

15. Рекомендации по организации штурманской службы на морских судах Украины (РШСУ-98). — Одесса, ЮжНИИМФ, 1990. — 111с.
16. Еврашкин Р. И. Вопросы морской практики / Р. И Еврашкин., С. Б. Бондарь, Г. З. Гончаров. — Одесса, 1993. — 96 с.
17. Григорьев В. В. Судовые такелажные работы / В. В. Григорьев, В. М. Грязнов. — М.: Транспорт, 1975. — 112 с.
18. Макаров И. В. Морское дело / И. В. Макаров. — М.: Транспорт. 1989. — 287 с.
19. Регистр. Правила классификации и постройки морских судов. — Л.: Транспорт, 1990. том 1, — 620 с.
20. Регистр. Правила по конвенционному оборудованию морских судов. Правила по грузоподъемным устройствам морских судов. — Л.: Транспорт, 1989. — 350 с.

Заказ № _____ от _____ 2009. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ



Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет
Факультет морских технологий и судоходства
Кафедра судовождения и безопасности
судоходства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению
контрольной работы

по дисциплине

«Теория и практика управления судами»

для студентов заочной формы обучения
специальности 7.100301 + 8.100301 —
«Судовождение»

Севастополь
2009



УДК 621.396.932

Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине **«Теория и практика управления судами»** для студентов заочной формы обучения специальности 7.100301 + 8.100301 — **«Судовождение»** / **Н.В. Тришин, Г.В. Боков.** — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. — 60 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам заочной формы обучения в изучении дисциплины «Теория и практика управления судами», а также в выполнении контрольной работы, предусмотренной учебным планом специальности.

Методические указания соответствуют минимальным требованиям стандарта подготовки вахтенных помощников судов валовой вместимости 500 или более, кодекса ПДНВ раздела А-II, таблиц А-II/1 и А-II/2; а также кодекса МКУБ-93 и кодекса ОСПС.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседаниях кафедры Судовождения и безопасности судоходства, протокол № 3 от 23.10.2009 г.

Допущены учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент:

Коберник И.Н., старший преподаватель кафедры СБС, капитан дальнего плавания.

7. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная конвенция об охране человеческой жизни на море 1974 г. с изменениями и дополнениями (Конвенция СОЛАС-74), Международная морская организация. — Лондон, 1974. — 398 с.
2. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года с поправками 1995 года (Конвенция ПДНВ/78/95) и Кодекс по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты (Кодекс ПДНВ), Международная морская организация. — Лондон, 1998. — 421 с.
3. Снопков В.И. Управление судном: Учебник для вузов / В.И. Снопков. — М.: Транспорт, 1991. — 359 с.
4. Дидык А.Д. Управление судном и его техническая эксплуатация. Учебник для мореходных училищ / А.Д. Дидык, В.Д. Усов; Р.Ю. Титов. — М.: Транспорт, 1990. — 320 с.
5. Кубачев Н.А. Сборник задач по управлению судами: Учеб. пособие для морских высших учебных заведений / Н.А. Кубачев, С.С. Кургузов, М.М. Данилюк, В.П. Махин. — М.: Транспорт, 1984. — 139 с.
6. Баранов Ю.Л. Сборник задач по использованию радиолокатора для предупреждения столкновений судов: Учеб. пособие для вузов / Ю.Л. Баранов, М.М. Лесков, Н.А. Кубачев. — М.: Транспорт, 1989. — 96 с.
7. Щетинина М.А. Управление судном и его техническая эксплуатация. / М.А. Щетинина. — М.: Транспорт, 1983. — 655 с.
8. Цурбан А. И. Швартовые операции морских судов / А. И. Цурбан, А. М. Оганезов. — М.: Транспорт, 1987. — 176 с.
9. Козырь Л. А. Управление судами в шторм / Л. А. Козырь, Л. Р. Аксютин. — М.: Транспорт, 1991. — 95 с.
10. Кондрашина В. Т. Справочник судоводителя по навигационной безопасности мореплавания / В. Т. Кондрашина, А. С. Мальцев, Л. А. Козырь. — Одесса, Маяк, 1990 — 168 с.
11. Мальцев А. С. Управление движением судна / А. С. Мальцев. — Одесса.: Весть, 1995. — 235 с.
12. Справочник капитана дальнего плавания / Л. Р. Аксютин, В. М. Бондарь, Г. Г. Ермолаев и др.; под ред. Г. Г. Ермолаева. — М.: Транспорт, 1988. — 248 с.
13. Международный свод сигналов (МСС - 1965), № 9016; изд. Гл. управл. Навигации и океанографии МО, 1982. — 174 с.
14. Рекомендации по использованию радиолокационной информации для предупреждения столкновения судов. — М.: В/О «Мортехинформреклама», 1991. — 72 с.



6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

1. Постановка судна на два якоря и съемка с них.
2. Швартовка к причалу на одновинтовом судне без помощи буксиров при условии воздействия ветра и течения.
3. Швартовка судна к причалу с использованием одного или нескольких буксиров.
4. Швартовка судов кормой к причалу.
5. Швартовка судов в открытом море.
6. Управление судном при плавании во льдах.
7. Управление судном в шторм.
8. Управление судном при выполнении буксировочных операций.
9. Снятие судна с мели.
10. Организация радиолокационного наблюдения и использование средств радиолокационной прокладки при управлении судна.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель и задачи дисциплины	4
2. Содержание дисциплины	5
3. Требования к выполнению контрольной работы	6
3.1. Общие указания	6
3.2. Требования к оформлению контрольной работы	6
4. Задание на контрольную работу	7
4.1. Задание 1. Условия безопасной якорной стоянки	7
4.2. Задание 2. Управление судном в узкости	7
4.3. Задание 3. Плавание судов в штормовую погоду	8
4.4. Задание 4. Буксировка судов морем	9
4.5. Задание 5. Снятие судов с мели	9
5. Методические указания и рекомендации	12
5.1. Общие положения	12
5.2. Рекомендации к выполнению задания 1 Условия безопасной якорной стоянки	12
5.3. Рекомендации к выполнению задания 2 Управление судном в узкости	17
5.4. Рекомендации к выполнению задания 3 Плавание судов в штормовую погоду	23
5.5. Рекомендации к выполнению задания 4 Буксировка судов морем	33
5.6. Рекомендации к выполнению задания 5 Снятие судов с мели	46
6. Теоретические вопросы	58
7. Список рекомендованной литературы	59



1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью преподавания дисциплины «Теория и практика управления судами» является более углубленное изучение студентами теоретических и практических аспектов судовождения, управлением судном в стесненных и нештатных условиях, а также учет «человеческого фактора» в соответствии с новыми Резолюциями, принятыми ИМО.

Основные знания, приобретаемые студентами при изучении дисциплины

В результате изучения дисциплины «Теория и практика управления судами» студент должен знать:

- 1) теоретические основы управления судном;
- 2) инерционно-тормозные характеристики и маневренные элементы судна;
- 3) существующие средства управления судном и их технические возможности;
- 4) методику и практику проведения швартовных операций;
- 5) управление судном при плавании в стесненных условиях;
- 6) методику и практику постановки судна на якорь и съёмки с якоря;
- 7) управление судном в штормовых условиях и плавание во льдах;
- 8) управление судном при выполнении буксировочных операций и снятия судна с мели.

Изучение дисциплины «Теория и практика управления судами» базируется на знаниях, полученных студентами при освоении следующих дисциплин:

- а) управление судном;
- б) навигация и лоция;
- в) безопасность жизнедеятельности на море;
- г) навигационно-информационные системы с электронными картами;
- д) использование РЛС и САРП при расхождении судов.

сателе создается максимально возможный дифферент на корму. Далее он становится на якоря на безопасной глубине и заводит на аварийное судно стальные швартовы. После обтягивания якорных цепей и швартовых спасатель дает ход, постепенно увеличивая обороты. Направление размыва грунта и ширина канала регулируются переключками руля и разворотами судна-спасателя с помощью якорей и швартовых. Во время работы промерами периодически контролируются глубины и ведется наблюдение за струей от винтов. Отсутствие в струе частиц грунта свидетельствует о том, что размыв на данном участке закончен.

Примечание. Необходимо отметить, что все перечисленные способы снятия судна с мели в сложных случаях посадки используются комплексно. Например, производят дифферентовку и частичную разгрузку судна, затем для увеличения стягивающего усилия заводят якоря. Буксировке судна для снятия с мели другими судами или спасателями обычно предшествуют все перечисленные выше способы уменьшения силы реакции грунта, и в самых неблагоприятных случаях – устройство канала размывом грунта, если в направлении стягивания имеются недостаточные глубины. При наличии водотечности корпуса до начала работ по снятию с мели производится заделка пробоин и откачка воды из затопленных отсеков.

5.6.10. 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 :

$$E_k = \frac{DV^2}{2},$$

которая переходит в потенциальную энергию упругой деформации буксирного троса E_n :

$$E_n = \frac{l_m P_{раз}^2}{8d^2 \varepsilon};$$

где: l_t — длина буксирного троса;

$P_{раз}$ — разрывное усилие троса;

d — диаметр троса;

ε — упругость троса ($\varepsilon = 37$ кН/мм²).

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

$$V = \frac{P_{раз}}{2} \sqrt{\frac{l_m}{Dd^2 \varepsilon}};$$

5.6.11. Снятие с мели устройством каналов и размывом грунта

Устройство каналов с размывом грунта используется на мягких грунтах, когда другие способы снятия судна с мели не дали положительных результатов.

Обычно для размыва грунта используются специализированные суда — спасатели, буксиры, ледоколы. Поскольку эффективность размыва находится в прямой зависимости от уклона гребного вала, на спа-

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Содержание дисциплины «Теория и практика управления судами» (в соответствии с ОПП, утвержденной МОН Украины 12.09.2002 г., а также Модель курса ИМО 7.01) включает рассмотрение следующих вопросов:

- 1) теоретические основы управления судном;
- 2) инерционно-тормозные характеристики и маневренные элементы судна;
- 3) существующие средства управления судна и их технические возможности;
- 4) методика и практика проведения швартовных операций в порту;
- 5) методика и практика проведения швартовных операций судов в открытом море;
- 6) постановка судна на якорь, швартовные бочки и в док;
- 7) съёмка с якоря;
- 8) управление судном при плавании во льдах;
- 9) плавание в особых условиях — в узкостях и на мелководье;
- 10) управление судном в системах разделения движения;
- 11) управление судном в шторм;
- 12) управление судном при выполнении буксировочных операций;
- 13) снятие судна с мели;
- 14) предупреждение столкновения судов;
- 15) управление судном в нестандартных ситуациях;
- 16) человеческий фактор и его роль в системе управления судном.



3. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1. Общие указания

Учебным планом по курсу «Теория и практика управления судна» для студентов заочной формы обучения предусмотрено выполнение одного контрольной работы, в которой необходимо точно и ясно изложить условия, ход решения и результаты выполнения отдельных задач.

Типичные ошибки, допускаемые студентами при оформлении контрольной работы:

- использование различных систем единиц;
- неправильное использование и перевод единиц;
- неверное обозначение размерностей вычисляемых величин;
- арифметические ошибки при расчетах.

3.2. Требования к оформлению контрольной работы

1. Задание выполняется в обычной ученической тетради. Оно должна быть аккуратно оформлено, разборчиво написано. Для замечаний преподавателя на каждой странице оставляются поля шириной 3...4 см. Все страницы нумеруются.

2. Допускается выполнение контрольной работы при помощи ПК на листах формата А4.

3. На обложке тетради (титальном листе) указываются: фамилия, имя, отчество; группа; шифр (номер зачетной книжки); дисциплина; адрес студента.

4. Рисунки, графики, выполнение которых требуется в задании, должны быть сделаны аккуратно от руки или с помощью персонального компьютера. Графики допускается строить на миллиметровой бумаге с указанием размерностей по осям.

5. Расчётные формулы должны приводиться в тексте работы в общем виде с объяснением буквенных значений.

6. Результаты расчётов следует приводить до трёх значащих цифр.

7. В конце работы указывается использованная литература (название подраздела «Перечень ссылок»). При этом он должен быть составлен в соответствии с государственным стандартом ГОСТ 7.1-84.

8. Работа должна быть подписана автором.

При такой расстановке стягивающее усилие F определяется:

$$F = (P_1 + P_{я1}) + (P_2 + P_{я2}) \cos \alpha_2 + (P_3 + P_{я3}) \cos \alpha_3 + P_{3x};$$

где P_1, P_2, P_3, P_{3x} — силы тяги винтов судов;

$P_{я1}, P_{я2}, P_{я3}$ — силы тяги, создаваемые якорными устройствами судов — спасателей.

5.6.9. Якорное снабжение морских судов

Масса каждого станкового якоря (кг) должна быть не менее:

$$Q = kN_c;$$

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;

N_c — характеристика судов для снабжения.

Суммарная длина обеих цепей в м для станковых якорей определяется по формуле:

$$l_2 = 87r\sqrt[4]{N_c};$$

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) рассчитывается по формуле:

$$d = st\sqrt{N_c};$$

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.



где: h — начальная метацентрическая высота, м;

$$\Delta T_{cp} = P_{сн} / q.$$

5.6.7. 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

5.6.8. Снятие с мели с помощью других судов

Буксировка — наиболее часто используется для снятия судна с мели с посторонней помощью. Рассчитывается необходимое стягивающее 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 рисунке 6.13.

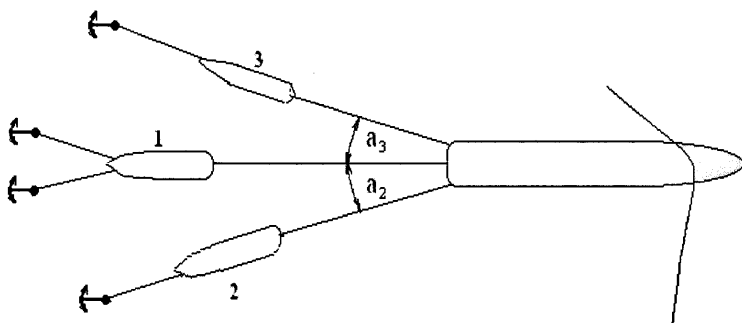


Рисунок 5.13. — Схема расположения спасателей при снятии судна с мели

4. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Работа для студентов заочной формы обучения включает 5 расчетных задания и ответ на 1 теоретический вопрос, соответствующие содержанию дисциплины. Ориентировочный объем выполненной контрольной работы составляет 10...12 страниц.

Исходные данные для расчетных заданий и теоретические вопросы выбираются по последней цифре номера зачетной книжки.

4.1. Задание 1. Условия безопасной якорной стоянки

4.1.1. Определить необходимую длину якорной цепи для стоянки на якорь, обеспечивающей полное использование держащей силы якоря, если масса якоря $M_{я}$, диаметр звена якорной цепи d , глубина h . Силу трения якорной цепи о грунт не учитывать.

Таблица 4.1 — Варианты заданий к пункту 4.1.

Номер задания	$M_{я}$, кг	d , мм	h , м	Номер задания	$M_{я}$, кг	d , мм	h , м
01	3650	62	50	11	2500	53	40
02	3650	62	80	12	2500	53	25
03	3650	62	100	13	2500	53	60
04	6000	72	15	14	2500	53	80
05	6000	72	30	15	2500	53	100
06	6000	72	50	16	4800	57	30
07	6000	72	80	17	4800	57	30
08	6000	72	100	18	4800	57	50
09	3000	57	15	19	4800	57	80
10	3000	57	30	20	4800	57	100

4.2. Задание 2. Управление судном в узкости

4.2.1. Определить изменение осадки на ходу судна носом и кормой.



Таблица 4.2 — Варианты заданий к пункту 4.2.

Номер задачи	L; м	T; м	H; м	ψ	V, м
01	195,0	10,7	15,0	0	12,0
02				1/100 на корму	12,0
03				1/500 на нос	12,0
04	276,9	17,0	20,0	0	14,0
05					12,0
06					10,0
07					8,0
08					6,0
09				1/100 на корму	14,0
10					12,0
11					10,0
12					8,0
13					6,0
14				1/500 на нос	14,0
15					12,0
16					10,0
17					8,0
18					6,0
19	350	16,0	20,0	0	14,0
20	370	17,0	20,0	0	16,0

4.3. Задание 3. Плавание судов в штормовую погоду

4.3.1. Судно следует в условиях регулярного волнения. Построить резонансные зоны и выбрать маневр изменением курса для выхода из них.

Таблица 4.3 — Варианты заданий к пункту 4.3.

Исходные данные	Номера задач									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{с}}, \text{уз}$	14	12	8	10	13	6	4	10	12	9
$\tau_l, \text{с}$	16	17	14	12	14	14	12	15	17	12

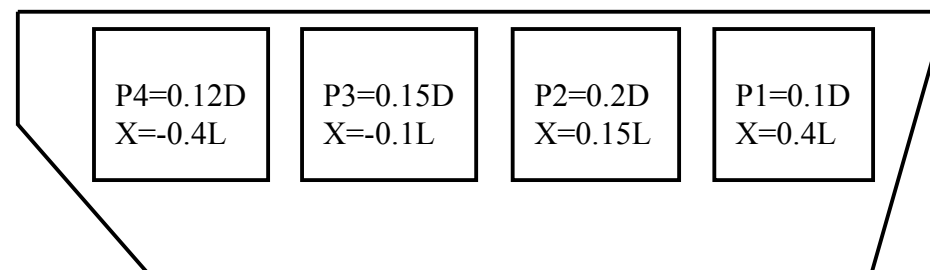


Рисунок 5.12. —Схема размещения груза

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

$$x_R = \frac{DH}{\Delta DL} (\Delta T_H - \Delta T_K); \quad y_R = \frac{Dh}{\Delta D} \sin \Theta_{кр};$$

При снятии грузов расположенных в различных местах (см. рисунок 6.12.), координаты их общего центра тяжести определяются из выражений:

$$X = (p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n) / (p_1 + p_2 + \dots + p_n);$$

$$Y = (p_1 y_1 + p_2 y_2 + \dots + p_n y_n) / (p_1 + p_2 + \dots + p_n);$$

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:

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



5.6.5. 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 Y_1 в точку с ординатой Y_2 изменения осадок бортов при креновании $\Delta T'_{кр}$ составят:

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

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.

5.6.6. 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.

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

$$P = \frac{F - P_{zx}}{fg}; \quad P_{zx} = 0.5P_{nx};$$

Порядок расчета P_{nx} показан в разделе «Буксировка судов морем»

Продолжение таблицы 4.3

τ_2, c	7	7	7	6	6,5	6	5,5	6,5	7	6
$q, ^\circ$	130	110	75	160	140	25	15	160	113	114
λ, m	100	40	60	30	80	70	40	130	80	100
Изменить	V_c	q	q	V_c	q	q	V_c	q	q	V_c

4.4. Задание 4. Буксировка судов морем

4.4.1. Буксирная линия состоит из L м буксирного троса, вес 1 м троса в воздухе p'_T (Н). Горизонтальная составляющая натяжения T_0 . Определить расстояние между судами AB и стрелу провеса l .

Таблица 4.4 — Варианты заданий к пункту 4.4.

Номер задачи	L, m	p'_T, H	T_0, kH
1	300	92	40
2	300	76	150
3	400	92	70
4	400	92	310
5	400	104	200
6	400	104	120
7	600	104	120
8	600	104	280
9	550	92	200
10	350	92	140

4.5. Задание 5. Снятие судов с мели

Условные обозначения

D — водоизмещение судна, т;

$L_{\square}$ — длина судна между перпендикулярами, м;

q — число тонн на 1 м изменения средней осадки, т/м;



H — продольная метацентрическая высота, м;
 h — поперечная метацентрическая высота, м;
 T_H — осадка носом до посадки на мель, м;
 T_O — осадка на миделе до посадки на мель, м;
 T_K — осадка кормой до посадки на мель, м;
 T_{H1} — осадка носом после посадки на мель, м;
 T_{O1} — осадка на миделе после посадки на мель, м;
 T_{K1} — осадка кормой после посадки на мель, м;
 x, z — координаты центра тяжести снимаемого груза, м;
 x_1, x_2 — координаты центра тяжести перемещаемого груза, м;
 x_g, x_g — координаты центра тяжести судна, м;
 x_p — абсцисса точки приложения равнодействующей силы реакции груза, м;
 x_A — абсцисса внешней кромки банки, м;
 f — коэффициент трения стального корпуса судна о грунт;
 ΔD — потерянное водоизмещение, т;
 F — величина усилий, необходимых для стягивания судна с мели, кН;
 P_{3x} — упор винта заднего хода, кН;
 P — сила упругости, развиваемая в буксирном тросе, кН;
 $P_{\text{разр}}$ — разрывное усилие троса, м;
 l_t — длина троса, м;
 d_t — диаметр троса, м;
 S_t — площадь сечения троса, м;
 E — модуль упругости троса; для стального троса $E = 8 \cdot 10^7$ кН/м²;
 g — ускорение свободного падения тел, 9,81 м/с²;
 V_o — скорость полного хода, м/с;
 V — начальная скорость буксировки, м/с;
 P — масса снимаемого груза, т;
 P_1 — масса перемещаемого груза, м.
 В случае учета силы присоса грунта значения P и P_1 следует умножать на 1,15 (песчаные грунты), и на 1,25 (глинистые грунты).

4.5.1. Снятие судов с мели стягиванием

Определить количество груза, которое необходимо выгрузить с судна, чтобы оно могло сняться с мели с посторонней помощью (методом стягивания).

Судно сидит на мели всем корпусом, грунт — глина с песком. Пробоин нет. Силу присоса грунта не учитываем.

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 $\Delta T'_H$ и $\Delta T'_K$ определяется величина ab уменьшения осадки в месте касания грунта (см. рисунок 6.11.).

$$ab = \Delta T'_K + (\Delta T'_H - \Delta T'_K) \left(\frac{1}{2} + \frac{xa}{L} \right)$$

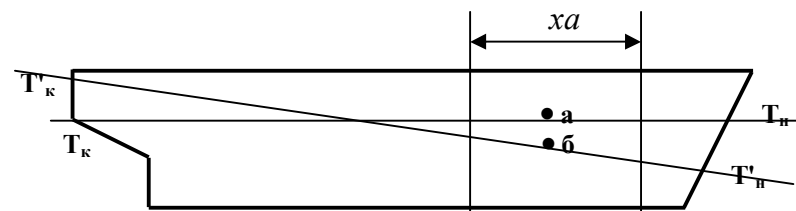


Рисунок 5.11. — Схема изменения посадки судна при дифферентовке

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:

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

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

$$\Delta T_H = P(xL / 2DH - 1 / q);$$

$$\Delta T_K = -P(xL / 2DH + 1 / q);$$

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.



5.6.4. 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 АБ в месте соприкосновения с грунтом (см. рисунок 6.10.):

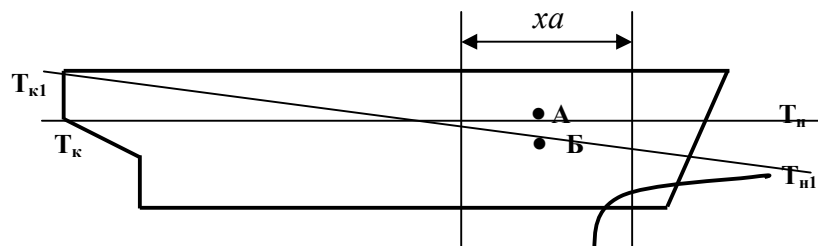


Рисунок 5.10. — Схема посадки судна на мель

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

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 ΔT_n и кормой ΔT_k составят:

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

Расположение судов-спасателей согласно схеме на рисунке 5.13. Судно № 1 — однотипное с аварийным; суда № 2, 3 — спасатели с упором винта на переднем ходу $P_{пх 2,3} = 287,2$ кН.

Таблица 4.5 — Варианты заданий к пункту 4.5.

Исходные данные	Номер задачи									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D, \text{ Т}$	127200	110000	45840	33350	18560	17900	17400	12740	9860	9530
$L_{\perp}, \text{ м}$	235	215	195	165	149	140	134	130	113	115
$q, \text{ т/м}$	8400	8300	4670	3680	2430	2330	2200	1910	1600	1400
$H, \text{ м}$	230	210	255	207	144	146	140	136	120	110
$h, \text{ м}$	2,5	2,0	2,6	1,03	1,03	0,95	0,95	0,97	0,99	0,91
$T_{нв}, \text{ м}$	15,9	13,8	10,5	9,74	9,50	8,90	8,85	7,80	7,12	6,90
$T_{ов}, \text{ м}$	16,0	14,0	10,7	9,74	9,68	8,93	9,15	7,85	7,16	7,00
$T_{кв}, \text{ м}$	16,1	14,2	10,9	9,74	9,86	8,96	9,45	7,90	7,20	7,10
$T_{нб}, \text{ м}$	13,0	11,2	8,8	7,62	6,10	7,20	8,00	6,78	5,92	5,93
$T_{об}, \text{ м}$	15,15	13,55	10,1	8,95	8,85	8,58	8,95	7,65	6,90	6,80
$T_{кб}, \text{ м}$	17,3	15,9	11,4	10,28	11,60	9,96	9,90	8,52	7,88	7,67
$x(x_1), \text{ м}$	+82	+82	+61	+54	+50	+50	+45	+45	+30	+30
$z(z_1), \text{ м}$	+12	+12	+7,4	+8	+10	+5	+5	+5	+5	+4
$x_2, \text{ м}$	-60	-60	-35	-29	-57	-50	-45	-50	-40	-40
$z_2, \text{ м}$	+12	+12	+7	+8	+8	+5	+6	+6	+5	+4
$x_p, \text{ м}$	-0,5	-0,5	± 0	-0,2	-3,1	-1,0	+0,6	-0,2	-0,8	-0,2
$x_p, \text{ м}$	+50	+50	+30	+30	+35	+50	+45	+45	+30	+30
θ°	8°пб	5°лб	9°лб	8°пб	10°пб	10°лб	6°пб	10°лб	5°лб	8°пб
f	0,22	0,42	0,30	0,38	0,32	0,22	0,42	0,30	0,38	0,32
$P_{пх}, \text{ кН}$	1679,1	1679	1239	771	750	565,4	713,1	532,4	438,2	398,5
$P_{зх}, \text{ кН}$	1343	1343	991,2	616,8	600	452,3	570,5	425,9	350,6	318,8
$P, \text{ Т}$	3000	2500	1000	1000	800	400	200	200	250	200
$P, \text{ Т}$	3000	2500	1000	1000	800	400	200	200	250	200



5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

5.1. Общие положения

При оформлении результатов выполнения расчётных заданий необходимо приводить: формулировку задания; исходные данные к расчёту; необходимые формулы и результаты их преобразования; таблицы; графики; выводы, содержащие анализ полученных результатов.

Все графики выполняются на миллиметровой бумаге, которая клеивается в соответствующих местах работы, либо с помощью графических редакторов на персональном компьютере.

При оформлении вручную рисунки и графики следует выполнять простым карандашом с применением линейки и лекала. При построении зависимостей допускается применение цветной пасты и фломастеров.

Графики выполняются в удобном масштабе на прямоугольной сетке либо с использованием осей со стрелками. Масштаб и размерности размерных величин должны быть ясны из графика.

При ответах на теоретические вопросы и при использовании готовых выражений необходимы ссылки на библиографические источники. Ссылки даются в квадратных скобках, например: [п], где п — порядковый номер источника в перечне ссылок, который оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84 (с изменениями) и приводится в конце контрольной работы.

Расчёты должны сопровождаться подробными пояснениями и выкладками, а ответы на теоретические вопросы должны быть краткими и содержать суть излагаемого материала.

5.2. Рекомендации к выполнению задания 1 Условия безопасной якорной стоянки

Теоретическое обоснование якорной стоянки судна

Выбору места якорной стоянки должно предшествовать изучение физико-географических, навигационных и гидрометеорологических условий рейда. Место якорной стоянки выбирают с учетом цели и продолжительности стоянки, а также технико-эксплуатационного состояния судна и особенностей якорного устройства.

Безопасность стоянки оценивают следующими факторами: защищенностью от ветра и волнения, размерами акватории, наличием течений и приливно-отливных явлений, навигационной обеспеченностью района, глубинами, рельефом дна и грунтом. В каждом случае учитывают состояние погоды, прилива и течения на момент постановки на якорь, а при продолжительных стоянках — и прогноз погоды.

где: h — поперечная метацентрическая высота;

Θ — угол приобретенного в результате посадки на мель крена судна.

Реакция грунта определяется по формуле:

$$R = g \cdot \Delta D [кН];$$

где g — ускорение свободного падения.

При повреждении корпуса и поступлении воды внутрь судна сила реакции грунта увеличивается на величину веса влившейся воды.

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.

5.6.3. Снятие с мели работой машины на задний ход

Для выполнения данной операции, прежде всего, необходимо:

а) определить стягивающее усилие F, необходимое для снятия с мели:

$$F = f R;$$

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;

б) определить силу тяги винта на задний ход $R_{зх}$ из паспортной диаграммы тяги или расчетными методами;

в) 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.



Судно на мели приобретает ту осадку, которую бы оно приобрело, находясь на плаву, при снятии с него груза, равному массе потерянного водоизмещения, с точки приложения равнодействующей сил реакции грунта.

Величина потерянного водоизмещения ΔD определяется:

$$\Delta D = q(T_{cp} - T_{cp1});$$

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

T_{cp} — средняя осадка до посадки на мель. Определяется по формуле:

$$T_{cp} = (T_n + T_k) / 2;$$

где: T_n , T_k — осадки носом и кормой до посадки на мель.

T_{cp1} — средняя осадка после посадки на мель рассчитывается:

$$T_{cp1} = (T_{n1} + T_{k1}) / 2;$$

где: T_{n1} и T_{k1} — осадки носом и кормой, снятые после посадки на мель.

Абсцисса (x_R) и ордината (y_R) равнодействующей силы реакции грунта определяются по формулам:

$$x_R = \frac{DH}{\Delta DL} (\Delta T_n - \Delta T_k); \quad y_R = \frac{Dh}{\Delta D} \sin \Theta_{кр};$$

где: D — водоизмещение при средней осадке, которую судно имело до посадки на мель;

H — продольная метацентрическая высота;

L — длина судна между перпендикулярами.

$$\Delta T_n = T_n - T_{n1}; \quad \Delta T_k = T_k - T_{k1};$$

Под влиянием внешних факторов (ветер, течение) судно, стоящее на якоре, может развернуться на якорном канате или переместиться по окружности, описанной вокруг якоря радиусом:

$$R_{я} = x + L_{\max};$$

где: x — горизонтальная проекция выпущенного якорного каната, м;

$L_{\max}$ — максимальная длина судна, м.

Площадь круга, ограниченного радиусом $R_{я}$ называют местом якорной стоянки судна. Оно должно располагаться в стороне от створных линий, фарватеров, подводных кабелей и других судов. Наименьшая глубина здесь должна быть такой, чтобы во время отлива и при качке на волнении судно не могло коснуться грунта или своего якоря, лежащего на грунте.

Следует избегать стоянок на якоре на глубинах, меньших определенных по формуле:

$$H_{гд} = 1,2 \cdot d_{\max} + 0,7 \cdot h_B;$$

где: $H_{гд}$ — глубина места якорной стоянки в малую воду, м;

$d_{\max}$ — наибольшая осадка судна, м;

h_B — максимальная высота волны для данного сезона в районе стоянки, м.

На акватории крупных портов расстановкой судов на рейде занимается специальная служба, которая по ультракоротковолновой связи или через лоцмана назначает номер точки якорной стоянки. Вместимость акватории оценивают по числу вписанных окружностей расчетного радиуса с соблюдением особенностей конкретного района стоянки.

Минимальная площадь, необходимая для якорной стоянки одного судна, указывается в Справочнике по портам и якорным местам, в котором все суда водоизмещением более 500 т условно разделены на 5 групп. Сведения сведены в таблицу 5.1.



Таблица 5.1.— Зависимость площади якорной стоянки от размеров судна

Группа судов	Водоизмещение судна, т	Размеры судна		Наибольшая осадка судна, м	Площадь акватории, необходимая для якорной стоянки одного судна, кв
		Длина, м	Ширина, м		
I	500...5000	80	12	5	2,5
II	5000...10000	120	16	7	4,0
III	10000...15000	140	18	8	4,5
IV	15000...20000	160	20	9	5,5
V	Свыше 20000	180	24	11	7,0

На месте якорной стоянки предпочтительнее иметь ровный рельеф дна. От характера грунта зависит держащая сила якоря. Наиболее благоприятна якорная стоянка на песчаных и илисто-песчаных грунтах. На илистых и глинистых грунтах якоря держат хорошо, но все, кроме адмиралтейского, забиваются илом или глиной и после срыва плохо забирают. На мелкокаменистом грунте якоря Матросова и катерный могут заклиниваться. На крупнокаменистом грунте могут заклиниваться якоря Холла.

Держащая сила якорей на каменистых грунтах зависит не только от характера грунта, но и от отношения размеров преобладающих частиц грунта к длине лапы якоря. Чем больше это отношение, тем хуже держит якорь.

Стоянка на скальных грунтах, таких, как плита, отдельные скалы, крупнообломочные глыбы, крупные валуны, без крайней необходимости не рекомендуется. На этих грунтах якоря либо не держат, скользя по скале, либо, зацепившись за выступы или трещины скал, обладают очень большой держащей силой. Если до того, как якорь зацепится, судно приобретает значительную скорость дрейфа, якорное устройство не выдержит, и произойдет обрыв цепи или поломка якоря. Зацепившийся за скальный грунт якорь, как правило, срывается при изменении направления натяжения якорного каната, в частности при рыскании судна.

Судно, стоящее на якорю, подвергается воздействию сил: ветра R_A , течения R_T , волнения $R_{волн}$, инерционных сил рыскания и качки $R_{и.к}$. Этим силам противодействует держащая сила якорного устройства. Судно не будет дрейфовать, если горизонтальная составляющая равно-

мая, необходимой для принятия более обоснованного решения по снятию судна с мели.

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 (см. рисунок 6.9.).

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.

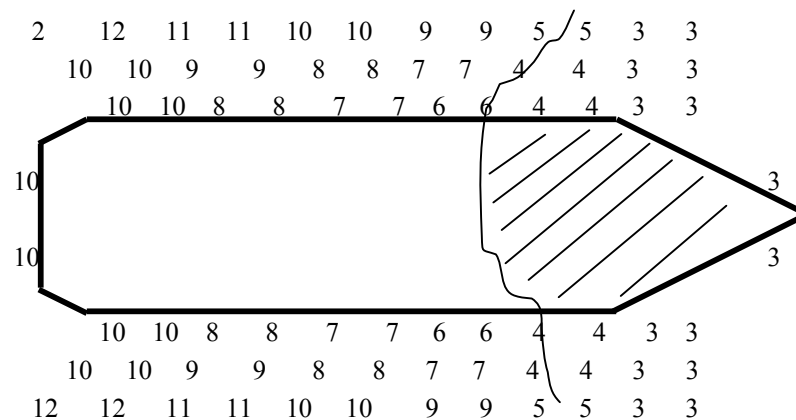


Рисунок 5.9. — Планшет глубин

5.6.2. Силы, действующие на судно, сидящее на мели

Реакция грунта (сила давления судна на грунт). 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.



Потеря ориентировки	– 13.1%;
Передоверие управления судном лоцману	– 8.6%;
Плавание без лоцмана в районе лоцманской проводки	– 9.2%;
Неправильное управление судном в штормовых условиях	– 11.7%;
Чрезмерная скорость	– 6.7%;
Ошибочные действия при расхождении с судами	– 8.4%;

5.6.1. Первоочередные действия экипажа судна при посадке на

мель

При посадке на мель **вахтенный помощник** капитана выполняет следующие мероприятия:

- 1) останавливает машину;
- 2) объявляет общесудовую тревогу;
- 3) включает УКВ радиостанцию на 16 канале;
- 4) в темное время суток включает палубное освещение;
- 5) выставляет огни и знаки согласно МППСС-72;
- 6) определяет место судна;
- 7) дает команду начать контрольную откачку из льял.

Аварийная партия выполняет следующие мероприятия:

- 1) проверяет закрытие водонепроницаемых и противопожарных дверей;
- 2) осматривает корпус судна;
- 3) определяет характер и размеры повреждений и в случае поступления воды внутрь судна приступает к борьбе за живучесть.

Если при посадке на мель не ощущалось ударов о грунт, а контрольные откачки из льял и проведенные замеры уровня жидкостей в цистернах и танках свидетельствуют о том, что корпус не получил повреждений и судно сохранило курс, которым оно следовало до посадки, обычно сразу после посадки на мель работой машины на задний ход пытаются сойти на глубокую воду. При необходимости делаются попытки «расшевелить» судно на грунте перекладкой руля с борта на борт и путем резкого и кратковременного изменения работы машины на передний ход. При отсутствии положительного результата в течение 20...30 минут, стопорят машину и проводят детальный сбор инфор-

действующей внешних сил ΣR уравнивается держащей силой якорного устройства F_x (рисунок 6.1.), т. е.

$$\Sigma R = R_A + R_T + R_{\text{ВОЛН}} + R_{II} \leq F_x;$$

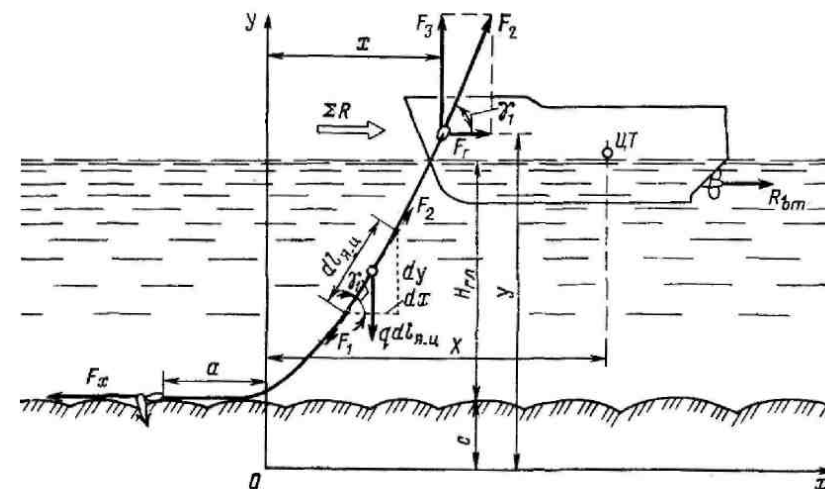


Рисунок 5.1. — Расчет длины провисающей части якорной цепи

Условия безопасной якорной стоянки. Держащая сила (в Н) якорного устройства F_x складывается из держащей силы якоря F_A и держащей силы участка якорной цепи, лежащей на грунте:

$$F_x = F_A + a \cdot q \cdot f \cdot g;$$

где: a — длина участка цепи, лежащей на грунте, м;
 q — линейная плотность якорной цепи в воде, кг/м;
 f — коэффициент трения цепи о грунт;
 g — ускорение свободного падения.
 Линейная плотность якорной цепи (в кг/м):

$$\text{в воздухе:} \quad q = 0,021 \cdot d_{II}^2;$$

$$\text{в воде:} \quad q = 0,021 \cdot 0,87 \cdot d_{II}^2 = 0,018 \cdot d_{II}^2.$$

где: $d_{ц}$ — калибр якорной цепи, мм.

Держащая сила якоря может быть условно принята трем весам якоря (т.е. коэффициент держащей силы якоря равен трем, что соответствует роду грунта — гальке):

$$F_{Я} = 3 \cdot M_{Я} \cdot g;$$

где: $M_{Я}$ — масса якоря.

Для полного использования держащей силы якоря необходимо, чтобы его веретено не отрывалось от грунта, так как даже незначительный его подъем приводит к резкому уменьшению держащей силы якоря. Это условие будет соблюдено, если вершина кривой (цепной линии), по которой провисает якорный канат, располагается между судном и скобой якоря или касается скобы в момент, когда горизонтальная составляющая равнодействующей внешних сил, действующих на судно, равна держащей силе якоря.

Участок цепи, лежащий на грунте, создает небольшую держащую силу, но он способствует тому, что сила F_X направлена горизонтально. Это создает хорошие условия для работы якоря и полного использования его держащей силы на данном грунте.

Из рисунка 5.1. следует, что в результате действия внешних сил в якорной цепи у клюза возникает сила натяжения F_X , которую можно разложить на две составляющие: F_T и F_3 . Сила F_T компенсирует действие внешних сил, т. е. $F_T = \Sigma R$. Сила F_3 действует по вертикали. Натяжение якорной цепи передается якорю. Якорный канат провисает по кривой, называемой цепной линией.

Длину провисающей части якорной цепи можно определить по формуле:

$$l = \sqrt{1 + \frac{2F}{ph}};$$

где: h — глубина места якорной стоянки, м;

p — вес 1 метра погонной длины якорной цепи в воде, $p = q \cdot g$.

Горизонтальное расстояние от клюза до точки подъема якорной цепи от грунта рассчитывается по формуле:

Рекомендации по управлению судами при буксировке

Главное при управлении судами во время буксировки — это предотвращение резких рывков, чтобы свести к минимуму динамические нагрузки в буксирной линии.

Для избежания рывков в начале движения, когда буксирный канат начинает обтягиваться, на буксировщике необходимо застопорить машину и в дальнейшем скорость движения увеличивать постепенно. Полную длину буксирной линии устанавливают при выходе на достаточную глубину.

На прямых курсах буксируемое судно должно следовать в кильватерной струе буксировщика, а во время поворотов держаться внешней кромки кильватерной струи. Буксировщику следует избегать резких поворотов — их необходимо производить плавно при небольших углах перекадки руля.

Все буксируемые суда обладают повышенной рыскливостью — чем больше скорость буксировки, тем больше рыскание. Если не удастся предотвратить рыскание с помощью руля, то необходимо уменьшить скорость буксировки и застопорить винт буксируемого судна. Большое тормозящее действие винта существенно улучшает его устойчивость на курсе.

При буксировке в штормовых условиях курсы следует выбирать таким образом, чтобы уменьшить рывки, возникающие при орбитальном движении судов. Наибольшие рывки наблюдаются при движении судов против, или по волнению, особенно при большой разности фаз орбитального движения. Поэтому длину буксирной линии (при наличии такой возможности) следует выбирать так, чтобы суда одновременно всходили на волну и спускались с нее.

Отдача буксирного троса обычно происходит на малых глубинах при остановленных судах. Буксирный трос отдается на одном из судов, ложится на грунт и другое судно выбирает его.

На больших глубинах буксирный трос отдается на малом ходу во избежание опасного сближения судов из-за провисания троса. В этом случае буксирный трос отдается на буксировщике, чтобы он не оказался намотанным на гребной винт.

5.6. Рекомендации к выполнению задания 5 Снятие судов с мели

Посадки на мель и касания грунта составляют одну треть общего числа навигационных аварийных случаев.

Основными причинами аварий являются следующие:

Неудовлетворительный контроль за местом судна — 60%;



$$DM = l_{\phi} = l_x \frac{p_m}{p_u};$$

Расчет по формулам цепной линии производится для четырех участков:

$$DM = l_{\phi}; \quad DE = l_x; \quad BE = l_m - l_x;$$

$$AM = l_u + l_{\phi};$$

$$AB = X_{AM} - X_{DM} + X_{DE} + X_{BE}.$$

Расчет каждого участка выполняется дважды: для $T_0 = F_g$ и $T_0 = 0.5$ Рраз.

Если при расчетах получилась величина DE меньше нуля, то это означает, что вершина цепной линии лежит на участке более тяжелого троса (см. рисунок 6.8.).

Расчеты такие же, как и предыдущем случае, но с учетом того, что DE — фиктивный участок цепной линии BE.

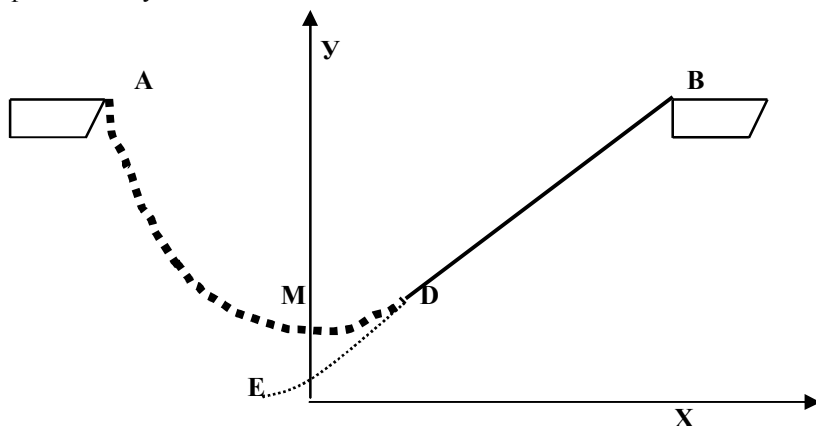


Рис. 5.8. — Неоднородная буксирная линия с вершиной на цепном участке

$$x = k \cdot \ln \frac{l + \sqrt{l^2 + k^2}}{k};$$

5.3. Рекомендации к выполнению задания 2 Управление судном в узкости

Узкости — стесненные в навигационном отношении участки водных пространств на подходах к портам и на их акваториях, а также фарватеры в районах мелководья, навигационных опасностей и минных полей. Для движения судна и управления им особое значение имеют узкости с ограниченными шириной и глубиной, причем последняя имеет первостепенное значение.

Сущность влияния мелководья на условия движения судна заключается в изменении системы волн, образующихся вокруг его корпуса, что вызывает рост сопротивления воды, проседание корпуса, увеличение дифферента на корму и ухудшение управляемости. Это влияние начинает сказываться при уменьшении глубин в районе плавания до значения

$$H \geq 4d + \frac{3V^2}{g}; \quad (6.3.1.)$$

где: d — осадка судна, м;

V — скорость судна, м/с;

g — ускорение свободного падения, м/с².

При решении практических задач управления судном мелководьем можно считать, когда отношение глубины к осадке судна $H/d < 3$.

При движении судна на мелководье основное влияние на его ИТХ оказывают три фактора:

- 1) увеличение сопротивления воды — уменьшает инерционность судна и снижает его начальную (установившуюся) скорость при одинаковой частоте вращения по сравнению с глубокой водой;
- 2) увеличение присоединенных масс и моментов инерции — увеличивает пропорционально инерционность судна и частично компенсирует влияние сопротивления воды, оказывает стабилизирующее влияние на траекторию судна при свободном и активном торможении;
- 3) коэффициент упора винта по сравнению с глубокой водой увеличивается, возникает необходимость снижения частоты вращения вследствие перегрузки двигателя.



Для расчета скорости на мелководье может быть применена формула, полученная А.П. Смирновым (она позволяет определить величину изменения скорости на мелководье с погрешностью $\pm 2-3\%$):

$$V_M = k_V \cdot k_\delta \cdot k_{B/d} \cdot V_\infty, \quad (6.3.2.)$$

где: V_M — скорость судна на мелководье, м/с;
 V_∞ — скорость судна на глубокой воде, м/с;
 k_V — коэффициент пропорциональности (см. таблицу 6.2.);
 k_δ — коэффициент пропорциональности за полноту водоизмещения подводной части корпуса судна (см. таблицу 6.3.);
 $k_{B/d}$ — коэффициент пропорциональности отношения ширины судна к осадке B/d (см. таблицу 6.4.).

Таблица 5.2. — Значения коэффициента k_V

H/d	Скорость V_∞ на глубокой воде, уз											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97
3,0	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94
2,5	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92
2,0	0,98	0,97	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88
1,5	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,84	0,84
1,3	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 5.3. — Значения коэффициента k_δ

Δ	0,7-0,75	0,75-0,80	0,80-0,85
k_δ	1	0,973	0,947

Таблица 5.4. — Значения коэффициента $k_{B/d}$

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

ной линии AM, от которой отсчитывается величина X для данной цепной линии.

Две цепные линии ED и MA соединяются в точке D без какого-либо перегиба, т.е. одна цепная линия плавно переходит в другую.

Буксирная линия имеет вид, представленный на рисунке, а вершина лежит на участке легкого троса.

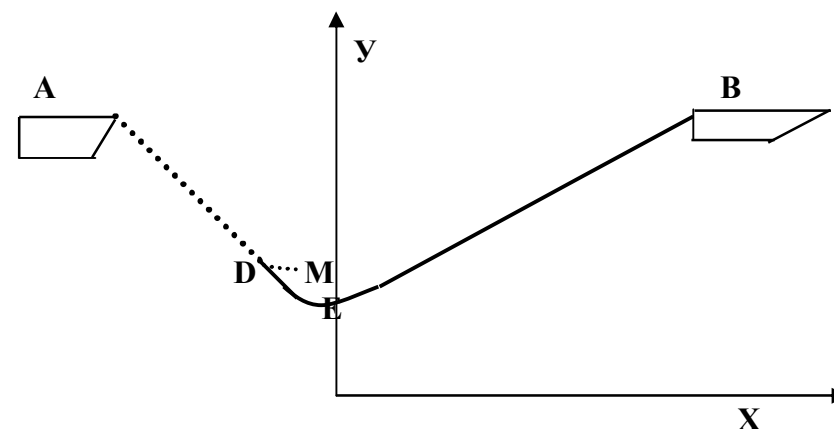


Рисунок 5.7. — Неоднородная буксирная линия с вершиной на тросовом участке

Длина участка DE определяется по формуле:

$$DE = l_x = \frac{l_m^2 - l_y^2 \left(\left(\frac{p_y}{p_m} \right) (1 - \alpha) + \alpha \right)}{2(l_m + l_y)},$$

где: $\alpha = e^{-\frac{a_y}{l_y}}$.

Длина фиктивного участка DM определится из условия равенства весов участков DM и DE:



Расчет однородной буксирной линии. Производится в следующем порядке.

1. Определяется параметр буксирной линии $a = F_g / P_t$. Сила тяги на гаке F_g определяется по паспортной диаграмме буксировки, а вес одного метра троса в воде: $P_t = 0,87 P$, где P — вес одного метра троса в воздухе берется из паспортных данных троса.

2. Рассчитывается значение l/a и по таблицам цепной линии или по приведенным выше формулам определяется расстояние между судами $AB = 2x$ и стрелка провеса f .

3. Сила тяги на гаке принимается равной половине разрывного усилия троса $F_g = \frac{1}{2} P$ раз и вновь производится расчеты в соответствии с пп. 1 и 2. Определяется новое расстояние между судами $A'B'$.

4. Рассчитывается изменение расстояния между судами за счет изменения формы буксирной линии (весовая игра буксирной линии): $\Delta v = A'B' - AB$.

5. Рассчитывается упругое удлинение троса буксирной линии при изменении нагрузки от F_g до $\frac{1}{2} P$ раз:

$$\Delta y = \frac{0.5 P_{\text{раз}} - F_g}{d^2 \varepsilon} l_m;$$

где: d — диаметр троса;

l_m — длина буксирной линии;

ε — упругость троса (сталь — $\varepsilon = 37$ кН/мм²).

Определяется суммарное изменение расстояния $\Delta = \Delta v + \Delta y$, которое сравнивается с высотой волны h_v :

— если $\Delta \geq h_v$, то буксировка возможна с заданной скоростью;
— в противном случае необходимо или уменьшать скорость буксировки, или увеличивать длину буксирной линии для увеличения величины Δ .

Особенности расчета неоднородной буксирной линии

Если буксирная линия неоднородная, т.е. состоит из двух участков, один из которых — трос или якорная цепь с большим погонным весом, а другой — трос с меньшим погонным весом, расчет производится следующим образом.

Условно делим буксирную линию (см. рисунок 6.7.) на четыре участка цепной линии: BE, DE, DM и AM. Участок DM — дополняющий фиктивный участок цепной линии AM. Точка М — вершина цеп-

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 $H/d < 3$ 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.

Скорость судна, равная максимальной скорости распространения волн, называется критической скоростью судна, а величина этой скорости может быть определена приближенно для практических целей с помощью выражения:

$$V_{кр} = \sqrt{gH}; \quad (6.3.3.)$$

Влияние мелководья начинает заметно сказываться при переходе за скорости, равные $0,6 V_{кр}$, когда высота и длина создающихся при движении судна поперечных волн начинает резко возрастать. По мере увеличения скорости увеличивается и угол, составляемый гребнями волн с ДП судна. При скорости $V \geq 0,75 V_{кр}$ поперечные и расходящиеся волны совмещаются в одну общую поперечную волну, достигающую наибольших размеров при $V_{кр} = (0,9 \div 1,0) \sqrt{gH}$ и имеющих 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 судна. Вместе с ростом волнообразования растет и сопротивление воды движению судна, перегружается двигатель, возрастает расход топлива, повышается износ двигателя. Поэтому увеличивать скорость до значений, больших $0,80 V_{кр}$, нецелесообразно. Скорость в канале назначается в пределах 4...12 уз, однако она не должна превышать величины $0,9 V_{кр}$.

При плавании в узкостях, т.е. на естественных фарватерах или искусственных каналах, к влиянию мелководья прибавляется воздействие берегов, боковых откосов или стенок канала. В этих случаях все явления сказываются более резко. Изменяется волнообразование: носовая волна как бы выдвигается вперед, а кормовая — назад. Их высота увеличивается. Изменение системы волн ведет к росту волнового сопротивления. Падение давления на подошве между носовой и кор-



мовой волнами согласно закону Бернулли вызывает увеличение скорости встречного потока воды и, следовательно, сопротивления трения. Изменение волнообразования вызывает общее увеличение углубления судна. Уменьшение слоя воды под днищем судна вследствие проседания в соответствии с законом неразрывности жидкости еще больше увеличивает скорость потока воды. При слишком малом запасе воды под днищем проседание вызывает аварии судов вследствие значительного дифферента на корму, поэтому с точки зрения безопасности плавания на мелководных участках необходимо знать проседание кормы, которое может быть примерно подсчитано по формуле В.П. Смирнова:

$$\Delta T_K = \alpha_T \cdot k_L \cdot \theta_\psi \cdot V^2;$$

где: α_T — коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение относительной осадки;

k_L — коэффициент пропорциональности, учитывающий длину судна L ;

θ_ψ — коэффициент пропорциональности, учитывающий начальный дифферент ψ_H на корму.

Таблица 5.5. — Зависимость значений α_T от T/H

T/H	α_T	T/H	α_T
0,35	0,0146	0,70	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

Таблица 5.6. — Зависимость значений k_L от L

L ; м	до 100 м	100...150	Более 150
k_L	0,95	1,05	1,25

тихой воде, поскольку в буксирной линии возникают дополнительные динамические нагрузки за счет орбитального движения судов на волнении.

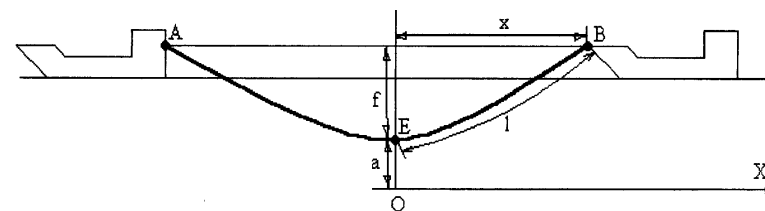


Рисунок 5.6. — Схема буксирной линии

При буксировке буксирная линия принимает форму цепной линии (см. рисунок 6.6.).

Цепная линия в системе координат XOY описывается следующими уравнениями:

$$a = \frac{Fg}{p}; \quad l = ash \frac{x}{a}; \quad y = a + f = ach \frac{x}{a}.$$

где: a — параметр цепной линии, зависящий от величины горизонтальной составляющей силы ее натяжения (Fg) и веса единицы длины цепной линии (p).

Из этих уравнений находим:

$$\frac{x}{a} = arsh \frac{l}{a} = \ln \left[\frac{l}{a} + \sqrt{\left(\frac{l}{a}\right)^2 + 1} \right];$$

$$\frac{f}{a} = ch \frac{x}{a} = \sqrt{\left(\frac{l}{a}\right)^2 + 1} - 1.$$

Полученные выражения используются при расчетах буксирной линии. Для упрощения расчетов по ним составлены таблицы, входным параметром которых является величина l/a .



6) для получения допустимой тяги на гаке ($F_{г\text{ доп}}$) известное значение разрывной нагрузки троса ($P_{раз}$), из которого состоит однородная буксирная линия или наименее прочного ее участка — при неоднородной буксирной линии, необходимо разделить на коэффициент запаса прочности (k). Значение k определяется исходя из величины $F_{г\text{ доп}}$:

- при $F_{г\text{ доп}} \leq 100 \text{ кН}$ — $k = 5$;
- при $F_{г\text{ доп}} \geq 300 \text{ кН}$ — $k = 3$;
- при $100 \leq F_{г\text{ доп}} \leq 300 \text{ кН}$ — значение k определяется интерполяцией.

Контрольная формула:

$$k = 3 + \sqrt{9 - 0.01 P_{раз}};$$

где: $P_{раз}$ — разрывная нагрузка троса в кН.

7) полученное значение $F_{г\text{ доп}}$ сравнивается с $F_{г\text{ доп}}$:

— при $F_{г\text{ доп}} \geq F_{г\text{ доп}}$ — $V_{доп} = V_{max}$;

— при $F_{г\text{ доп}} < F_{г\text{ доп}}$ — значение $F_{г\text{ доп}}$ в масштабе диаграммы вставляется между кривыми суммарного сопротивления и сопротивления буксировщика, как показано на рисунке. Абсцисса отрезка **cd** определяет значение допустимой скорости буксировки на тихой воде.

Контрольная формула:

$$V_{доп} = \sqrt{\frac{F_{г\text{ доп}}}{A_{\delta c}}},$$

где: $A_{\delta c}$ — размерный коэффициент сопротивления буксируемого судна, определяемый как отношение величины сопротивления буксировщика с учетом сопротивления винта в кН при скорости буксировки V_{δ} в м/с к квадрату этой скорости:

$$A_{\delta c} = R_{\delta c} / V_{\delta}^2$$

Расчет буксирной линии

Расчет производится для определения возможности буксировки на волнении при заданной высоте волны, скорости буксировки и длине буксирной линии. Необходимо отметить, что скорость буксировки на волнении должна быть меньше допустимой скорости буксировки на

Таблица 5.7. — Зависимость значений θ_{ψ} от ψ_{max}

ψ_H	0	$0,5\psi_{max}$	ψ_{max}
θ_{ψ}	1,0	1,025	1,050

Формула получена после обработки результатов натурных испытаний морских судов методом математической статистики и способом наименьших квадратов. Точность определения величины просадки составляет $\pm 1,0 \dots 1,5\%$ от осадки судна.

Изменение осадки (скоростную составляющую) крупнотоннажных судов с бульбом, имеющих коэффициент полноты подводной части корпуса судна $0,80 \dots 0,90$, при плавании на мелководье с глубинами $H = (1,1 \dots 1,5)d$ рекомендуется выполнять по методу Национальной Физической Лаборатории (*NPL*), который разработан в Великобритании в 1973 г.

Если дифферент судна находится в пределах от $1/100L$ на корму до $1/500L$ на нос, то посадка носом и кормой может быть определена графически с помощью номограммы (рисунок 6.2).

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 Δd_H и Δd_K находят на шкале Δd (м).

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



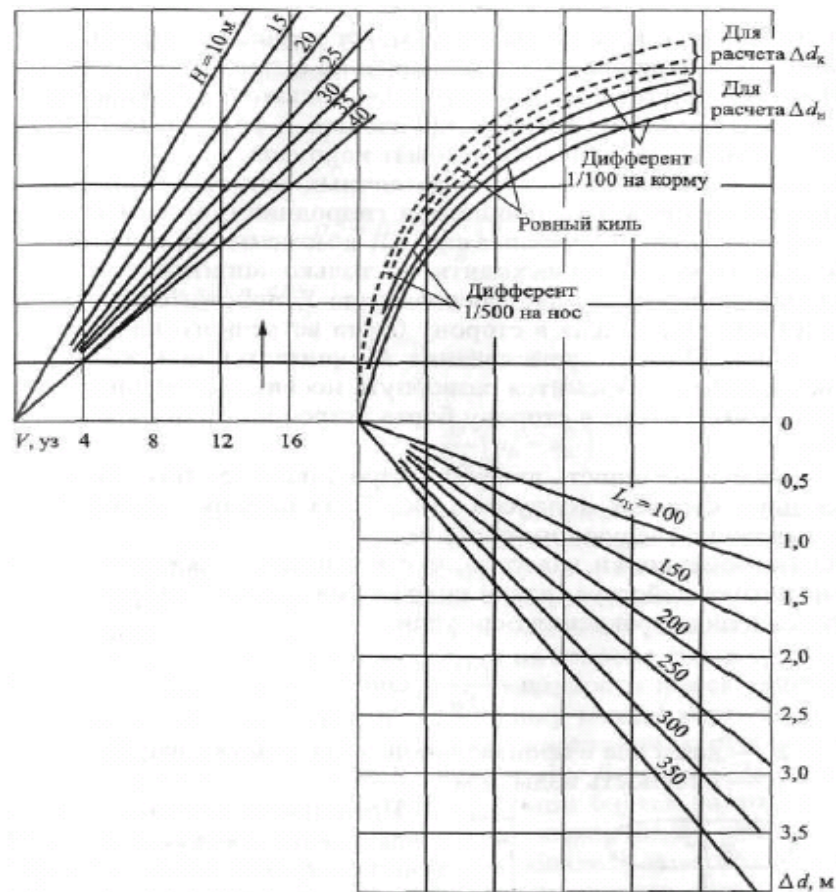


Рисунок 5.2. — Монограмма для определения посадки судна на мелководье

На крутых поворотах в узкостях может появиться крен судна, который вызовет увеличение его осадки. Принимая во внимание, что абсолютное большинство современных судов имеет прямоугольную форму сечения по миделю, увеличение осадки при углах крена до 6...8° можно подсчитать по формуле:

$$\Delta T = \frac{B}{2} \operatorname{tg} \theta;$$

Точка **a** на диаграмме определяет равенство сил тяги винта и суммарного сопротивления буксировщика и буксируемого судна; поэтому ее абсцисса — максимальная скорость буксировки на тихой воде.

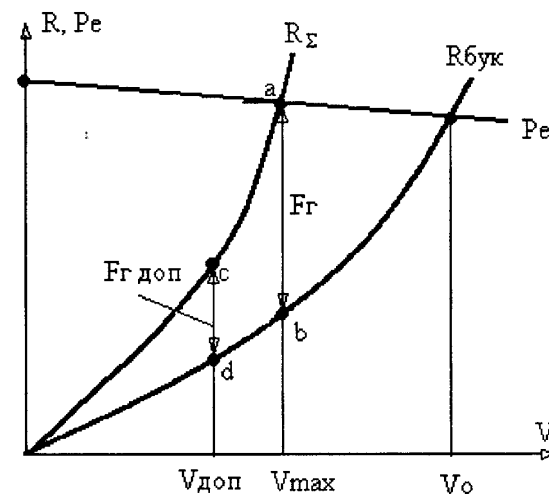


Рисунок 5.5. — Паспортная диаграмма буксировки

Допустимая скорость буксировки ($V_{\text{доп}}$) определяется из диаграммы исходя из прочности (разрывной нагрузки) буксирной линии;

5) отрезок **ab** соответствует сопротивлению буксируемого судна и равен в масштабе диаграммы натяжению буксирной линии, или как ее называют **тяге на гаке (F_r)** при максимальной скорости буксировки.

Контрольная формула:

$$V_{\text{max}} = \sqrt{\frac{P_e}{A_6 + A_{6c}}};$$

где: P_e — сила тяги винта буксировщика на полном ходу, кН;

A_6 — коэффициент сопротивления буксировщика, определяемый как отношение силы сопротивления буксировщика на полном ходу (в кН) к квадрату скорости полного хода (в м/с);

A_{6c} — коэффициент сопротивления буксируемого судна, определяемый аналогично A_6 , но с учетом сопротивления винта;



Таблица 5.8. — Зависимость сопротивления воды от скорости буксировки

V; м/с	1	2	3	4	5	6	Vo
R _{бук} ; кН							
R _{бс} ; кН							
R Σ ; кН							

где: R_{бук} — сопротивление буксировщика;

R_{бс} — сопротивление буксируемого судна;

R Σ — суммарное сопротивление буксировщика и буксируемого судна;

3) определяется сила тяги винта (P_e):

— при скорости полного хода Vo она принимается равной сопротивлению Ro.

Контрольная формула. Сила тяги винта буксировщика в кН равна его сопротивлению на полном ходу и может быть рассчитана по формуле:

$$P_e = 0.1N_e;$$

где: P_e — сила тяги винта буксировщика, кН;

N_e — мощность силовой установки буксировщика, кВт.

— в швартовом режиме (при V=0) сила тяги P_{eo} в кН равна:

$$P_{eo} = 0.136N_e.$$

4) по данным таблицы и определенных двух значений силы тяги винта строится паспортная диаграмма буксировки (рисунок 6.5.).

где: B — ширина судна, м;

θ — угол крена, °.

5.4. Рекомендации к выполнению задания 3 Плавание судов в штормовую погоду

Несмотря на строгие требования к проектированию и постройке современных морских судов, обладающих большой прочностью корпуса и мореходными качествами, подготовка судна любого тоннажа к плаванию в штормовую погоду и управление им в шторм остаются очень сложной задачей. Данная задача требует от экипажа и в первую очередь от судоводителей знания и учета всех видов воздействия штормовых условий на судно.

Основными факторами, действующими на судно во время шторма, являются ветер и волнение.

Действие ветра зависит от площади надводной части корпуса судна. Суда с малой осадкой, т. е. находящиеся в балласте, подвержены действию ветра в большей степени, особенно если они имеют развитые надстройки. Ветер вызывает дрейф и крен судна, увеличивает сопротивление воздуха его движению и ухудшает управляемость. Ветровой крен для современных судов, должным образом загруженных и забалластированных, как правило, не опасен. Дрейф может быть опасным у берега, рифов или мелей, находящихся под ветром. Сопротивление воздуха при носовых курсовых углах ветра представляет собой значительную величину. Управляемость при ветре различных направлений, воздействующем на отдельные детали надводной части корпуса судна, ухудшается: оно приобретает рыскливость и плохо слушает руля.

Основную опасность для судна во время шторма представляет волнение, при котором оно испытывает качку, чрезмерные напряжения корпуса и удары волн.

При следовании курсом, параллельным фронту волны, судно испытывает бортовую качку, причем углы крена и стремительность качки могут быть очень велики. Возникающие в таких случаях инерционные силы иногда являются причиной сдвига с фундаментов механизмов и судовых устройств, смещения грузов, что приводит к тяжелым последствиям. Качка и удары волн ухудшают управляемость судна, и для удержания его на курсе требуется частая перекладка руля. При неправильной загрузке судна, а также при отсутствии, должного опыта управления им крен может превысить допустимые пределы, что приведет к опрокидыванию.

Сильные напряжения корпуса судна и удары волн при следовании навстречу волне могут привести к деформациям и трещинам в наборе,



наружной обшивке корпуса и палубе судна. Неправильное распределение груза и следование полным ходом против волны могут вызвать напряжения корпуса, превышающие допустимое значение, тогда судно переломится. Особенно опасные напряжения в таких случаях возникают, если длина волны близка к длине судна. Оголение винта при подъеме кормы на волне приводит к неравномерности в работе главного двигателя. Увеличение сопротивления и неравномерность в работе двигателя вызывают падение скорости судна и ухудшают его управляемость. С усилением ветра и волны наступает момент, когда оно перестает держаться на заданном курсе и полностью теряет управляемость. Удары волн, вкатывающихся на палубу судна при качке, могут повредить палубные устройства и груз.

При тяжелых штормах волны смывают палубные грузы, разрушают пудовые устройства, вентиляторы и люковые закрытия, что создает угрозу проникновения воды в грузовые помещения, влечет за собой подмочку и порчу груза, а иногда и гибель судна.

Во время качки и заливания палуб судовые работы не только затруднены, но и опасны. Кроме того, сама по себе качка оказывает вредное физиологическое воздействие на людей.

Современные суда, правильно загруженные или забалластированные, способны без ущерба для своей безопасности, а при благоприятных курсах относительно ветра и волны — без заметных эксплуатационных потерь выдерживать шторм силой до 8..9 баллов. Однако при неблагоприятном стечении обстоятельств, шторм может быть опасен для любого судна, особенно для судов небольшого тоннажа или со слабыми машинами, а также находящихся в балласте. Любое судно, определив по метеопрогнозам характер шторма и размеры штормовой области, и руководствуясь местными признаками погоды, в зависимости от обстоятельств, должно принять все меры к обеспечению своей безопасности:

- 1) укрыться в порту-убежище;
- 2) выбрать курс на уклонение от встречи с центральной областью циклона или выбрать курс и скорость, при которых, было бы, наименьшим влияние качки на судно.

Величинами, характеризующими качку, являются угол наклона судна и период, в течение которого совершается одно полное его колебание. Чем больше углы наклона и меньше период его качаний, тем качка стремительнее и тем более вредное влияние она оказывает на людей, грузы и судно.

Качка зависит от загрузки судна, определяющей его остойчивость, от характера волнения, а также от скорости судна и курсового угла на-

1) определяется сопротивление буксировщика на различных скоростях от нуля до полного хода V_o :

а) рассчитывается сопротивление на полном ходу:

$$R_o = N_e \eta \eta_g \eta_p / V_o;$$

где: N_e — мощность двигателя в квт;

η_e, η_p — коэффициенты полезного действия валопровода и редуктора;

V_o — скорость полного хода;

η — пропульсивный коэффициент определяется по формуле Лап-на:

$$\eta = 0.885 - 0.00115n\sqrt{L};$$

б) промежуточные значения сопротивления (R) для любой скорости хода рассчитываются по формуле:

$$R = R_o \frac{V^2}{V_o^2}$$

2) определяется сопротивление буксируемого судна для тех же скоростей хода, что и буксировщика. Расчет производится аналогично предыдущему разделу, только к сопротивлению на полном ходу R_o добавляется сопротивление винтов буксируемого судна:

— для застопоренного винта:

$$R_{зв} = 0.25 D_e^2 V_o^2$$

где D_e - диаметр винта;

— для свободно вращающегося винта:

$$R_{св} = 0.3 R_{зв}$$

После этого составляется таблица сопротивлений:



надстройка. Брага обычно состоит из двух ветвей: левой и правой. Концы левой и правой ветвей браги обносятся вокруг палубных конструкций и соединяются в их кормовой части при помощи глаголь-гака, что позволяет быстро отдать буксирную линию. Другие концы ветвей проходят через клюзы и соединяются с буксирной линией якорной скобой. Для распределения нагрузки их можно пропустить через кнехты, наложив на них по одному, максимум по два шлага.

Буксирный трос может быть подан как с буксировщика, так и с буксируемого судна. В порту подача, как правило, производится на ошвартованных лагом друг к другу судах. На рейдах буксировщик становится на якорь впереди буксируемого судна, и подача буксира производится с помощью буксирного катера или спасательной шлюпки. В открытом море способ подачи буксирного троса определяется состоянием гидрометеорологических условий, маневренных возможностей судов и их взаимного дрейфа. При небольшом волнении подача может производиться с помощью спасательной шлюпки. При хороших маневренных качествах одного или обоих судов, они сближаются на безопасное расстояние и подача буксирного троса производится с использованием линеметательного устройства или бросательных концов. При неблагоприятных гидрометеорологических условиях, когда спуск шлюпки небезопасен и суда не могут сближаться достаточно близко, подача буксирного троса может осуществляться с помощью проводника (тонкого и прочного растительного троса), прикрепленного к поплавку и буксируемого за кормой буксировщика. В качестве поплавка используется любой предмет с высокой плавучестью (надувной плот, спасательный круг и т.п.). При таком способе подачи необходимо учитывать взаимный дрейф судов с тем, чтобы поплавок, оказался у борта буксируемого судна, и его было можно поднять на палубу.

Расчет максимальной и допустимой скорости буксировки на тихой воде

Максимальная скорость буксировки ($V_{\max}$) определяется силой тяги винта буксировщика, которая должна быть равна суммарной силе сопротивления буксируемого и буксирующего судов. Эта скорость определяется из **паспортной диаграммы буксировки** — графика зависимостей тяги винта буксировщика, сопротивления буксировщика и суммарного сопротивления буксировщика и буксируемого судна от скорости буксировки. Данные для построения диаграммы могут быть взяты из **паспортной диаграммы тяги** буксирующего и буксируемого судов, или получены расчетным путем. Расчет производится в следующем порядке:

правления бега волн. Наиболее неблагоприятный и даже опасный характер качка приобретает при совпадении кажущегося периода волн, т. е. наблюдаемого с идущего судна, и периода его собственных колебаний. Это явление называется резонансом. Влияние резонанса сказывается не только при точном совпадении периодов, но и в том случае, если они отличаются друг от друга менее чем на 30%.

Следовательно, судно должно избегать резонанса качки, для чего судоводитель должен уметь оценивать условия плавания и определять величину, от которой зависит поведение судна на волне.

Период собственных поперечных τ_1 и продольных τ_2 колебаний судна определяется методами, рассматриваемыми в теории корабля. С достаточной степенью точности можно пользоваться приближенными методами.

Период бортовой качки определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{f \cdot B}{\sqrt{h}};$$

где: B — ширина судна, м;

f — эмпирический коэффициент;

h — начальная метацентрическая высота, м.

Кажущийся период волны вычисляется по формуле:

$$\tau' = \frac{\lambda}{(1,25\sqrt{\lambda} \pm 0,514V_c \cos q)}; \quad (6.4.1.)$$

где: λ — истинная длина волны, м;

$c = 1,25 \sqrt{\lambda}$ — скорость бега волны, м/с;

V_c — скорость судна, уз;

q — курсовой угол направления бега волн, °.

Знак плюс относится к случаю движения против волны, минус — к случаю движения по волне.

В море кажущийся период волны можно определить по промежутку времени прохождения двух последовательных гребней через какую-либо отметку на борту. Более точно результат будет получен, если зафиксировать время δt прохождения нескольких гребней и разделить его на их число (за вычетом первого), т. е. $\tau' = \delta t / (n - 1)$.

Входящая в формулу (6.4.1.) длина волны λ на судне может быть определена, если заменить промежуток времени прохождения гребня



одной и той же волны последовательно через 2 точки (места двух наблюдателей) на борту судна, расстояние между которыми известно. При расчете применяется следующая формула:

$$\lambda = \tau' \frac{l \cos q}{\delta t};$$

где: τ' — кажущийся период волны, с;

l — расстояние между точками, принятыми для измерения длины волны, м;

q — курсовой угол бега волн, °;

δt — время прохождения гребнем одной и той же волны расстояния l , с.

Знание особенностей своего судна и приемов управления им в различных условиях позволяет капитану найти в каждом отдельном случае наилучший для данных условий режим движения.

По существующим правилам хорошей морской практики каждое судно перед выходом в море должно быть полностью приведено в состояние, обеспечивающее его безопасность в любых условиях погоды.

Диаграммы штормования. Для облегчения задачи управления судном в шторм советскими учеными были предложены диаграммы для выбора курса и скорости в штормовых условиях. Такие диаграммы разработаны В. Г. Власовым, С. Н. Благовещенским, Л. М. Ногидом, Ю. В. Ремезом.

Наиболее удобен вариант универсальной диаграммы качки, разработанный в 1966 г. коллективом ученых Николаевского кораблестроительного института под руководством Ю. В. Ремеза, представлен на рисунке 6.4.

Нижняя часть диаграммы представляет собой сетку концентрических окружностей с центром в начале координат и лучей, расходящихся из той же точки. Каждая полуокружность соответствует определенному значению скорости судна, а каждый из лучей — курсовому углу направления бега волн. Диаметральная плоскость судна совпадает с лучом, соответствующим данному курсовому углу q , и судно считается как бы идущим от центра к периферии графика.

В верхней части диаграммы по оси ординат отложены значения длин волн, по оси абсцисс — проекции скорости на направление бега волн $v \cos q$. Каждая из семейства кривых, нанесенных выше оси абсцисс, соответствует значению кажущихся периодов волны τ' (в с), рассчитанных по формуле (6.4.1.); правая половина диаграммы — носовым курсовым углом волнения, левая — кормовым. Штриховая кривая,

Буксирные линии подразделяются на: однородные и неоднородные.

Однородные линии состоят обычно из стального троса. Они обладают высокой надежностью, удобны в работе, достаточно тяжелые, что обеспечивает большую стрелку провеса и следовательно ее хорошие амортизационные качества за счет изменения формы. В то же время упругое удлинение стальных тросов незначительно.

Неоднородные или комбинированные линии состоят из различных участков, например: якорной цепи и стального троса, стального и синтетического троса.

Использование участка якорной цепи в буксирной линии повышает ее амортизационные качества за счет изменения формы. Такие линии удобны в работе — можно изменять ее длину потравливая или подбирая брашпилем якорную цепь. При этом обеспечивается простота и надежность крепления буксирной линии на буксируемом судне.

Вставка из синтетического троса позволяет обеспечить хорошие амортизационные качества буксирной линии при небольшой стрелке провеса за счет большого упругого удлинения синтетических тросов.

Способы подачи и крепления буксирной линии

На буксируемом судне самым простым способом является крепление буксирной линии за одну или две якорной цепи. При таком способе необходимо отклепать якорь или якоря от якорной цепи. В случае аварийной буксировки на небольшое расстояние буксирный конец можно закрепить за скобу якоря. Вышеуказанные способы имеют два положительных свойства: якорные цепи перетираются не так быстро как тросы и, имеется возможность легко регулировать длину буксира при помощи брашпиля. Если нельзя использовать якорные цепи, то необходимо заводить брагу. Брага — стальной трос, обнесенный вдоль обоих бортов буксируемого судна на стропах (серьгах).

На обоих концах троса имеются огоны с коушами, за которые якорной скобой крепится буксирный трос.

При буксировке в ледовых условиях через якорные клюзы пропускается на палубу прочный стальной трос с огонами на концах. Середина троса перед форштевнем схватывается замком, образуя огон. Обычно в него вделывается коуш для сохранения от перетирания. К этому огону якорной скобой крепится буксирный конец. Концевые огоны соединяются растительным или синтетическим найтовом (несколько десятков шлагов). Обычно под найтов подкладывают бревно, чтобы удобно было перерубить его топором.

На буксирующем судне заводится брага, которая крепится за прочные палубные конструкции: рубка, комингс кормового трюма,



тры тяжести судов описывают примерно круговые траектории, то сближаясь, то удаляясь друг от друга;

б) максимальное изменение расстояния между судами в результате их орбитального движения не превышает высоты волны;

в) буксирная линия должна быть устроена таким образом, чтобы позволять судам свободно совершать орбитальное движение, в противном случае в ней возникают инерционные силы в тысячи, а при буксировках крупнотоннажных судов в десятки тысяч килоньютон, которые приводят к ее разрыву.

Типы буксирных линий

Все типы буксирных линий рассматриваются с точки зрения обеспечения свободного орбитального движения судов при буксировке на волнении, которое достигается следующим:

- 1) упругим удлинением буксирного каната;
- 2) изменением формы буксирной линии за счет ее распрямления;
- 3) одновременным изменением формы и упругим удлинением;
- 4) изменением длины буксирного каната с помощью автоматической буксирной лебедки.

Буксирная линия характеризуется длиной, стрелкой провеса и расстоянием между судами. Длина и стрелка провеса определяют возможности буксирной линии по увеличению расстояния между судами за счет ее упругого удлинения и изменения формы.

В общем случае длина буксирной линии зависит от водоизмещения буксируемого объекта и составляет 250...300 м при буксировке малых судов водоизмещением менее 500 т. При буксировке более крупных судов длина буксирной линии может составлять 700 и более метров.

При океанской буксировке согласно рекомендациям ИМО минимальная требуемая длина главного буксирного троса должна быть определена по формуле:

$$L = (BP/BL) \cdot 1800, \text{ м};$$

где: **BL** — разрывная нагрузка буксирного троса согласно документам на него;

BP — продолжительное тяговое усилие (сила тяги на гаке).

Стрелка провеса зависит от массы буксирной линии и горизонтальной составляющей силы натяжения буксирного троса. Чем больше масса и меньше натяжение, тем больше стрелка провеса.

помеченная знаком $\tau' = \infty$, соответствует случаю, когда судно идет попутной волной (идет «оседлав волну»). Левая часть диаграммы, расположенная ниже штриховой линии, соответствует случаю обгона судном волны.

Над диаграммой помещена шкала для определения кажущихся периодов волны, ограничивающих зоны усиленной качки в соответствии с соотношением $0,7 < \tau_l/\tau' < 1,3$ или $1,43 > \tau'/\tau_l > 0,77$.

Слева от диаграммы помещены шкалы *A* и *B* для определения границ зоны усиленной качки при нерегулярном волнении, справа — шкала баллов волнения, используемая в тех же случаях.

На приведенных ниже примерах показано использование универсальной диаграммы качки для решения основных задач.

Пример 1. Определить положение зоны резонансной бортовой качки, если $V_C = 13$ уз, $q = 110^\circ$, $\tau_l = 7,5$ с, истинная длина волн $\lambda = 40$ м (рисунок 6.3.).

Решение. По верхней шкале диаграммы по $\tau_l = 7,5$ с определяем значения кажущихся периодов волны, соответствующие границам резонансной зоны: $1,43 \tau_l = 10$ с и $0,77 \tau_l = 6$ с. Находим точки пересечения горизонтальной линии $\lambda = 40$ м с кривыми найденных кажущихся периодов и через полученные 3 точки проводим вертикальные линии, которые в нижней части диаграммы ограничат зону усиленной качки, причем средняя из них, соответствующая $\tau' = 7,5$ с, и будет линией резонанса.

Для выхода из зоны усиленной качки судну следует или изменить курс вправо на 25° (точка С1) или уменьшить ход до 6 уз (точка С2).

Примечание. Если проведенная вертикальная линия пересекается с кривой в двух точках (что может быть в левой половине диаграммы), то истинное значение длины волны выбирают из двух значений с оценкой на глаз, как наиболее вероятное.

Пример 2. Определить длину волн, раскачивающих судно, если $V_C = 16$ уз, $q = 60^\circ$, $\tau' = 6$ с.

Решение. Из точки пересечения окружности и луча, соответствующих $V_C = 16$ уз и $q = 60^\circ$, проводим вертикальную линию до пересечения с кривой $\tau' = 6$ с. Через эту точку проводим горизонтальную линию до пересечения с осью ординат и находим значение $\lambda = 100$ м.



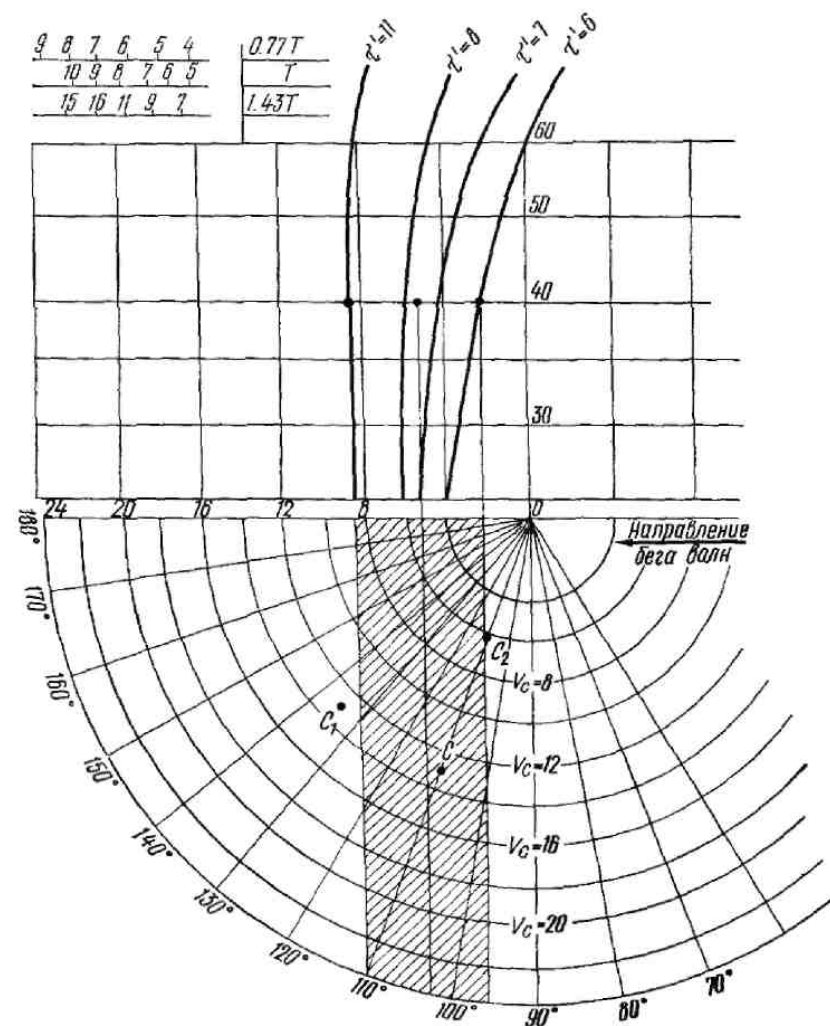


Рисунок 5.3. —К примеру 1: зона резонансной качки

Пример 3. При нерегулярном волнении определена средняя высота трех наиболее крупных из 100 последовательно набегающих волн, равная 4 м. Найти зону резонансной качки при $\tau_l = 7,5$ с.

Решение. Находим точки пересечения горизонтальных линий $h = 4$ м на шкалах А и В с кривой собственного периода судна $\tau_l = 7,5$ с, через эти точ-

са судна необходимо уменьшить ход и следовать со скоростью, обеспечивающей достаточную управляемость судна. Однако надо учитывать, что незначительная скорость требует частых переключений руля.

Способ штормования на кормовых курсовых углах состоит в том, что судно ложится на курс прямо по волне или под некоторым углом к ней. Выбор этого способа возможен в том случае, если длина волны значительно отличается от длины судна.

Выбор хода также должен определяться тем условием, чтобы судно шло с отличной от волны скоростью. Как правило, суда должны следовать малым ходом, обеспечивающим должную управляемость судна.

Оба указанных способа должны учитывать условия килевой качки и зарывание судна в волну, т. е. в обоих случаях суда должны избегать резонансной килевой качки, которая будет наблюдаться при $0,7 < \tau_2/\tau' < 1,3$.

Есть способ штормования, когда судно дрейфует с застопоренной машиной в положении, которое оно принимает по отношению к волне при своих конструктивных особенностях, загрузке, расположении центра парусности и др. Обычно это положение близко к положению бортом к фронту волн или под некоторым углом к нему. Применение этого способа возможно при нормальной остойчивости судна и небольшой его загрузке. В данном случае удары волн могут быть незначительными, но бортовая качка может быть очень резкой при больших углах крена. Этот способ нельзя рекомендовать судам в грузу с малым надводным бортом и судам, имеющим большую остойчивость.

Выбор способа штормования целиком зависит от судоводителя, от знания им особенностей своего судна, его загрузки и поведения в различных обстоятельствах.

5.5. Рекомендации к выполнению задания 4 Буксировка судов морем

Буксировка — транспортировка несамоходных плавсредств самоходными. Различают три способа буксировки, а именно:

- 1) **в кильватер** — в основном используется для морских буксировок;
- 2) **лагом** — для буксировок судов в портах;
- 3) **толканием** — для буксировок на реках и озерах.

Теоретические основы морской буксировки разработаны академиком А.Н.Крыловым. Основные положения теории буксировки сводятся к следующему:

- а) при буксировке на волнении буксирующее и буксируемое суда участвуют в орбитальном движении частиц воды. При этом цен-



Для любого судна в зависимости от условий и степени шторма поворот на другой курс связан с рядом неприятных или даже опасных обстоятельств: усилением качки, зарыванием в волну, попаданием на палубу больших масс воды и пр. Поскольку повороты все же неизбежны, здесь необходимо по возможности уменьшить вредные их последствия.

Перед поворотом следует по универсальной диаграмме штормования определить положение резонансной зоны качки с тем, чтобы на новом курсе судно могло выбрать наиболее приемлемую скорость. Путем наблюдения за волнением следует установить периодичность прохождения самых высоких волн, чтобы во всех случаях поворота положение лагом к волне было пройдено в период наименьшего для данных условий волнения. Если судно следует курсом против волны и должно изменить курс на значительный угол, то следует рассчитать поворот так, чтобы положение бортом к волне судно прошло до подхода следующей серии высоких волн. В данном случае следует положить руль на борт. Однако нужно учитывать, что при большой угловой скорости поворота судно, перевалившее положение бортом к волне, может получить удар волны в кормовую часть, что при малой высоте надводного борта приведет к повреждениям палубных устройств и грузов. В таких случаях при подходе высоких волн руль следует отводить заблаговременно.

При повороте судна, следующего по волне, на курсы против волны не следует форсировать ход; приводить на новый курс лучше на небольших скоростях, чтобы избежать резких ударов волн в носовую часть и иметь возможность проверить поведение судна на разных курсах относительно волн.

Способы штормования. Выше были рассмотрены рекомендации, применяемые при плавании в штормовую погоду, когда судно все-таки может следовать по назначению, лишь с некоторыми, вызванными соображениями безопасности, отклонениями от курса. Но во время жестоких штормов, при ураганных ветрах и большом волнении, иногда смешанного характера, судно зачастую бывает поставлено в условия, когда ставится задача сохранения самого судна и избежания повреждений его палубных устройств и грузов. Многолетняя практика рекомендует разные способы штормования в зависимости от конструктивных особенностей судна, его загрузки, дифферента, наличия палубного груза и других условий.

Способ штормования на носовых курсовых углах может быть рекомендован судам, имеющим полубак, защищающий носовую часть палубы от заливания волнами, полные обводы носовой части корпуса и некоторый дифферент на корму, облегчающие всплытие судна на волне. При данном способе штормования судно испытывает значительные удары волн в носовой части. Для избежания ударов волн и больших напряжений корпу-

ки проводим вертикальные линии в нижней части диаграммы, которые и ограничат зону резонансной качки.

Пример 4. Волнение оценено в 5 баллов. Найти зоны резонансной качки при $\tau_l = 7,5$ с.

Решение. Находим точки пересечений горизонтальных линий, проходящих через верхний и нижний концы отрезка 5 шкалы баллов, с кривой собственного периода качки $\tau_l = \tau' = 7,5$ с и далее действуем так, как указано в предыдущем примере.

Универсальная диаграмма качки хотя и может быть использована для определения зон усиленной килевой качки, однако необходимо учитывать реальные условия:

1) по причине малых значений периодов τ_2 (килевой качки) зоны усиленной качки получаются очень широкими, чем затрудняется выбор выгодных курса и скорости судна;

2) из-за большого сопротивления воды при килевой качке на ходу судна (демпфирования) кривая амплитуд не имеет острого цикла - при качке требуются значительные изменения курса и скорости;

размахи килевой качки не определяют поведения судна на волне, так как здесь наблюдаются такие опасные явления, как заливание палубы и слеминг; необходим учет еще и фазовых соотношений между вынужденными колебаниями судна и волной, пока эта задача не решена.

Общие рекомендации по управлению судном в штормовых условиях

Практические выводы, в ряде случаев теоретически обоснованные, сводятся в основном к следующему.

При волне от носовых румбов во всех случаях недопустимо форсировать скорость, но необходимо снизить ее в разумных пределах. Этим достигается уменьшение:

- а) ударов волн в носовую свес и днище судна (слеминг), сила которых зависит от квадрата суммарной скорости судна и волны;
- б) заливания палубы и повреждения палубных механизмов и грузов;
- в) неравномерности в работе двигателя, вызванной оголением кормовой оконечности судна при подъеме на волне.



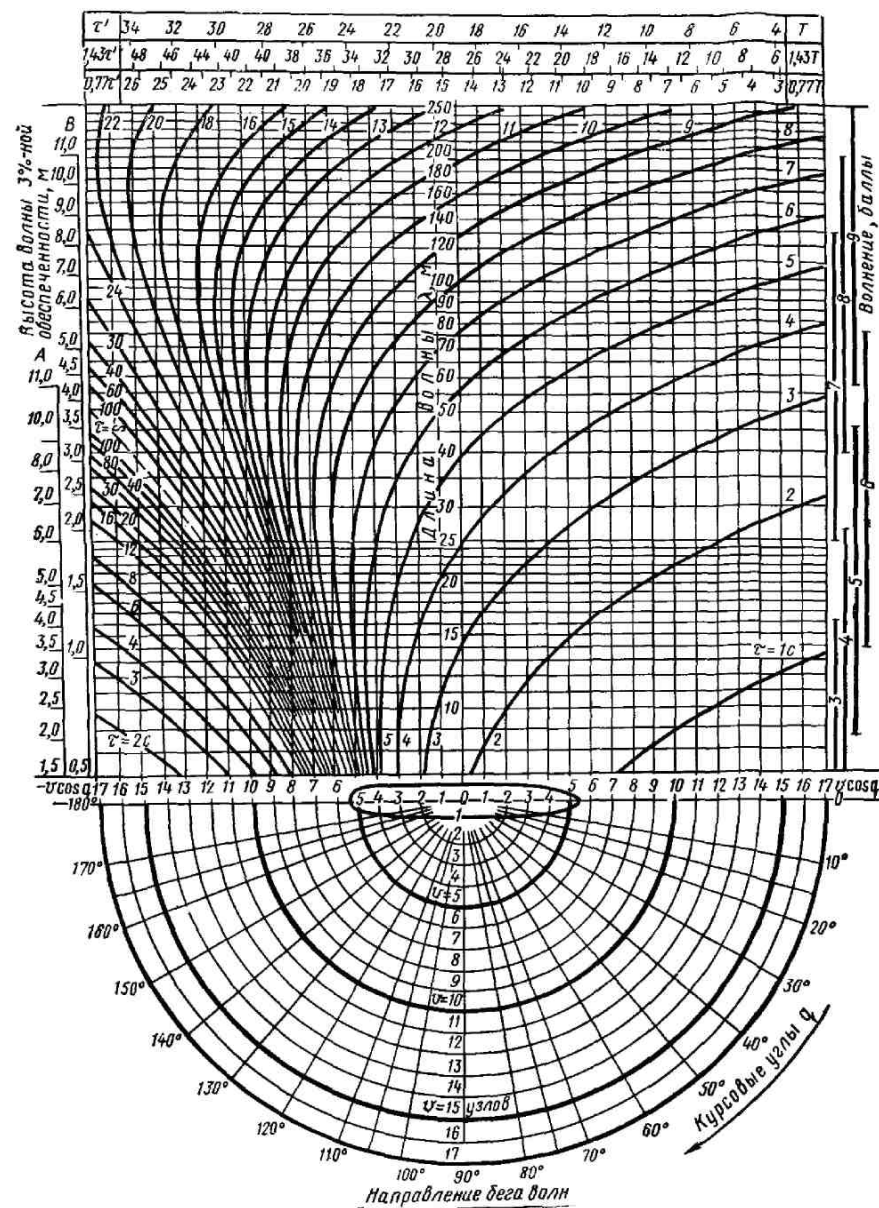


Рисунок 5.4. — Универсальная диаграмма качки

Судоводитель должен проявить особую осторожность и учесть все обстоятельства при плавании на волнении в том случае, если длина волны и корпуса судна примерно одинакова. При встречном волнении суммарная скорость волны и судна вызывает резкое изменение нагрузки на корпус судна, вредно отражающееся на общей его прочности. Уменьшение скорости судна и изменение курсового угла волнения позволят практически найти положение судна, при котором оно ведет себя спокойнее. Требование равномерной загрузки корпуса судна с рациональным облегчением концевых трюмов и танков особенно строго должно соблюдаться при предстоящем плавании в штормовых условиях в зависимости от продолжительности рейса, района плавания и времени года.

При равенстве длины попутной волны и судна может возникнуть угроза значительной потери его остойчивости. Из теории корабля известна зависимость метацентрической высоты от площади действующей ватерлинии. Большинство современных транспортных судов имеет прямостенные борта в средней своей части и острые обводы в носовой и кормовой оконечностях, поэтому при плавании на волнении происходит непрерывное изменение площади действующей ватерлинии, а, следовательно, и остойчивости судна. Если при встречном волнении эти изменения происходят достаточно быстро, то при попутной волне, особенно если ее скорость близка к скорости судна, уменьшение площади действующей ватерлинии может наблюдаться в течение длительного времени. Снижение остойчивости может в таких случаях достигнуть опасных значений и явиться причиной опрокидывания и гибели судна.

Наиболее опасным является положение судна на гребне волны. Внешне это проявляется в том, что судно становится более валким, причем углы крена и период бортовой качки достигают в таких случаях больших значений. Судно медленно ложится на борт, медленно выпрямляется, а также принимает на палубу много воды. Мерой обеспечения безопасности судна в таких условиях является изменение его курса и скорости. Скорость при плавании на попутном волнении, создающем опасные условия, во всех случаях должна быть уменьшена.

Из всего сказанного следует, что при подготовке к плаванию в шторм следует уделять большое внимание загрузке и балластировке судна и при плавании в шторм — управлению им. Под неослабным контролем должно находиться рулевое управление с систематической проверкой всех его частей: основного, запасного и аварийного приводов. Вахтенные помощники и рулевые должны быть строго проинструктированы в части тщательного соблюдения всех правил управления рулем: заблаговременно переключать руль, чтобы не допустить уход судна с заданного курса, избегать резких переключений руля и т. п.

