,20	8,80	120	230°-8	0,2	32	8,0	10,0	Валуны

**ТТД РМБ типа «ПОСЬЕТ» (модернизированная)  
М = 1: 1000**



**ТТД судна:**

Наибольшая длина  $L_{max}$  – 197,30 м.

Длина между перпендикулярами  $L_{pp}$  – 182,00 м.

Ширина  $B$  – 26,40 м.

Дедвейт  $DW$  – 17 665 т.

Длина по конструктивной ватерлинии  $L_{квл}$  – 185,00 м.

Высота борта  $H_b$  – 14,50 м.

Осадка по летнюю грузовую марку  $T_{cp}$  – 10,32 м.

Осадка в балласте  $T_{0\ cp}$  – 7,2 м.

Водоизмещение (при осадке по летнюю грузовую марку) – 34 665 т.

**Двигательно-рулевой комплекс:**

Главный двигатель – Дизель – Марка 6ДКРН-60/195-10 (6L60МС), производства БМЗ по лицензии фирмы “Burmester&Wein”. Эффективная (спецификационная) мощность (навалу) 7 940 кВт (10 800 э.л.с.) при 111 об/мин. Тип передачи на гребной вал – Прямой. Передний самый полный ход – 117 об/мин (время ограничения работы 1 час). Мощность на заднем ходу равна 68 % от мощности на переднем ходу. Максимальное число последовательных пусков: 12.

## Универсальный коэффициент упора $K_p$ и момента винта $K_m$

$L_p$	$K_p$	$K_m$
0,0	0,305	0,033
0,1	0,278	0,031
0,2	0,240	0,028
0,3	0,196	0,024
0,4	0,145	0,019
0,5	0,086	0,013
0,6	0,018	0,007
0,7	-0,049	-0,002
0,8	-0,142	-0,012
0,9	-0,228	-0,020

**Гребной винт** – фиксированного шага, 4-лопастный, правого вращения.

Шаг,  $H = 4,309$  м.

Диаметр,  $D = 5,730$  м.

Шаговое отношение,  $H/D_g = 0,752$ .

Дисковое отношение,  $A/A_d = 0,66$ .

КПД валопровода,  $\eta_{валопр} = 0,98$ .

### Градация ходов

Тип двигателя - ДИЗЕЛЬ. Мах мощность 1x7940 кВт (1x10800 э.л.с.)			
Режим работы СЭУ	ГД-об/мин	Средняя скорость судна в узлах	
		В грузу, $d = 11,35$ м	В балласте, $d = 7,35$ м
Передний самый полный	117	15,30	15,90
Передний полный	111	14,79	15,40
Передний маневренный	89	11,54	12,50
Передний средний	81	10,70	11,40
Передний малый	55	7,05	7,90
Передний самый малый	45	5,80	6,50
Задний полный	-94	7,30	7,60

### Рулевое устройство:

Руль – полубалансирный, обтекаемого профиля НАСА.

Рулевой привод – рулевая электрогидравлическая машина Р18N3 с двумя электроприводными агрегатами. Номинальный крутящий момент на баллере при угле перекладки 35 градусов (0,61 радиана)



630 кНм (63 тсм). Перекладка руля с 0,61 рад (35 градусов) одного борта на 0,52 рад (30 градусов) другого борта на полном переднем ходу при работе одного насосного агрегата не менее 28 с.

Общая площадь пера руля – 26,0 м.

Высота пера руля по баллеру – 7,4 м.

Баллер пера руля – на 113 шп.

Площадь подреза кормы  $f_k = 42$  м.

Отношение рабочей площади пера руля к общей 1,0 в полном грузу; 0,91 в балласте.

### ***Якорное устройство:***

Брашпильная приставка AMV 69174 с приводом от лебедки MV 16,3 якоря типа Холла массой по 7 000 кг.

2 якорные цепи калибром 73 мм длиной по 300 м каждая: левая – 12 смычек; правая – 12 смычек (1 смычка = 25,0 м).

Блок индикации – в рулевой рубке.

Подъемное усилие на звездочке – 21,5 тс.

Скорость подъема – 9 м/мин.

Усилие при отрыве якоря от грунта – 32,3 тс.

Усилие удерживания тормоза звездочки – 157,5 тс (1 575 кН)

Носовой бульб – нет.

### ***Швартовное устройство:***

Автоматические гидравлические швартовные лебедки MV 16 с номинальным тяговым усилием в первом ряду каната 160 кН (16 тс):

– две в кормовой части;

– две в середине;

– две в носовой части с брашпильной приставкой со швартовным канатом на барабане окружностью 200 мм;

– две вьюшки для хранения швартовных канатов окружностью 70 мм;

– 8 вьюшек для хранения швартовных канатов окружностью 200 мм;

– 2 вьюшки для хранения стальных канатов;

– 6 канатов капроновых 200 мм на барабанах лебедок;

– 8 канатов капроновых 200 мм на вьюшках (разрывное усилие 578 кН, длина по 120 м);

– 2 каната капроновых 200 мм на банкетках;

– 3 каната капроновых окружностью 70 мм (один из них запасной хранится в кладовой);

– 2 стальных каната (пожарные) 26,5 мм.

### ***Буксирное устройство:***

- 1 стальная вьюшка;
- 4 кнехта диаметром 650 мм;
- 1 канат буксирный диаметром 61 мм, длина 500 м.

Канат двойной свивки типа ЛК конструкции 6х30(0+15+15) +7 о.с. по ОСТ 5.2333-80, (ограничение ГОСТ 3083- 80) 7 органических сердечников, 1-й слой – 90 проволок, 2-й слой – 90 проволок.

Канат 61.0-Г-1-ОЖ-Н-1764 (180) ГОСТ 3083-80. Канат диаметром 61,0 мм, грузового назначения, марки 1, оцинкованного по группе ОЖ, правой крестовой свивки, нераскручивающегося, маркировочной группы 1 764 МПа (180 кгс/мм<sup>2</sup>). Ориентировочная масса 1 000 м смазанного каната 11 200 кг, разрывное усилие 1 635 кН. 1 полубрага носовая: два «уса», планка соединительная, три скобы СА- 40.

### ***Из спецификации РМБ:***

При плавании в балласте минимальная осадка носом составляет около 5,7 м, кормой 7,0 м.

При осадке  $d_{cp} = 10,32$  м боковая площадь парусности 3 152 м, абсцисса центра боковой парусности = - 15,92 м. Лобовая площадь парусности 803 м<sup>2</sup>.

Дедвейт судна при осадке 10,32 м, дальности плавания около 10 500 миль составляет 17 665 тонн.

### ***Состав дедвейта:***

- тяжелое топливо – 4 400 т;
- дизельное топливо – 3 400 т;
- смазочное масло – 56 т;
- котельная вода – 107 т;
- питьевая вода – 1 100 т;
- мытьевая вода – 600 т;
- экипаж с багажом – 76 т;
- провизия и тара – 160,0 т;
- расходные материалы – 9,9 т;
- промснабжение – 571 т;
- груз – 7 185 т.

**Выписка из таблицы элементов теоретического чертежа:**

$d$  – осадка, м;

$V$  – объемное водоизмещение, м<sup>3</sup>;

$S_{вл}$  – площадь ватерлинии, м<sup>2</sup>;

$X_f$  – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии, м;

$\alpha$  – коэффициент полноты ватерлинии;

$\beta$  – коэффициент полноты подводной части миделя;

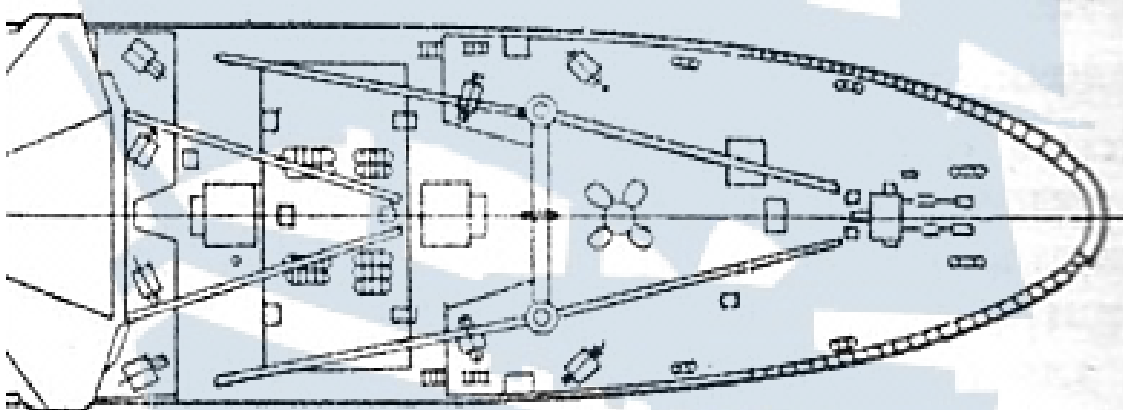
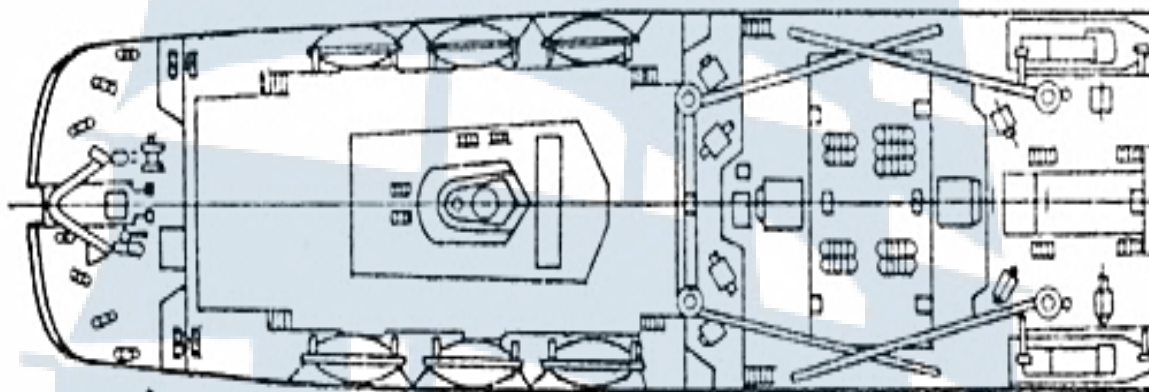
$\delta$  – коэффициент общей полноты;

$\Omega$  – площадь смоченной поверхности м<sup>2</sup>.

$d$	$V$	$S_{вл}$	$X_f$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$	$\Omega$
4,00	12 568,6	3 354	4,89	0,797	0,980	0,744	4 205
4,20	13 240,5	3 363	4,81	0,799	0,981	0,747	4 274
4,40	13 913,6	3 371	4,73	0,802	0,982	0,752	4 342
4,60	14 588,8	3 380	4,64	0,805	0,983	0,753	4 410
4,80	15 265,8	3 389	4,54	0,808	0,983	0,756	4 479
5,00	15 944,6	3 398	4,40	0,811	0,984	0,759	4 547
6,00	19 366,1	3 443	3,62	0,825	0,987	0,771	4 892
7,00	22 829,9	3 485	2,52	0,836	0,989	0,781	5 240
8,00	26 343,7	3 544	0,95	0,842	0,990	0,781	5 610
9,00	29 925,3	3 624	-1,06	0,845	0,996	0,774	6 004
10,00	33 598,6	3 722	-3,13	0,854	0,992	0,770	6 411
11,00	37 307,3	3 811	-4,51	0,878	0,993	0,782	6 805

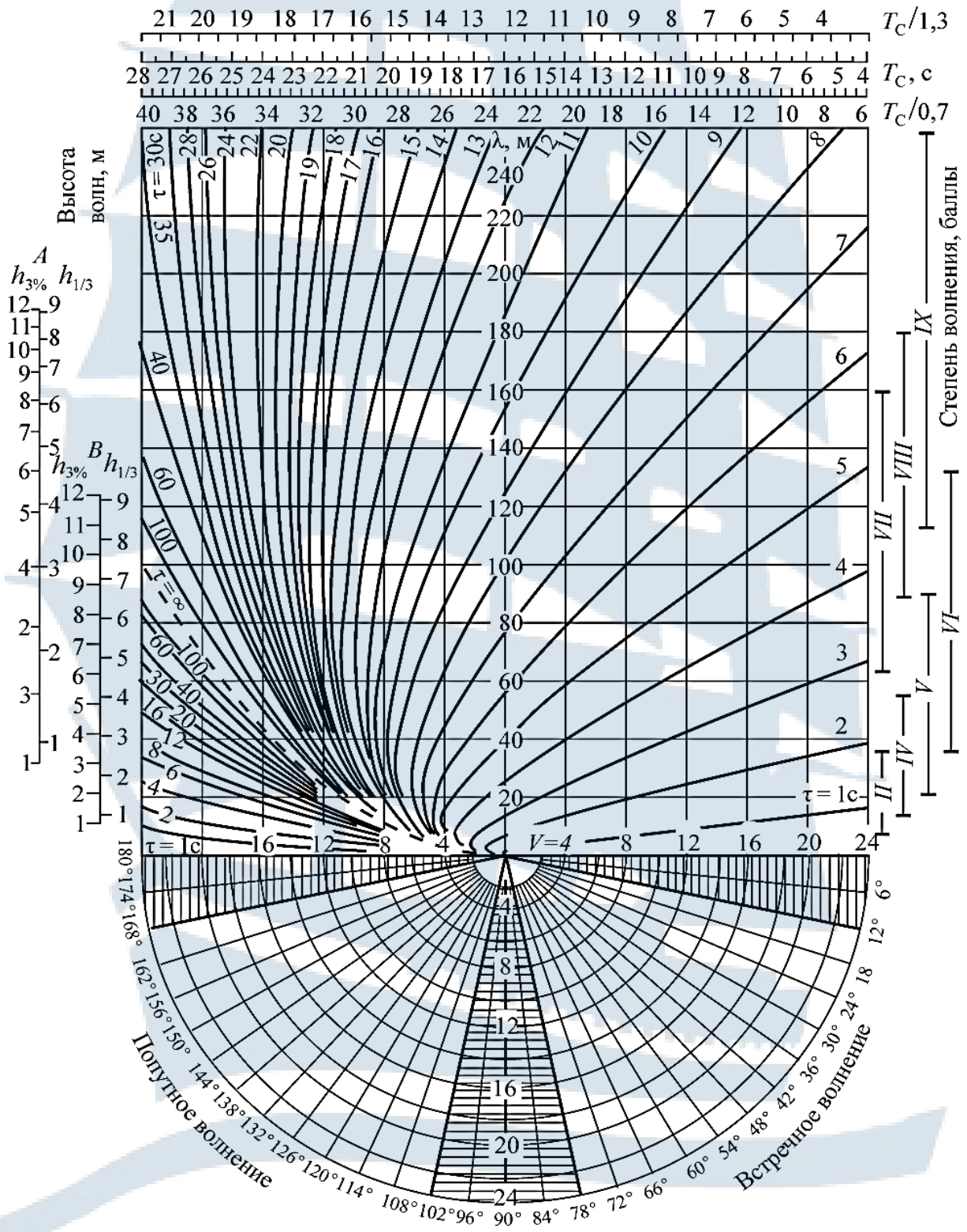
**План по палубе бака и юта РМБ**

*(при выполнении КР на копии приложения III начертить эскиз  
носового и кормового буксирного устройства)*



**Универсальная диаграмма Ю.В. Ремеза**

$\lambda$  – длина волны,  $V$  – скорость судна в узлах,  $q$  – курсовой угол волны





## Сила ветра по шкале Бофорта

Баллы Бофорта	Название ветра	Скорость ветра, м/сек (км/ч)	Давление ветра, Н/м <sup>2</sup>
0	Штиль	0,0-0,2 (0)	0
1	Тихий	0,3-1,5 (4)	1
2	Легкий	1,6-3,3 (9)	5
3	Слабый	3,4-5,4 (16)	20
4	Умеренный	5,5-7,9 (23)	40
5	Свежий	8,0-10,7 (31)	60
6	Сильный	10,8-13,8 (40)	110
7	Крепкий	13,9-17,1 (50)	170
8	Очень крепкий	17,2-20,7 (60)	250
9	Шторм	20,8-24,4 (72)	350
10	Сильный шторм	24,5-28,4 (84)	460
11	Жестокий шторм	28,5-32,6 (97)	640
12	Ураган	32,7 и более (более 104)	Свыше 740

## Шкала степени волнения моря

Степень волнения, баллы	Элементы волн			Словесная характеристика волнения	Признаки определения состояния поверхности моря
	высота, м	длина, м	период, с		
0	-	-	-	отсутствует	Зеркально-гладкая поверхность
I	0-0,25	5	2	слабое	Рябь, появляются гребни небольших волн
II	0,25-0,75	5-15	2-3	умеренное	Небольшие гребни волн начинают опрокидываться, но пена не белая, а стекловидная
III	0,75-1,25	15-25	3-4	значительное (умеренное)	Хорошо заметны небольшие волны; гребни некоторых из них опрокидываются, образуя местами белую клубящуюся пену – «барашки»
IV	0,75-1,25	15-25	3-4	значительное (умеренное)	Хорошо заметны небольшие волны; гребни некоторых из них опрокидываются, образуя местами белую клубящуюся пену – «барашки»
V	2,0-3,5	40-75	5-7	сильное	Появляются гребни большой высоты – их пенящиеся вершины занимают большие площади, ветер начинает срывать пену с гребней волн

Степень волнения, баллы	Элементы волн			Словесная характеристика волнения	Признаки определения состояния поверхности моря
	высота, м	длина, м	период, с		
VI	3,5-6,0	75-125	7-9	сильное (крупное)	Вершины гребней очерчивают длинные валы ветровых волн; пена, срываема с гребней ветром, начинает вытягиваться полосами по склонам волн
VII	6,0-8,5	125-170	9-11	очень сильное (штормовое)	Длинные полосы пены, срываеваемой ветром, покрывают склоны волн и, местами сливаясь, достигают подошвы
VIII	8,5-11,0	170-220	11-12	очень сильное (жесткое)	Пена широкими, плотными сливающимися полосами покрывает склоны волн, отчего поверхность становится белой, только местами во впадинах волн видны свободные от пены участки
IX	> 11,0	> 220	> 12	исключительное (ураган)	Поверхность моря покрыта слоем пены, воздух наполнен водяной пылью и брызгами, видимость значительно уменьшена

**БАЛТИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА**

**Судоводительский факультет**

**КАФЕДРА «БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ»**

**Курсовая работа по дисциплине  
«Маневрирование и управление судном»**

**ТЕМА КР \_\_\_\_\_**

**Вариант № \_\_\_\_**

**КР выполнил курсант: \_\_\_\_\_**  
Группа / Ф.И.О.

**КР проверил преподаватель: \_\_\_\_\_**  
Должность / Ф.И.О.

**Оценка и дата: \_\_\_\_\_**

**Калининград  
2019**

**БГАРФ**

### 3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куваев Е.Д., Цапенко В.И. «Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Управление судном», Мор. ГУ им. адм. Г.И. Невельского. – Владивосток, 2007.

2. Клементьев А.Н., Токарев П.Н., Хвостов Р.С. Маневрирование и управление судном: метод. указания к выполнению лабораторных работ для студ. очного и заочного обучения специальности 260505.65 «Судовождение». – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016.

3. Лихачев А.В. Управление судном. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004.

4. Снопков В.И. Управление судном: учебник для вузов. – СПб.: «Профессионал», 2004.

5. Снопков В.И. Управление судном в шторм. – СПб., 2010.

6. Шарлай Г.Н. Управление морским судном. – Владивосток: Мор. Гос. ун-т, 2015.

7. Кубачев И.А., Кургузов С.С., Данилюк М.М., Махин В.П. Сборник задач по управлению судном. – М.: Транспорт, 1984.

8. Алексеев Л.Л. Практическое пособие по управлению морским судном. – СПб.: ЦНИИМФ, 2003.

9. Сборник № 12 резолюций ИМО. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1998.





978980002160

**Александр Константинович Сирота  
Владимир Константинович Тимофеев**

## **МАНЕВРИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ**

Учебно-методическое пособие  
по написанию и защите курсовой работы  
для курсантов и студентов  
специальности 26.05.05 «Судовождение»  
всех форм обучения

*Ведущий редактор О.В. Напалкова  
Младший редактор Г.В. Деркач*

*Компьютерное редактирование  
И.В. Леонова*

*Подписано в печать 10.09.2019 г.  
Усл. печ. л. 4,9. Уч.-изд. л. 5,4.*

*Лицензия № 021350 от 28.06.99.*

*Печать офсетная.*

*Формат 70 x 100 1/16.*

*Заказ № 1497. Тираж 40 экз.*

Доступ к архиву публикации и условия доступа к нему:  
<http://bgarf.ru/academy/biblioteka/elektronnyj-katalog/>

**БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»**

**Издательство БГАРФ,  
член Издательско-полиграфической ассоциации высших учебных заведений  
236029, Калининград, ул. Молодежная, 6.**

# БГАРФ