

**ОМСКИЙ ИНСТИТУТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА – ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**дисциплины «Теория и устройство судна»**

**для специальности технического профиля**

**26.02.06 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств  
автоматики»**

Омск – 2018

## Оглавление

Пояснительная записка.....	3
Практическая работа № 1 .....	4
<i>Расчет эпюры нагрузок и сил поддержания .....</i>	<i>4</i>
Практическая работа № 2 .....	11
<i>Подбор цепи якорного устройства по характеристике снабжения .....</i>	<i>11</i>
Практическая работа № 3 .....	18
<i>Расчет параметров якорной стоянки .....</i>	<i>18</i>
Практическая работа № 4 .....	22
<i>Расчеты площадей шпангоутов и ватерлиний по правилу трапеций .....</i>	<i>22</i>
Практическая работа № 5 .....	27
<i>Решение задач по приему и снятию груза. Определение осадки при переходе из пресной воды в соленую .....</i>	<i>27</i>
Практическая работа № 6 .....	32
<i>Производство расчетов по продольной и поперечной остойчивости: .....</i>	<i>32</i>
<i>- метацентрической высоты, метацентрического радиуса; .....</i>	<i>32</i>
<i>- изменение метацентрической высоты при вертикальных и горизонтальных перемещениях груза, приеме или снятии грузов, влияние жидкости или сыпучих грузов, подвешенных грузов, в аварийных случаях, посадке на грунт; .....</i>	<i>32</i>
<i>- работа с диаграммами статической и динамической остойчивости. ..</i>	<i>32</i>
Практическая работа № 7 .....	37
<i>Обмер гребного винта .....</i>	<i>37</i>

## **Пояснительная записка**

Основной целью методических указаний является оказание методической помощи курсантам при выполнении практических заданий. При этом будут выполнены задачи по закреплению умений составлять конспект по теоретическому материалу, а также по созданию учебной мотивации курсантов.

Методические указания включают в себя материал, предназначенный для усвоения и закрепления изученных тем, в ходе выполнения практических работ обучающийся должен уметь использовать теоретические основы устройства судна для решения практически важных задач при технической эксплуатации и ремонте судна, выявлять элементы конструкции судна, которые имеют решающее значение для его безопасности, знать основные конструктивные элементы судна и правильные названия их частей, геометрию корпуса и плавучесть судна, изменение технического состояния корпуса во времени и его контроль, основы прочности корпуса, знать судовые устройства и системы жизнеобеспечения и живучести судна и правила технического обслуживания судна. Практические занятия способствуют формированию общих и профессиональных компетенций курсантов.

## **Раздел 1. Устройство судна**

### **Тема 1.1. Общая и местная прочность. Конструкция корпуса металлических судов**

#### **Практическая работа № 1**

##### ***Расчет эпюры нагрузок и сил поддержания***

###### ***Цели:***

- знать виды нагрузок действующих на судно;
- уметь рассчитывать нагрузки;
- научиться строить эпюры нагрузок действующих на судно.

###### ***Задание:***

1. Описать виды нагрузок, действующих на судно.
2. Построить эпюры нагрузок.
3. Начертить схему положения судна при постановке на волну.

#### **Расчет эпюры нагрузок и сил поддержания**

При проектировании судна стремятся выбрать такие конструктивные решения, чтобы создаваемые конструкции были легкими и прочными. Это достигается рациональным распределением металла в поперечных сечениях отдельных конструкций и корпуса в целом.

При плавании в реальных морских условиях корпус судна испытывает деформации растяжения, сжатия и кручения. Наиболее опасным для обычных морских судов является общий продольный изгиб, вызывающий значительные напряжения в палубе и днище.

На рис. 1 показаны характерные положения судна на волнении, при которых возникают опасные изгибающие и скручивающие моменты. При положении на вершине волны (рис. 1, а) средняя часть судна глубоко погружена в воду и сила поддержания больше силы тяжести. Оконечности судна, наоборот, оказываются оголенными. В этих районах действуют лишь небольшие силы поддержания и преобладают силы тяжести. В результате

возникает деформация корпуса, называемая *перегибом*, при которой палуба оказывается растянутой, а днище сжатым.

Если судно находится на подошве волны, то наблюдается обратная картина (рис. 1, б). Оконечности судна здесь глубоко погружены в воду, а средняя часть оголена. Силы поддержания преобладают над силами тяжести только в оконечностях. Это приводит к деформации корпуса, называемой *изгибом*. Палуба судна оказывается сжатой, а днище растянутым.

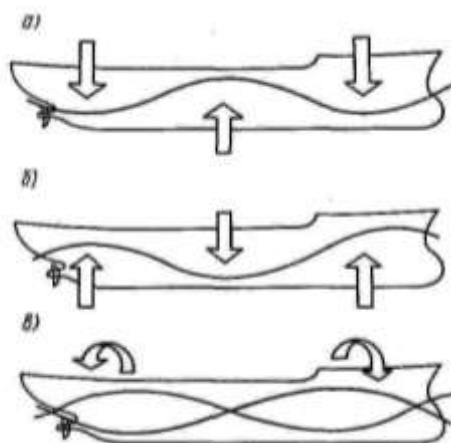


Рисунок 1 - Нагрузка на судно в условиях волнения: а - судно на вершине волны; б - судно на подошве волны; в - судно на косом волнении

При положении судна под углом к набегающим волнам (на косом волнении) возникает сложная картина (рис. 1, в). Профиль волны по бортам оказывается различным, что вызывает асимметричное распределение сил поддержания и появление значительных скручивающих моментов, создающих в судовых конструкциях напряжения сдвига. В наибольшей степени таким деформациям подвержены крупные морские суда с широкими люками и контейнеровозы, имеющие большое «раскрытие» палуб.

Наряду с рассмотренными силами корпус судна на волнении воспринимает нагрузку от качки, обусловленную действием инерционных и гидродинамических сил. Особенно велики эти силы в носовой оконечности при килевой качке. У судов с малой осадкой возможны удары корпуса о воду (слеминг). Возникновение слеминга отмечается, прежде всего, в балластном рейсе и приводит к появлению значительных динамических нагрузок на судах, особенно с плоским днищем.

Расчеты, связанные с оценкой общей прочности при продольном изгибе ведут сначала для положения судна на тихой воде. Нагрузку на тихой воде определяют как разность ординат *кривых сил тяжести и сил поддержания* (рис. 2). При построении этих кривых предполагается, что в пределах теоретической шпации сила тяжести от всех составляющих нагрузки в данном сечении корпуса судна распределена равномерно, а сила поддержания согласно закону Архимеда находится как произведение плотности воды на ускорение свободного падения и объем рассматриваемого отсека, т. е.  $\rho g \Delta V$ . График сил тяжести  $P$  представляет собой ступенчатую кривую, а сил поддержания - плавную кривую, проведенную как огибающую через концы отрезков, характеризующих величины погруженных площадей шпангоутов, умноженных на  $\rho g$ , т. е.  $\rho g \omega$ . Кривая сил поддержания также приводится к ступенчатому виду.

Разность ординат указанных кривых  $q = P - \rho g \omega$  представляет собой интенсивность *нагрузки* в пределах заданного сечения. Зная  $q$ , можно рассчитать действующие в этих условиях силу  $N_0$  и момент  $M_0$ , которые в расчетах прочности называют *перерезывающей силой* и *изгибающим моментом*. Если бы для всех отсеков оказалось  $q = 0$ , то при положении на тихой воде судно не испытывало бы общего продольного изгиба.

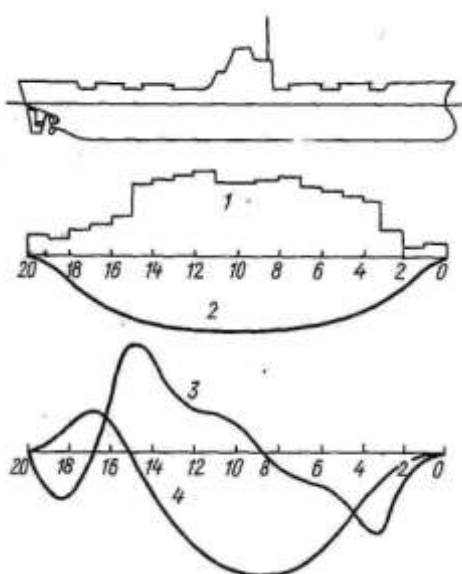


Рисунок 2 - Эпюры нагрузки 1, 2, перерезывающих сил 3 и изгибающих моментов 4 на тихой воде; 1 - сила тяжести; 2 - сила поддержания

На волнении возникают дополнительные нагрузки за счет перераспределения сил поддержания и появления инерционных и гидродинамических сил при качке. Основная часть этой нагрузки обусловлена положением ватерлинии и изменением формы погруженного объема. Наибольшие величины дополнительной перерезывающей силы  $\Delta N$  и изгибающего момента  $\Delta M$  возникают при длине волны близкой к длине судна для положений на вершине и подошве волны.

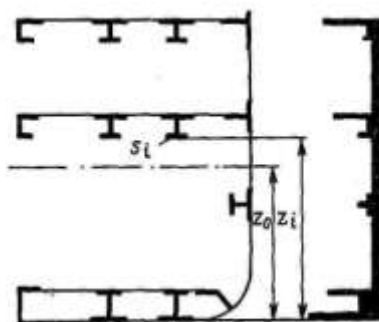


Рисунок 3 - Эквивалентный брус

Результирующие значения действующих усилий определяют как алгебраическую сумму нагрузок на тихой воде и на волнении:

$$N = N_0 + \Delta N, \quad M = M_0 + \Delta M.$$

Под воздействием момента  $M$  происходит изгиб корпуса и в продольных связях возникают продольные *нормальные напряжения*. Для оценки величины этих напряжений в первом приближении производят расчет *эквивалентного бруса* (рис. 3), т. е. такой условной балки, площадь которой составляет сумму площадей всех продольных связей, участвующих в общем изгибе, с учетом протяженности связи, наличия в ней вырезов и т. д. Пластины палубы, борта и днища, за исключением поясков, примыкающих к продольным связям, при определенных условиях учитывают не полностью путем введения множителей меньшей единицы, называемых *редукционными коэффициентами*.

Назначив связи эквивалентного бруса, можно рассчитать его момент инерции  $J$ , определив предварительно собственные и переносные моменты инерции всех составляющих его продольных связей относительно переносной оси.

Собственные моменты инерции стандартных профилей поперечных сечений судовых конструкций (угольник, углубульб, тавр и т. д.) принимают по специальным таблицам. Нестандартные профили разбивают на простые элементы, имеющие вид прямоугольника, собственный момент инерции которого находят по формуле  $i_{x0} = bh^3/2$ , где  $b$  и  $h$ — ширина и высота элемента.

Переносные моменты инерции определяют как произведение площади каждого элемента  $S_i$  на квадрат расстояния от ЦТ этой площади до нейтральной оси. В качестве нейтральной оси рассматривают горизонтальную линию, параллельную переносной оси, относительно которой ведется отсчет аппликат  $z_i$  - до ЦТ рассматриваемого элемента (см. рис. 3).

Положение нейтральной оси вычисляют по формуле

$$z_0 = \frac{\sum S_i z_i}{\sum S_i}$$

Таким образом, полный момент инерции эквивалентного бруса будет равен:

$$J = \sum J_0 + \sum S_0 (z_i - z_0)^2$$

Разделив величину  $J$  на отстояние наиболее удаленных от нейтральной оси связей палубы и днища  $z_n$  и  $z_{дн}$ , устанавливают момент сопротивления

$$W_n = J/z_n, \quad W_{дн} = J/z_{дн}.$$

Для определения нормальных напряжений от продольного изгиба достаточно разделить действующий в районе миделя изгибающий момент на моменты сопротивления палубы и днища

$$\sigma_n = M / W_n \quad \sigma_{дн} = M / W_{дн}$$



Величина  $M$  зависит от положения судна относительно профиля волны и достигает наибольших значений на вершине и подошве волны. Для этих условий и находятся соответствующие напряжения  $\sigma_n$  и  $\sigma_{он}$ .

Приближенную оценку суммарного изгибающего момента выполняют по формуле

$$M = \frac{1}{K} DL,$$

где  $D$  — водоизмещение, кН;

$L$  - длина судна, м;

$K$  - коэффициент, составляющий 330—370 для крупных сухогрузных судов; 300-330 - для малых сухогрузных судов с машинным отделением в средней части и 240-280 с машинным отделением в корме; 370-420 для крупных и 320-380 для малых танкеров.

Наибольшие касательные напряжения при продольном изгибе возникают в сечениях, расположенных в районе четверти длины судна от оконечностей. Величину этих напряжений определяют по формуле

$$\tau = NS / Jt$$

где  $N$  — суммарная перерезывающая сила;

$S$  - статический момент относительно нейтральной оси площади сечения связей по одну сторону от точки, для которой вычисляются напряжения;

$t$  - суммарная толщина продольных связей на данном уровне.

Максимум нормальных напряжений отмечается в районе соединения палубы с бортом, а максимум касательных напряжений — в бортовой обшивке на нейтральной оси.

Помимо общей продольной прочности производят проверку *местной прочности* различных судовых конструкций: пластин, балок, рам и перекрытий. *Пластины* (наружная обшивка, настил палуб и двойного дна, обшивка переборок и надстроек) составляют по массе около 70 % корпуса, обеспечивают его непроницаемость и играют важную роль в улучшении общей прочности. Отдельные балки судового набора обычно соединены с

пластинами и при их расчете в состав этой балки включают часть пластины в виде присоединенного пояска. *Рама* состоит из балок набора, расположенных в одной плоскости и жестко соединенных между собой по концам. *Перекрытия* образуются системами пересекающихся взаимно перпендикулярных балок набора с присоединенными поясками обшивки или настилов, принадлежащих к одной из основных плоскостей судна: днищу, палубе, борту или переборке.

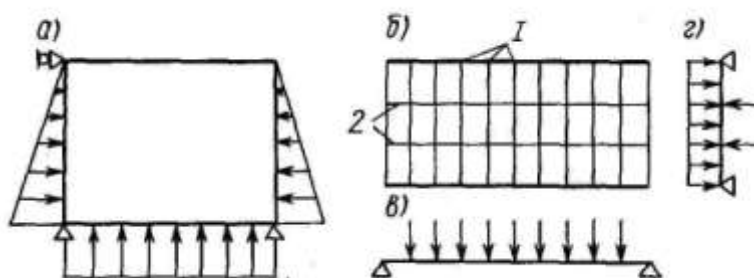


Рисунок 4 - Рама и перекрытие: а - схема нагрузки на раму; б - схема перекрытия; в, г - схема нагрузок на балки главного направления и перекрестные связи. 1 - балки главного направления; 2 - перекрестные связи

Схемы рассмотренных судовых конструкций приведены на рис. 4. Нагрузки на эти конструкции рассматривают в виде различным образом распределенных и сосредоточенных сил. К распределенным нагрузкам относятся давление воды, силы тяжести грузов, механизмов, оборудования и т. д. Сосредоточенными считаются нагрузки от давления льда и других сил, приложение которых сконцентрировано на малой площади.

При проверке прочности корпуса, действующие напряжения сравнивают с допускаемыми. Если величина действующих напряжений не превышает допускаемых, то считают, что прочность судна в данных условиях обеспечена.

Форма корпуса и его конструкционные материалы прошли долгий исторический путь. Сначала суда строились из дерева. Затем пришла эпоха стального судостроения, на первом этапе клепаного, а затем сварного. Корпус сварного судна стал приблизительно на 20 % легче клепаного благодаря устранению соединительных угольников, клепаных швов и

стыков. Сварная обшивка имеет гладкую поверхность, которую легче защищать от коррозии и которая оказывает меньшее сопротивление движению. Применение сварки привело к совершенствованию технологии и сокращению сроков постройки судов.

***Контрольные вопросы:***

1. Схема положения судна при постановке на волну.
2. Что представляют эпюры нагрузок, действующих на поперечное сечение судна.
3. Причины возникновения слеминга.
4. Как определить напряжение в связях корпуса судна.
5. Что такое эквивалентный брус и виды нагрузок.

***Форма контроля:***

1. Проверка схем.
2. Беседа.

**РАЗДЕЛ 2. Вооружение и оборудование судов**

**Тема 2.1 Тросы (канаты) и цепи**

**Практическая работа № 2**

***Подбор цепи якорного устройства по характеристике снабжения***

***Цели:***

- знать назначение и устройство якорных канатов и цепей;
- знать основные характеристики якорей;
- знать основные характеристики якорной цепи;
- научиться измерять и испытывать канаты и цепи;
- научиться выбирать якорные цепи по Правилам Регистра.

***Задание:***

1. Описать как производится подбор цепи якорного устройства.
2. Описать основные характеристики снабжения якорями.
3. Решить задачу своего варианта.

## Подбор цепи якорного устройства по характеристике

1. Характеристика снабжения  $N_c$ ,  $m^2$ , вычисляется по формуле:

$$N_c = L(B + H) + k \sum_{i=1}^n l_i h_i,$$

где  $L$ ,  $B$ ,  $H$  — конструктивные размерения судна, м;

$k$  — коэффициент, назначаемый в соответствии с указаниями 2 – 4;

$l$  — длина отдельных надстроек и рубок, м;

$h$  — средняя высота отдельных надстроек и рубок, м.

Для судов катамаранного типа характеристику снабжения необходимо определять по формуле:

$$N_c = 2L(B_e + T) + (L + B_c)(H - T) + k \sum_{i=1}^n l_i h_i,$$

где  $B_k$  — ширина одного корпуса, м;

$B_c$  — ширина судна в целом, м;

$T$  — осадка судна в грузу, м.

2. Коэффициент  $k$  следует принимать равным 1 для судов с суммарной длиной надстроек и рубок, расположенных на всех палубах, превышающей половину длины судна, и 0,5 — для судов, у которых указанная суммарная длина находится в пределах от 0,25 до 0,5 длины судна. При суммарной длине надстроек и рубок менее 0,25 длины судна надстройки и рубки при вычислении якорной характеристики можно не учитывать.

3. Для судов на подводных крыльях, воздушной подушке и глиссирующих судов значение  $k$  следует принимать в 2 раза меньшими по сравнению с теми, которые указаны в.2. Подводные крылья при определении характеристики снабжения не учитываются.

4. Для судов, перевозящих грузы на палубе, параметр  $\sum_{i=1}^n l_i h_i$  следует вычислять как произведение длины боковой проекции уложенного на палубе груза вместе с ограничивающими груз конструкциями на его среднюю высоту, а коэффициент  $k$  принимать равным 0,5 для судов, предназначенных

для перевозки только сыпучих грузов, и 1 — для перевозки других палубных грузов.

5. На дноуглубительных снарядах башни, черпаковые рамы и лотки в походном положении следует учитывать в характеристике снабжения как рубки, площадь боковой поверхности которых определяется по габаритному контуру.

### Снабжение якорями, якорными цепями и канатами

1. Снабжение носовыми якорями и цепями самоходных, несамоходных и буксирных судов должно быть обеспечено по нормам, приведенным в табл. 1, в соответствии с характеристикой снабжения  $N_c$  (см. 1.6).

Калибр якорных цепей во всех случаях следует назначать по табл. 2 в зависимости от массы якоря Холла.

Таблица 1

Характеристика снабжения $N_c$ , м <sup>2</sup>	Суда								
	самоходные			несамоходные			буксирные		
	Число якорей	Суммарная масса якорей, кг	Суммарная длина цепей, м	Число якорей	Суммарная масса якорей, кг	Суммарная длина цепей, м	Число якорей	Суммарная масса якорей, кг	Суммарная длина цепей, м
<b>Носовые якоря и цепи судов класса «М»</b>									
50	1	75	60	—	—	—	1	100	60
75	1	100	75	—	—	—	1	150	75
100	2	150	100	—	—	—	2	200	100
125	2	200	100	—	—	—	2	250	100
150	2	250	100	—	—	—	2	300	100
200	2	300	125	2	300	125	2	400	125
250	2	400	150	2	400	150	2	450	150
300	2	450	150	2	450	150	2	500	150
350	2	500	175	2	500	175	2	600	175
400	2	550	200	2	550	200	2	650	200
500	2	700	225	2	700	200	2	800	225
600	2	800	225	2	800	200	2	950	250
700	2	900	225	2	900	200	2	1100	250
800	2	1000	250	2	1000	225	2	1200	275
900	2	1100	250	2	1100	225	2	1400	275
1000	2	1250	250	2	1250	225	2	1500	275
1200	2	1500	250	2	1500	225	2	1800	275
1400	2	1750	275	2	1750	250	2	2000	300
1600	2	2000	275	2	2000	250	2	2500	300
1800	2	2250	275	2	2250	250	2	2750	300
2000	2	2500	300	2	2500	275	2	3000	325
2200	2	2750	300	2	2750	275	—	—	—
2400	2	3000	300	2	3000	275	—	—	—
2600	2	3000	300	2	3000	275	—	—	—
2800	2	3250	300	2	3250	275	—	—	—
3200	2	3750	325	2	3750	300	—	—	—
3600	2	4250	325	2	4250	300	—	—	—
4000	2	4500	325	2	4500	300	—	—	—
4400	2	5000	325	2	5000	300	—	—	—
4800	2	5500	325	2	5500	300	—	—	—
5200	2	6000	325	2	6000	300	—	—	—

Носовые якоря и цепи судов класса «О»									
50	1	50	50	—	—	—	1	75	50
75	1	75	60	—	—	—	1	100	60
100	1	100	60	—	—	—	1	150	60
125	2	150	75	—	—	—	2	200	75
150	2	200	75	1	200	75	2	250	75
200	2	250	100	2	250	100	2	300	100
250	2	300	100	2	300	100	2	350	100
300	2	350	125	2	350	125	2	400	125
350	2	400	125	2	400	125	2	500	125
400	2	450	150	2	450	150	2	550	150

Таблица 2

Масса якоря, кг	Калибр, мм, якорной цепи у судов классов						Масса якоря, кг	Калибр, мм, якорной цепи у судов классов					
	«Р» и «Л»			«М» и «О»				«Р» и «Л»			«М» и «О»		
	Цепь с распорками при категории прочности		Цепь без распорок	Цепь с распорками при категории прочности		Цепь без распорок		Цепь с распорками при категории прочности		Цепь без распорок	Цепь с распорками при категории прочности		Цепь без распорок
	1	2		1	2			1	2		1	2	
75	—	—	9	—	—	11	700	26	22	—	28	26	—
100	—	—	11	—	—	11	800	26	22	—	28	26	—
150	—	—	11	—	—	14	900	28	26	—	32	26	—
200	—	—	14	14	—	16	1000	32	26	—	34	28	—
250	14	—	16	16	14	17,5	1250	34	28	—	38	32	—
300	16	14	17,5	19	16	—	1500	38	32	—	40	34	—
350	17,5	14	19	19	16	—	1750	40	34	—	44	38	—
400	19	16	—	22	19	—	2000	44	38	—	46	40	—
450	20,5	17,5	—	22	19	—	2250	44	38	—	—	40	—
500	22	19	—	26	22	—	2500	46	40	—	—	44	—
600	22	19	—	26	22	—							

2. Нормы якорного снабжения судов на подводных крыльях, воздушной подушке и глиссирующих судов приведены в табл. 3. При определении разрывного усилия каната массу якоря необходимо брать в два раза больше, чем указано в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики ка снабжения, м <sup>2</sup>	Суда классов					
	«О»		«Р»		«Л»	
	Масса якоря, кг	Длина каната, м	Масса якоря, кг	Длина каната, м	Масса якоря, кг	Длина каната, м
50	10	60	10	50	10	40
75	15	65	15	55	15	40
100	25	70	15	60	15	45
125	25	80	25	65	25	50
150	35	85	25	70	25	50
175	50	90	35	70	25	55
200	50	95	35	75	25	55
250	50	100	50	80	35	65
300	75	105	50	85	35	65
350	75	115	75	85	50	70
400	100	120	75	95	50	75
450	100	125	75	100	50	80
500	100	130	75	105	75	80
550	125	135	100	110	75	85
600	125	135	100	110	75	85
700	150	140	125	110	100	85
800	150	145	125	115	100	90
900	200	150	150	120	125	95

1000	200	150	150	125	125	100
Примечание. Якорное снабжение принято применительно к якорям Матросова.						

3. На дноуглубительных снарядах допускается иметь один становой якорь массой, равной не менее половины суммарной табличной массы. На самоходных дноуглубительных снарядах якорное устройство необходимо размещать в носовой оконечности, а на несамоходных снарядах — в оконечности, противоположной той, в которой расположено основное рабочее устройство снаряда (сосун, черпаковая рама и т. п.).

4. Оборудование судов кормовыми якорными устройствами, за исключением буксиров-толкачей и самоходных судов, осуществляется по усмотрению судовладельца.

Если на судах длиной менее 25 м, за исключением буксиров и толкачей, размещение носового якорного устройства затруднено, то допускается оборудовать такие суда только кормовым якорным устройством.

5. На буксирах-толкачах, оборудованных носовым якорным устройством в соответствии с нормами для обычных буксирных судов должно быть также кормовое якорное устройство.

6. Самоходные суда с характеристикой снабжения 1000 м<sup>2</sup> и более должны быть оборудованы, помимо носового якорного устройства, кормовым якорным устройством, если:

.1 в район плавания этих судов входят участки без течения или с низкой скоростью течения. Масса кормового якоря для таких судов должна составлять не менее 0,25 суммарной массы носовых якорей;

.2 в район плавания этих судов входят многочисленные участки судового хода, ширина которых не позволяет судну сделать оборот для постановки на носовые якоря против течения. Масса кормового якоря в данном случае должна составлять не менее 0,4 суммарной массы носовых якорей.

Длина якорной цепи в обоих случаях должна быть не менее 75 % длины меньшей якорной цепи носовых якорей.

7. Снабжение судов якорями и цепями должно соответствовать той табличной характеристике снабжения, которая наиболее близка к вычисленной.

8. Масса каждого из двух устанавливаемых якорей должна быть равна половине табличной массы. Допускается массу одного якоря (правого) принимать равной до 0,6 табличной суммарной массы с соответствующим уменьшением массы другого якоря.

9. Если общая длина якорных цепей характеризуется четным числом смычек, то длина цепей обоих якорей должна быть одинаковой. Если общая длина якорных цепей характеризуется нечетным числом смычек, то длину одной из цепей берут на одну смычку больше и при якорях с разной массой соединяют с якорем, масса которого больше.

10. В случаях применения литых якорных цепей вместо сварных калибр их может быть уменьшен на 12 %.

11. Замена цепей стальными, синтетическими или пеньковыми канатами, кроме судов на подводных крыльях, воздушной подушке и глиссирующих судов, на которых якорные цепи, как правило, заменяются стальными канатами, допускается на судах классов «О» и «М» только для кормовых якорей, а на судах класса «О» длиной менее 25 м и на судах классов «Р» и «Л» — для носовых якорей при соблюдении следующих условий:

.1 калибр цепи, заменяемый стальным или синтетическим канатом, должен быть не более 22 мм, а калибр цепи, заменяемой пеньковым канатом, — не более 14 мм;

.2 канаты должны быть гибкими и равнопрочными цепям требуемого калибра;

.3 стальные канаты должны быть оцинкованными, а пеньковые — смольными;



.4 канат должен соединяться с якорем отрезком цепи, равнопрочным канату, имеющим длину, достаточную для закрепления якоря по-походному с помощью цепного стопора. Отрезок цепи не требуется, если конструкцией якорного устройства предусмотрено иное стопорное приспособление для удержания поднятого якоря.

12. На буксирах-толкачах всех классов мощностью до 590 кВт включительно, оборудованных буксирными лебедками, допускается замена якорных цепей стальными канатами в кормовом якорном устройстве.

На самоходных судах технического флота всех классов со станowymi лебедками, обеспечивающими свободное стравливание каната при расторможенном барабане, допускается замена стальными канатами якорных цепей калибром до 31 мм. В обоих случаях должны соблюдаться условия 2 и 4.

**Решить задачу:**

Определить по Правилам Регистра якорное снабжение морского сухогрузного судна неограниченного района плавания при следующих данных:

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
масса судна	13580	2472	105,3	4017	2800	3920	4761	7479	33,99	518	28,8	830
наибольшая длина	133,1	77,6	35,96	139,99	103,5	114,2	114,0	108,33	21,9	71,4	22,14	77
ширина	18,8	16,42	13,5	16,6	12,4	13,22	13,23	16,74	3,84	15,2	3,93	15,2
высота борта	11,6	4,8	2,2	5,5	4,9	5,5	5,5	5,5	5,8	2,7	0,78	1,95
осадка	9	2,96	0,65	3,4	2,81	3,36	3,9	4,79	1,3	1,08	0,29	1,4
суммарная длина надстроек	25,0	6,2	5,4	20,1	5,7	10,1	12,6	4,6	18,6	17,2	4,5	7,0
средняя высота надстроек	3,0	3,2	2,9	5,2	4,1	4,3	4,3	3,0	2,85	2,9	3,15	1,95
длина рубки	32,0	9,2	7,6	27,2	10,5	15,3	14,7	8,0	4,4	8,4	3,4	9,4
Высота рубки	9,0	3,5	1,9	4,7	3,9	2,8	3,01	3,2	2,7	3,0	3,0	3,0

Судно без седловатости. Массу якоря и калибр цепи сравнить с приближенными значениями, вычисленными по массе судна.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие особенности снабжения земснарядов якорями.
2. Каковы требования к замене якорной цепи.

### ***Форма контроля:***

1. Проверка решенной задачи.
2. Беседа.

## **Тема 2.2 Якоря и стопоры**

### **Практическая работа № 3**

#### ***Расчет параметров якорной стоянки***

#### ***Цели:***

- знать назначение и виды якорей;
- уметь подбирать тип и массу якоря;
- уметь рассчитывать усилия в якорном канате при стоянке судна.

#### ***Задание:***

1. Описать назначение и виды якорей, применяемых на грузовых судах.
2. Решить задачи.

#### ***Держащая сила якорного устройства***

*Держащей силой якоря* называется наименьшее усилие, которое нужно приложить в направлении веретена, чтобы сорвать его с грунта. Это усилие обычно относят к его весу. Если говорится, что держащая сила якоря равна трем, то это означает, что фактически его способность оказывать сопротивление силам, стремящимся сместить судно, будет равна его утроенному весу.

Держащая сила якоря зависит от его типа, характера грунта и длины вытравленной якорной цепи. Наибольшей держащей силой якорь обладает, когда его веретено занимает горизонтальное положение. В противном случае якорь теряет часть держащей силы. Так, при тяговом усилии, направленном к поверхности грунта под углом  $15^\circ$ , держащая сила якоря уменьшается до

50%. На рис. 2.5 показан процесс забираяния грунта якорем с поворотными лапами.

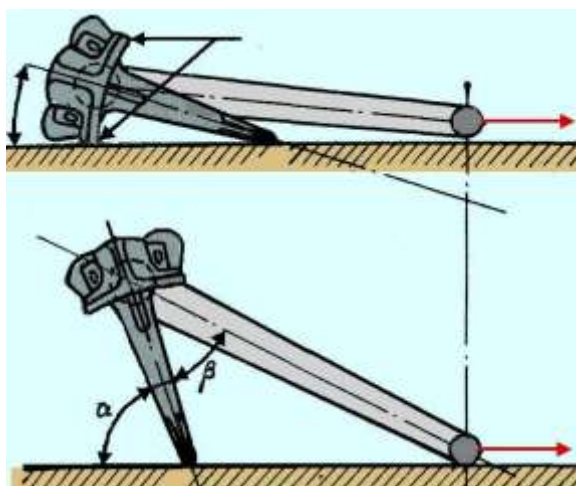


Рис. 2.5. Процесс забираяния грунта якорем с поворотными лапами

Наибольшую величину держащей силы  $T_{яу}$  якорного устройства определяют по формуле

$$T_{яу} = kP_{я} + fP_{ц} \quad (2.1)$$

где  $k$  — коэффициент держащей силы, зависящей от типа якоря и характера грунта (табл. 2.1);

$P_{я}$  — масса якоря, т;

$f$  - коэффициент трения цепи о грунт (в среднем равен 0,3);

$P_{ц}$  – вес якорной цепи, лежащей на грунте, равен  $0,18d^2 * l$ , т;

$l$  - длина якорной цепи, лежащей на грунте, м.

Таблица 2.1  
Значения коэффициентов держащей силы

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

Приведенные в таблице коэффициенты относятся к действию постоянного долговременного тягового усилия. При действии тягового

усилия в виде отдельных кратковременных рывков держащая сила может оказаться больше расчетной в 2—3 раза.

*Внешние силы, действующие на судно, стоящее на якорь*

Условие безопасной якорной стоянки (без дрейфа на якорь) – сумма внешних воздействий должна быть меньше держащей силы якорного устройства:  $R_{вн} \leq T_{яу}$ .

Определяем сумму сил от внешних воздействий:

$$R_{вн} = RA + R_m + R_{ин} + R_{волн}.$$

Сила воздействия от ветра  $RA$  зависит от скорости ветра, площади обдуваемой поверхности и определяется по формуле:

$$RA = 0,8W^2S_x, H;$$

где  $S_x$  – лобовая площадь парусности, м<sup>2</sup>;

$W$  – скорость ветра, м/с;

Сила воздействия от течения  $R_m$  равна:

$$R_m = 60S_mV_m^2, H;$$

где  $S_m$  – площадь подводной части миделя, м<sup>2</sup>;

$V_m$  – скорость течения, м/с.

Инерционные силы  $R_{ин}$  (силы, возникающие при рыскании) принимаются равными весу якоря в воде:

$$R_{ин} = 8,5M_я, H;$$

где  $M_я$  – масса якоря, кг.

В противном случае якорь будет ползти.

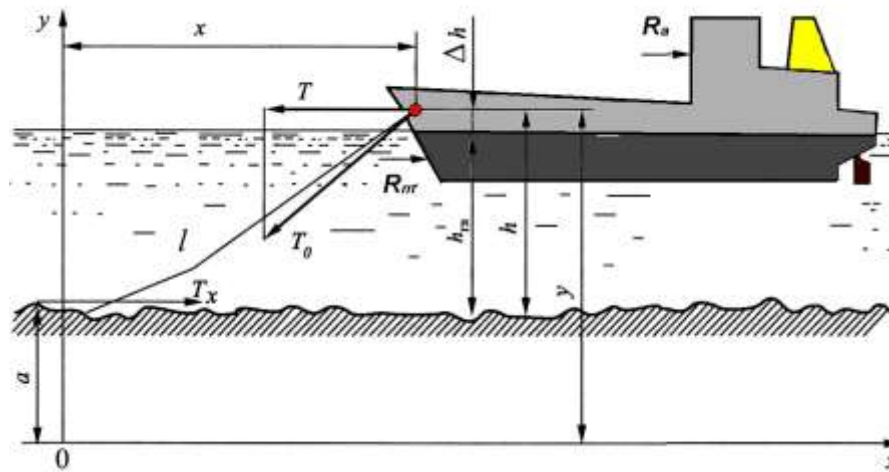


Рис. 2.21. Схема сил, действующих на судно, стоящее на якорю

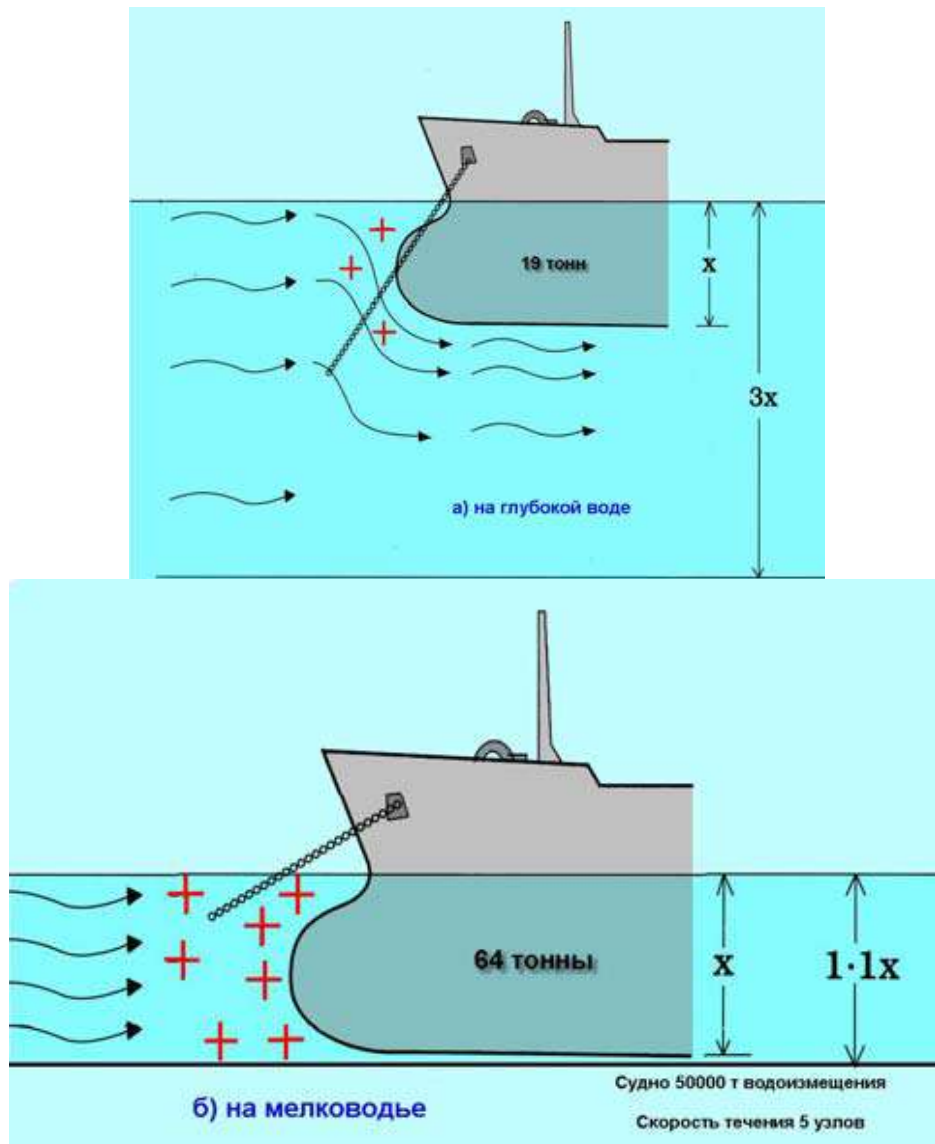


Рис. 2.22. Влияние мелководья на безопасность якорной стоянки

Для учета сил ударов волн о корпус судна вводят коэффициент динамичности  $K_d$ , который принимают равным  $1,4 \div 1,7$ .

Итак, держащая сила якорного устройства должна быть более суммы всех внешних сил, действующих на судно:

$$T_{\text{яу}} \geq R_{\text{вн}} = K_d (R_A + R_m + R_{\text{ин}}), \text{ Н}$$

**Решить задачи:**

*Вариант 1*

Определить длину вытравленной за борт части якорной цепи калибром 48 мм при возвышении клюза над грунтом на 24 м, считая, что горизонтальное натяжение цепи уравнивается держащей силой якоря, равной  $3 gM_{\text{я}}$ ;  $M_{\text{я}} = 4000$  кг. На грунте лежат 15 м цепи.

*Вариант 2*

Какой длины участок якорной цепи лежит на грунте, если за бортом 120 м цепи калибром 28 мм, угол наклона ее относительно вертикали на клюзе  $16^\circ$ , возвышение клюза над грунтом  $h = 29; 36; 42; 47; 60$  м?

**Контрольные вопросы:**

1. Что называют характеристикой снабжения.
2. Как выбирают калибр якорной цепи для различных видов якорей.
3. Что такое ветровая нагрузка.

**Форма контроля:**

1. Проверка задач.
2. Беседа.

## **РАЗДЕЛ 4. Основы теории судна**

### **Тема 4.1. Геометрия корпуса судна**

#### **Практическая работа № 4**

***Расчеты площадей шпангоутов и ватерлиний по правилу трапеций***

### **Цели:**

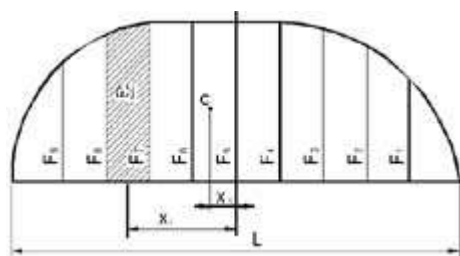
- знать назначение шпангоутов и ватерлиний;
- знать назначение теоретического чертежа;
- научиться определять площади шпангоутов и ватерлиний по правилу трапеций.

### **Задание:**

1. Описать методику определения площади шпангоута.
2. Описать методику расчета площади ватерлинии.
3. Определить площадь шпангоута по своему варианту.

## **Строевые по шпангоутам и ватерлиниям**

Для характеристики распределения сил водоизмещения по длине судна строят специальную эпюру, называемую строевой по шпангоутам. Для построения этой эпюры горизонтальная линия, выраженная в принятом масштабе теоретическую длину судна, делится на  $n$  одинаковых частей, равных числу шпаций на теоретическом чертеже судна.



**Рис. 1. Строевая по шпангоутам**

На перпендикулярах, восстановленных в точках деления, откладывают в определенном масштабе величины площадей погруженных частей соответствующих шпангоутов и концы этих отрезков соединяют плавной линией. Площадь строевой по шпангоутам равна объему водоизмещения судна.

При отсутствии теоретического чертежа объемное водоизмещение судна можно приближенно определять по его главным размерениям:  $V=k*L*B*T$ , где  $L$ ,  $B$ ,  $T$  - соответственно длина, ширина и осадка судна;  $k$  - коэффициент полноты водоизмещения или общий коэффициент полноты.

Значения коэффициента полноты  $k$  для различных типов судов принимаются по справочным данным.

Так как центр величины судна находится в центре тяжести подводной части судна, а площадь строевой выражает собой объем подводной части, то абсцисса центра тяжести строевой по шпангоутам равна абсциссе центра величины судна.

Аналогичная эпюра, характеризующая распределение сил водоизмещения по высоте судна, называется строевой по ватерлиниям.

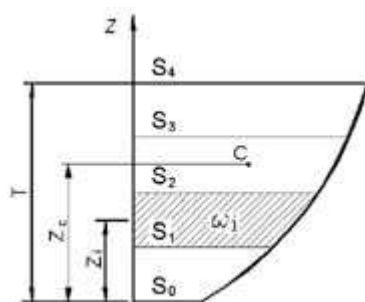


Рис. 1. Строевая по ватерлиниям

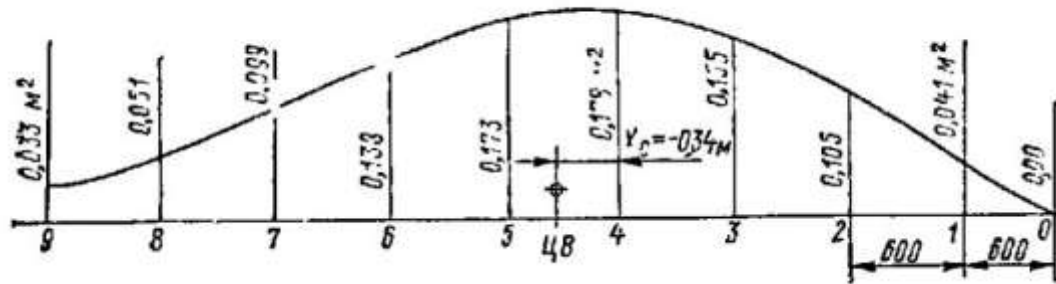
Площадь строевой по ватерлиниям также равна объемному водоизмещению судна, а ордината ее центра тяжести определяет положение центра величины судна по его высоте.

Если учесть свойства строевых по шпангоутам и ватерлиниям, то определение местоположения центра величины судна сведется к вычислению абсциссы центра тяжести строевой по шпангоутам и ординаты центра тяжести строевой по ватерлиниям.

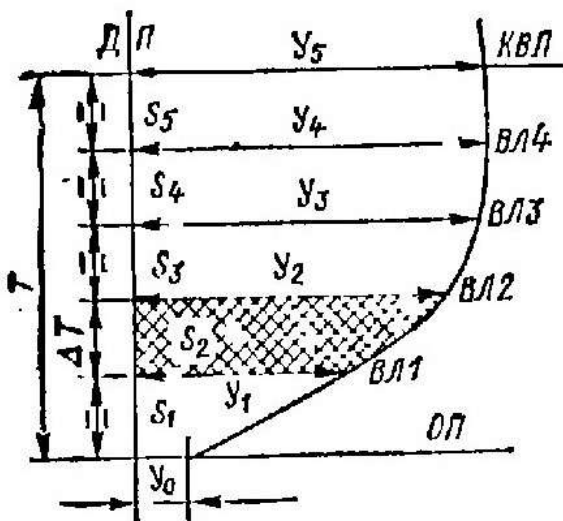
### **Вычисление площади погруженной части шпангоута методом трапеции.**

Для расчета крена и дифферента необходимо, кроме массы и положения ЦТ судна, знать его объемное водоизмещение и положение центра величины, ЦВ, который является центром тяжести объема воды, вытесненного корпусом судна. Простейшим способом расчета этих величин является построение строевой по шпангоутам.





В качестве базы для построения этой кривой служит линия ДП на полушироте теоретического чертежа, при чем линии теоретических шпангоутов продлеваются вниз. На каждой из этих линий в определенном масштабе следует отложить погруженную площадь соответствующего шпангоута. Для остроскулых судов плоскодонных или имеющих килеватость, рассчитать площадь шпангоута не представляет труда: достаточно разделить его на простые геометрические фигуры прямоугольники, треугольники, трапеции.



Этот же принцип можно применить и для расчета площадей шпангоутов круглоскулых корпусов, но более точный результат дает способ трапеций. Сущность его состоит в следующем. Если фигуру, ограниченную кривой линией, разделить равноотстоящими прямыми на достаточно большое число равных частей, то площадь каждой части можно вычислить как для трапеции:

$$s_2 = \frac{1}{2} (y_1 + y_2) \cdot \Delta T \text{ м}^2.$$

Суммируя затем площади всех трапеций, можно получить площадь всей фигуры как сумму площадей всех трапеций:

$$\begin{aligned} S &= s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5 = \frac{1}{2} \Delta T (y_0 + y_1) + \dots + \frac{1}{2} \Delta T (y_4 + y_5) = \\ &= \Delta T \left( \frac{1}{2} y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + \frac{1}{2} y_5 \right) \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Таким образом, для вычисления площади шпангоута необходимо найти сумму всех ординат  $y_i$  по ватерлиниям за вычетом полусуммы ординат крайних ватерлиний – при ОП и КВЛ, и умножить результат на расстояние  $\Delta T$  между ватерлиниями и на 2, так как расчет велся для половины шпангоута. Подобный же принцип может быть использован и для вычисления площади любой ватерлинии, которая делится теоретическими шпангоутами на равные по длине участки  $DL$ .

Найдя на проекции корпус погруженные площади каждого шпангоута  $W_i$  их откладывают вниз от ДП в определенном масштабе, затем проводят плавную кривую. Нетрудно сообразить, что если, сложить, например ординаты площадей шпаций 5 и 6 и умножить на расстояние между шпангоутами  $DL$ , то получится объем части корпуса как усеченной пирамиды, имеющей основания в виде погруженных в воду частей шпаций 5 и 6. Следовательно, располагая строевой по шпангоутам, можно вычислить водоизмещение использовав тот же принцип трапеций,

$$V = \Delta L \left( \frac{1}{2} \omega_0 + \omega_1 + \dots + \omega_n + \frac{1}{2} \omega_{10} \right) \text{ м}^3.$$

Здесь все величины должны быть выражены в м и  $\text{м}^2$ . Пользуясь правилом трапеций, можно найти и положение центра величины – ЦВ, поскольку он должен совпадать с положением центра тяжести строевой по ватерлинии относительно миделя. Для этого вычисляется статический момент площади, ограниченной строевой по шпангоутам, относительно

мидель – шпангоута, причем абсциссы носовых шпангоутов берутся со знаком плюс, кормовых – со знаком минус. При десяти теоретических шпангоутах:

$$M = \Delta L^2 \left( \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot \omega_0 + 4 \cdot \omega_1 + 3 \cdot \omega_2 + \dots + 0 \cdot \omega_5 - 1 \cdot \omega_6 - 2 \cdot \omega_7 - \dots - 4 \cdot \omega_9 - \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot \omega_{10} \right) \text{ м}^4.$$

Абсцисса ЦВ от миделя составляет:

$$x_c = \frac{M}{V} \text{ м}$$

### ***Контрольные вопросы:***

1. Как определить местоположение центра величины судна.
2. Как рассчитать площадь шпангоута для остроскулых судов плоскодонных или имеющих килеватость.

### ***Форма контроля:***

1. Проверка схем.
2. Беседа.

## **Тема 4.2. Плавучесть**

### **Практическая работа № 5**

***Решение задач по приему и снятию груза. Определение осадки при переходе из пресной воды в соленую***

#### ***Цели:***

- знать что такое осадка судна;
- знать основные свойства жидкости;
- знать, как изменится осадка судна переходе из пресной воды в соленую и обратно;
- научиться определять осадку судна.

#### ***Задание:***

1. Описать изменение средней осадки при изменении нагрузки.
2. Дать описание изменению средней осадки при изменении плотности воды.
3. Решить задачи.

### **Решение задач по приему и снятию груза. Определение осадки при переходе из пресной воды в соленую**

При перемещении грузов вдоль осей X и Y общий центр тяжести переместится согласно последнему уравнению. Силы тяжести и силы плавучести уже не будут находиться на одной вертикали, поэтому ЦВ должен переместиться таким образом, чтобы находился строго под ЦТ. Но для этого должна измениться форма подводной части судна. Это реализуется изменением посадки судна, которая характеризуется средней осадкой ( $T_{\text{ср}}$ ), углом крена ( $\Theta$ ), углом дифферента ( $\psi$ ) или осадками носом и кормой (рис. 1).

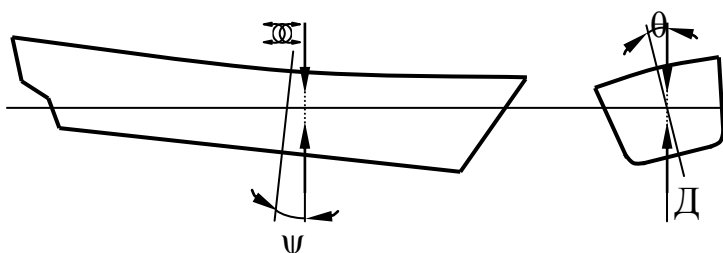


Рисунок 1-Изменение посадки судна

### **Изменение средней осадки при изменении нагрузки**

Для вывода этой зависимости условимся считать, что масса груза, принимаемого на судно или снимаемого с него не превышает 10 % водоизмещения.

При приеме груза массовое водоизмещение судна увеличится, что приведет к увеличению объемного водоизмещения, а, следовательно, и осадки. Пусть на судно принят малый груз весом  $p$ . Массовое водоизмещение получит приращение  $\Delta D = p$ , а объемное -  $\Delta V$ . Зная, что  $D = \gamma V$ , можно написать

$$\Delta D = p = \gamma \Delta V.$$

Если груз принимают так, что судно не получает ни крена, ни дифферента, то приращение объемного водоизмещения можно определить как дополнительный объем корпуса, вошедший в воду,  $\Delta V = S \Delta T$ , где  $S$  – площадь ватерлинии,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta T$  – приращение средней осадки, м.

Подставив полученное выражение в формулу, получим,  $p = \gamma S \Delta T$ , откуда приращение средней осадки

$$\Delta T = \frac{p}{\gamma S}.$$

Величина  $\Delta T$  может быть положительной или отрицательной в зависимости от знака при  $p$ . При приеме груза его масса берется со знаком плюс, а при снятии - со знаком минус.

Если в формуле принять приращение осадки  $\Delta T$  равным 1 см, то получим значение груза, изменяющее осадку на 1 см. Обозначив эту величину буквой  $p_{1\text{см}}$ , получим

$$p_{1\text{см}} = \frac{\gamma S}{100}.$$

Тогда приращение средней осадки (в сантиметрах) можно определить как:

$$\Delta T = p / p_{1\text{см}}$$

Можно построить кривую числа тонн на 1 см осадки (рис.2), по которой легко определить величину  $p_{1\text{см}}$ , соответствующую осадке судна к моменту погрузки или выгрузки. Следует помнить, что эти формулы справедливы только для малых грузов. Для более тяжелых грузов пользуются грузовым размером (рис. 3) - кривой, выражающей зависимость между водоизмещением и средней осадкой.

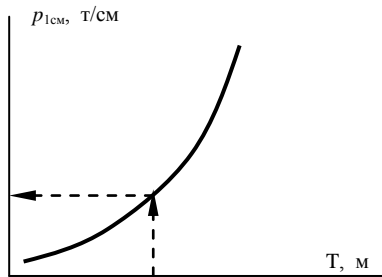


Рисунок 2 Кривая числа тонн на

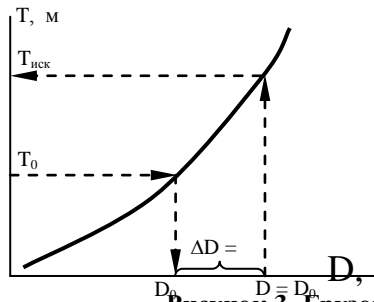


Рисунок 3- Грузовой размер 1 см осадки.

### Изменение средней осадки при изменении плотности воды

Морская вода имеет более высокую плотность, чем пресная, поэтому судно при одной и той же массе будет иметь в море меньшее объемное водоизмещение, чем в реке. Следовательно, осадка в море будет также меньше.

Обозначим удельный вес воды до перехода судна  $\gamma_1$ , удельный вес воды после перехода  $\gamma_2$ , объемное водоизмещение до перехода  $V_1$ , объемное водоизмещение после перехода  $V_2$ .

Если судно переходит из соленой воды в пресную, то приращение объемного водоизмещения,

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{D}{\gamma_2} - \frac{D}{\gamma_1} = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 \gamma_2} D.$$

Приращение объемного водоизмещения  $\Delta V = S \Delta T$ . Приравняв правые части выражений, получим,

$$\Delta T = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 \gamma_2} \frac{D}{S}.$$

Знак  $\Delta T$  зависит от направления перехода судна. Если судно переходит из воды с меньшей плотностью в более плотную ( $\gamma_1 < \gamma_2$ ) то величина  $\Delta T$  отрицательная, новая осадка будет меньше первоначальной, и наоборот.

### Решить задачи:

Вариант 1

1. Найти угол крена  $\Theta$  и изменение осадки борта  $\Delta T$  судна (см. рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) от переноса груза  $P = 20$  т с диаметральной плоскости на борт на расстояние  $\Delta y = 5,0$  м, если водоизмещение судна  $D = 5000$  т, ширина  $B = 12,0$  м, а начальная поперечная метацентрическая высота  $h = 0,5$  м.

2. Найти число тонн на 1 см осадки для случая плавания судна в пресной и соленой воде ( $\gamma = 1,025$  т/м<sup>3</sup>), если известно, что длина судна  $L = 100,0$  м, ширина  $B = 15,0$  м, а коэффициент полноты площади КВЛ  $\alpha = 0,800$ .

### *Вариант 2*

1. Глубина речного фарватера равна 1,0 м. На сколько необходимо разгрузить речное грузовое судно, если его элементы таковы:  $L = 60,0$  м,  $B = 8,5$  м,  $T = 1,05$  м,  $\alpha = 0,800$ . Зазор между днищем и ложем фарватера должен быть не менее 0,1 м.

2. Осадка судна в пресной воде  $T = 6,0$  м, коэффициент вертикальной полноты  $\chi = 0,900$ , а число тонн на 1 см осадки для пресной воды  $p_{1\text{см}} = 20$  т/см. Сколько дополнительного груза можно будет принять на судно при переходе его в соленую воду с удельным весом  $\gamma = 1,020$  т/м<sup>3</sup> при условии, что осадка в соленой воде станет равной осадке в пресной воде?

### *Вариант 3*

1. Грузовое судно имеет следующие элементы:  $L = 160,0$  м,  $B = 20,0$  м,  $T = 9,0$  м,  $\delta = 0,660$ . Число тонн на 1 см осадки  $p_{1\text{см}} = 25$  т/см. Как изменится осадка при изменении весового водоизмещения на 10 %, считая судно прямостенным в этих пределах изменения осадки? Удельный вес воды  $\gamma = 1,025$  т/м<sup>3</sup>.

2. Грузовое судно вышло из речного порта, имея водоизмещение  $D = 2500$  т (число тонн на 1 см осадки  $p_{1\text{см}} = 7$  т/см). В пути израсходовано топлива  $P_1 = 15$  т и приняты в промежуточных портах грузы суммарным весом  $P_2 = 90$

т. Определить, как изменится средняя осадка судна по приходе в конечный морской порт, где вода имеет удельный вес  $\gamma = 1,020 \text{ т/м}^3$ .

*Вариант 4*

1. Судно имеет осадку  $T = 2,5 \text{ м}$ , коэффициенты полноты  $\delta = 0,650$ ,  $\alpha = 0,765$  и плавает в пресной воде. Определить изменение средней осадки, если с судна будет снят груз  $P$ , равный по весу 8 % от водоизмещения. В районе грузовой ватерлинии судно можно считать прямостенным.

2. Подводная лодка, представляющая собой цилиндр диаметром  $d = 10,0 \text{ м}$ , длиной  $L = 60,0 \text{ м}$ , идет в подводном положении в воде с удельным весом  $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ . Определить всплывет или погрузится лодка при расходовании 118 т запасов и переходе в пресную воду.

***Контрольные вопросы:***

1. Как произойдет изменение средней осадки при изменении нагрузки.
2. Как изменится средняя осадка при изменении плотности воды.

***Форма контроля:***

1. Проверка схем.
2. Проверка решения задач.
3. Беседа.

**Тема 4.3. Остойчивость**

**Практическая работа № 6**

***Производство расчетов по продольной и поперечной остойчивости:***

- *метацентрической высоты, метацентрического радиуса;*
- *изменение метацентрической высоты при вертикальных и горизонтальных перемещениях груза, приеме или снятии грузов, влияние жидкости или сыпучих грузов, подвешенных грузов, в аварийных случаях, посадке на грунт;*
- *работа с диаграммами статической и динамической остойчивости.*

***Цели:***

- *знать определение метацентрической высоты, метацентрического радиуса;*



- знать, как изменится метацентрическая высота при вертикальных и горизонтальных перемещениях груза, приеме или снятии грузов;
- знать влияние жидкости или сыпучих грузов, подвешенных грузов, в аварийных случаях, посадке на грунт;
- уметь работать с диаграммами статической и динамической остойчивости;
- научиться производить расчеты продольных и поперечных метацентрических высот и радиусов.

**Задание:**

1. Законспектировать определение метацентрической высоты, метацентрического радиуса, влияние жидкости или сыпучих грузов, подвешенных грузов, в аварийных случаях, посадке на грунт.
2. Решить задачи своего варианта.

**Производство расчетов по продольной и поперечной остойчивости**

*Остойчивость* - способность судна, выведенного внешним воздействием из положения равновесия, возвращаться в него после прекращения этого воздействия. Основной характеристикой остойчивости является восстанавливающий момент, который должен быть достаточным для того, чтобы судно противостояло статическому или динамическому (внезапному) действию кренящих и дифференцирующих моментов, возникающих от смещения грузов, под воздействием ветра, волнения и по другим причинам.

Кренящий (дифференцирующий) и восстанавливающий моменты действуют в противоположных направлениях и при равновесном положении судна равны.

Различают *поперечную остойчивость*, соответствующую наклонению судна в поперечной плоскости (крен судна), и *продольную остойчивость* (дифферент судна).

*Продольная остойчивость* морских судов заведомо обеспечена и ее нарушение практически невозможно, в то время как размещение и перемещение грузов приводит к изменениям поперечной остойчивости.

При наклонении судна его центр величины (ЦВ) будет перемещаться по некоторой кривой, называемой траекторией ЦВ. При малом наклонении судна (не более  $12^\circ$ ) допускают, что траектория ЦВ совпадает с плоской кривой, которую можно считать дугой радиуса  $r$  с центром в точке  $m$ .

Радиус  $r$  называют поперечным метацентрическим радиусом судна, а его центр  $m$  - начальным метацентром судна.

*Метацентр* - центр кривизны траектории, по которой перемещается центр величины  $C$  в процессе наклонения судна. Если наклонение происходит в поперечной плоскости (крен), метацентр называют поперечным, или малым, при наклонении в продольной плоскости (дифферент) - продольным, или большим.

Соответственно различают поперечный (малый)  $r$  и продольный (большой)  $R$  метацентрические радиусы, представляющие радиусы кривизны траектории  $C$  при крене и дифференте.

Расстояние между начальным метацентром  $m$  и центром тяжести судна  $G$  называют начальной метацентрической высотой (или просто метацентрической высотой) и обозначают буквой  $h$ . Начальная метацентрическая высота является измерителем остойчивости судна.

$$h = z_c + r - z_g; h = z_m - z_c; h = r - a,$$

где  $a$  - возвышение центра тяжести (ЦТ) над ЦВ.

Метацентрическая высота (м.в.) - расстояние между метацентром и центром тяжести судна. М.в. является мерой начальной остойчивости судна, определяющей восстанавливающие моменты при малых углах крена или дифферента. При возрастании м.в. остойчивость судна повышается. Для положительной остойчивости судна необходимо, чтобы метацентр

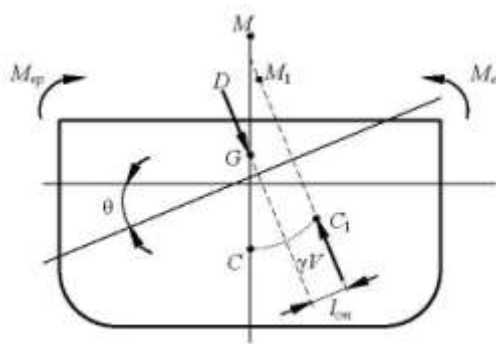
находился выше ЦТ судна. Если м.в. отрицательна, т.е. метацентр располагается ниже ЦТ судна, силы, действующие на судно, образуют не восстанавливающий, а кренящий момент, и судно плавает с начальным креном (отрицательная остойчивость), что не допускается.

Элементы начальной поперечной остойчивости:

OG – возвышение центра тяжести над килем; OM – возвышение метацентра над килем;

GM - метацентрическая высота; CM – метацентрический радиус;

M– метацентр; G – центр тяжести; C – центр величины



Возможны три случая расположения метацентра m относительно центра тяжести судна G:

метацентр m расположен выше ЦТ судна G ( $h > 0$ ). При малом наклонении силы тяжести и силы плавучести создают пару сил, момент которой стремится вернуть судно в первоначальное равновесное положение;

ЦТ судна G расположен выше метацентра m ( $h < 0$ ). В этом случае момент пары сил веса и плавучести будет стремиться увеличить крен судна, что ведет к его опрокидыванию;

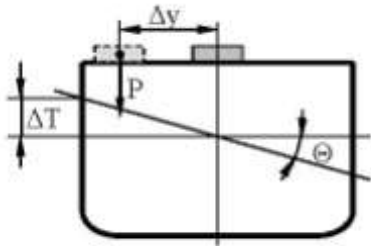
ЦТ судна G и метацентр m совпадают ( $h = 0$ ). Судно будет вести себя неустойчиво, так как отсутствует плечо пары сил.

Физический смысл метацентра заключается в том, что эта точка служит пределом, до которого можно поднимать центр тяжести судна, не лишая судно положительной начальной остойчивости.

**Решить задачи:**

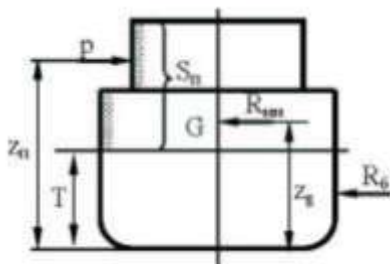
### Вариант 1

Найти угол крена  $\Theta$  и изменение осадки борта  $\Delta T$  судна (см. рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) от переноса груза  $P = 20$  т с диаметральной плоскости на борт на расстояние  $\Delta y = 5,0$  м, если водоизмещение судна  $D = 5000$  т, ширина  $B = 12,0$  м, а начальная поперечная метацентрическая высота  $h = 0,5$  м.



### Вариант 2

По метацентрической формуле остойчивости определить угол статического и динамического крена  $\Theta$  под действием ветра, если удельное давление ветра  $p = 150$  кг/м<sup>2</sup>, водоизмещение судна  $D = 2400$  т, осадка  $T = 3,0$  м, метацентрическая высота  $h = 0,5$  м, площадь парусности  $S_{\Pi} = 375$  м<sup>2</sup>, возвышение ЦТ  $z_g = 6,3$  м, а аппликата ЦП  $z_{\Pi} = 8,9$  м. Считать, что равнодействующая давления воды  $R_6$  приложена посередине осадки (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

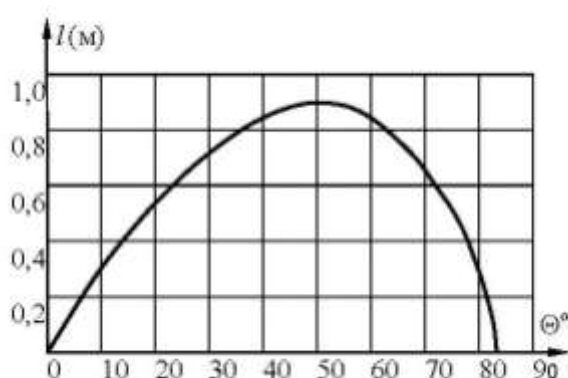


### Вариант 3

На судне перенесли с борта на борт грузы, общая масса которых составляет 2,5 % от водоизмещения судна. В результате судно получило крен  $\Theta = 3^\circ$ . Вычислить начальную метацентрическую высоту  $h$ , если общий центр тяжести этих грузов переместился на 2,1 м.

#### *Вариант 4*

По диаграмме статической остойчивости судна (рис. **Ошибка!** **Источник ссылки не найден.**) определить углы статического и динамического крена при действии ветра с удельным давлением  $p = 400$  кг/м<sup>2</sup>. Водоизмещение судна  $D = 3700$  т, площадь парусности судна  $S_{\Pi} = 675$  м<sup>2</sup>, осадка  $T = 5,0$  м, возвышение ЦТ  $z_g = 6,3$  м, а аппликата ЦП  $z_{\Pi} = 8,9$  м. Считать, что равнодействующая давления воды  $R_6$  приложена посередине осадки.



#### **Контрольные вопросы:**

1. Понятие центра тяжести и центра величины.
2. Диаграмма статической остойчивости и ее свойства.
3. Диаграмма динамической остойчивости и ее свойства.
4. Нормирование остойчивости.

#### **Форма контроля:**

1. Проверка задач.
2. Беседа.

### **Раздел 5. Ходкость и движители**

#### **Тема 5.3. Судовые движители**

#### **Практическая работа № 7**

#### **Обмер гребного винта**

#### **Цели:**

- знать основные виды и характеристики гребных винтов;
- знать взаимодействие гребного винта с корпусом судна;
- знать порядок выполнения ориентировочного расчета гребного винта небуксирного судна.

**Задание:**

1. Описать основные геометрические характеристики гребного винта.
2. Решить задачу своего варианта.

**Обмер гребного винта**

Основными геометрическими характеристиками гребного винта являются: диаметр  $D$ , м; шаг винта  $H$ , м,— средний шаг винтовой поверхности, положенной в основу образования нагнетающей поверхности лопасти; шаговое отношение  $H/D$ ; площадь спрямленной поверхности всех лопастей  $A$ , м<sup>2</sup>; дисковое отношение  $\theta = 4A/\pi D^2$ ; число лопастей  $z$ ; диаметр ступицы  $d_{cm}$ , м; шаг нулевого упора  $H_1$ , м; шаг нулевого момента  $H_2$ , м.

Шаг винта в какой-либо точке на нагнетающей поверхности лопасти

$$\bar{H} = 2\pi r \operatorname{tg} \varphi,$$

Гидродинамические характеристики винта в свободной воде: развиваемый упор  $P = K_1 \rho n_c^2 D^4$  кН; момент сопротивления вращению  $M = K_2 \rho n_c^2 D^5$  кН·м; мощность, потребляемая гребным винтом,

$$N_p = 2\pi K_2 \rho n_c^3 D^2 \text{ кВт}; \text{ КПД винта } \eta_p = \frac{P c_p}{2\pi n_c M} = \frac{K_1 \lambda_p}{K_2 2\pi}$$

Безразмерные коэффициенты упора  $K_1$  и момента  $K_2$  для винта заданных геометрических характеристик зависят от относительной поступи.

Результаты испытаний моделей гребных винтов в опытовых бассейнах представляют в виде расчетных диаграмм рисунок 1, 2, на которых даны зависимости  $K_1 = f(\lambda_p)$  (а) и  $K_2 = f(\lambda_p)$  (б) при различных значениях шагового отношения  $H/D$ . Здесь же нанесены кривые равных значений  $\eta_p$ .

Вдоль кривых оптимальных частот вращения  $n_{\text{опт}}$  и диаметров  $D_{\text{опт}}$  короткими отрезками линий отложены коэффициенты задания:

упора — диаметра  $K'_d = v_p D \sqrt{\rho/P}$ ;

мощности — диаметра  $K'_d = 0,274 v_p D \sqrt{\rho v_p / N_p}$ ;

упора — частоты вращения  $K'_n = \frac{v_p}{\sqrt{n_c}} \sqrt[4]{\frac{\rho}{P}}$ ;

мощности — частоты вращения  $K'_n = 0,523 \frac{v_p}{\sqrt{n_c}} \sqrt[4]{\frac{\rho v_p}{N_p}}$ .

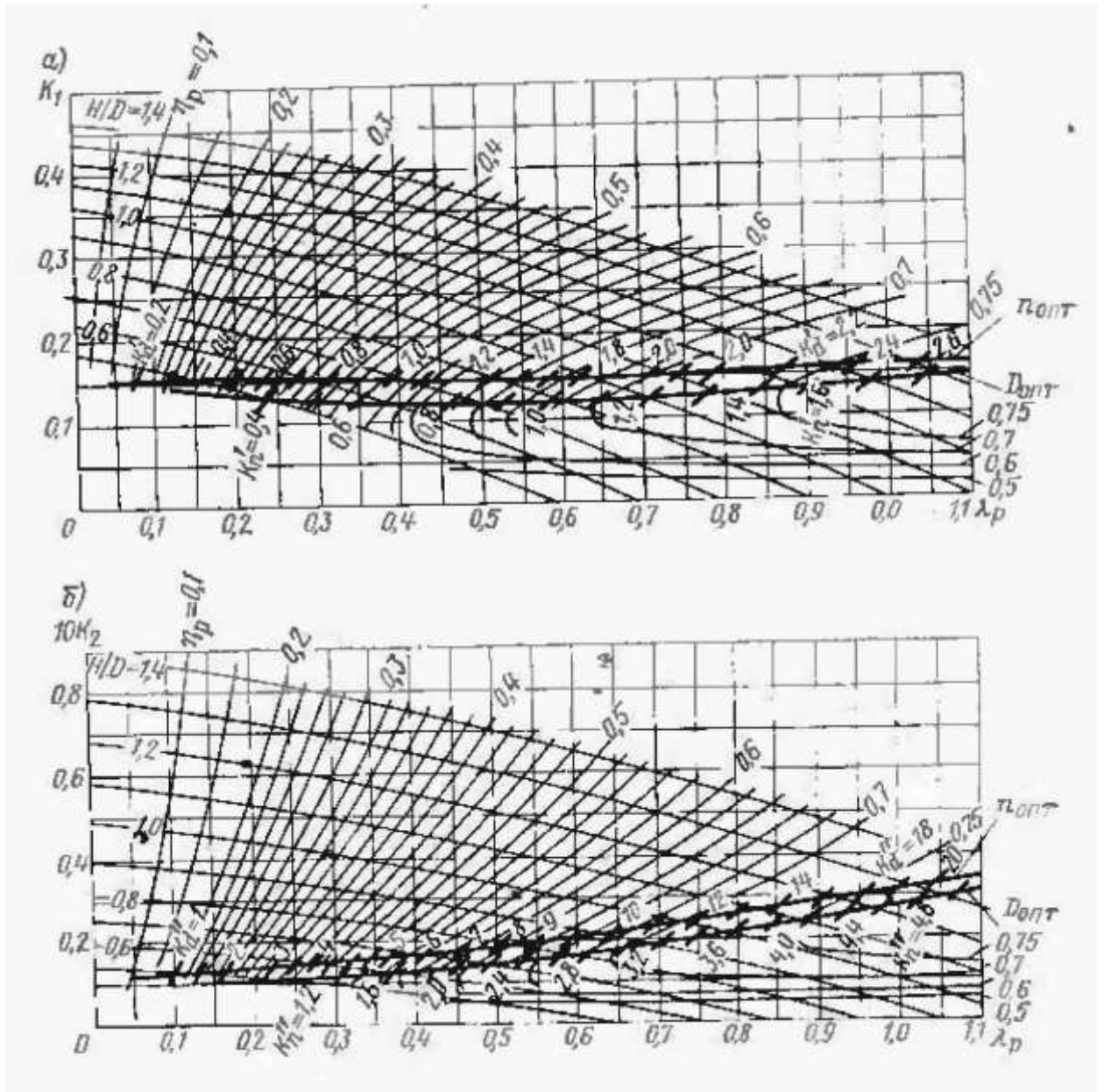


Рисунок 1. Диаграммы Э. Э. Пампеля для расчета гребных винтов серии В.3.35 ( $z = 3$ ;  $\theta = 0,35$ ),

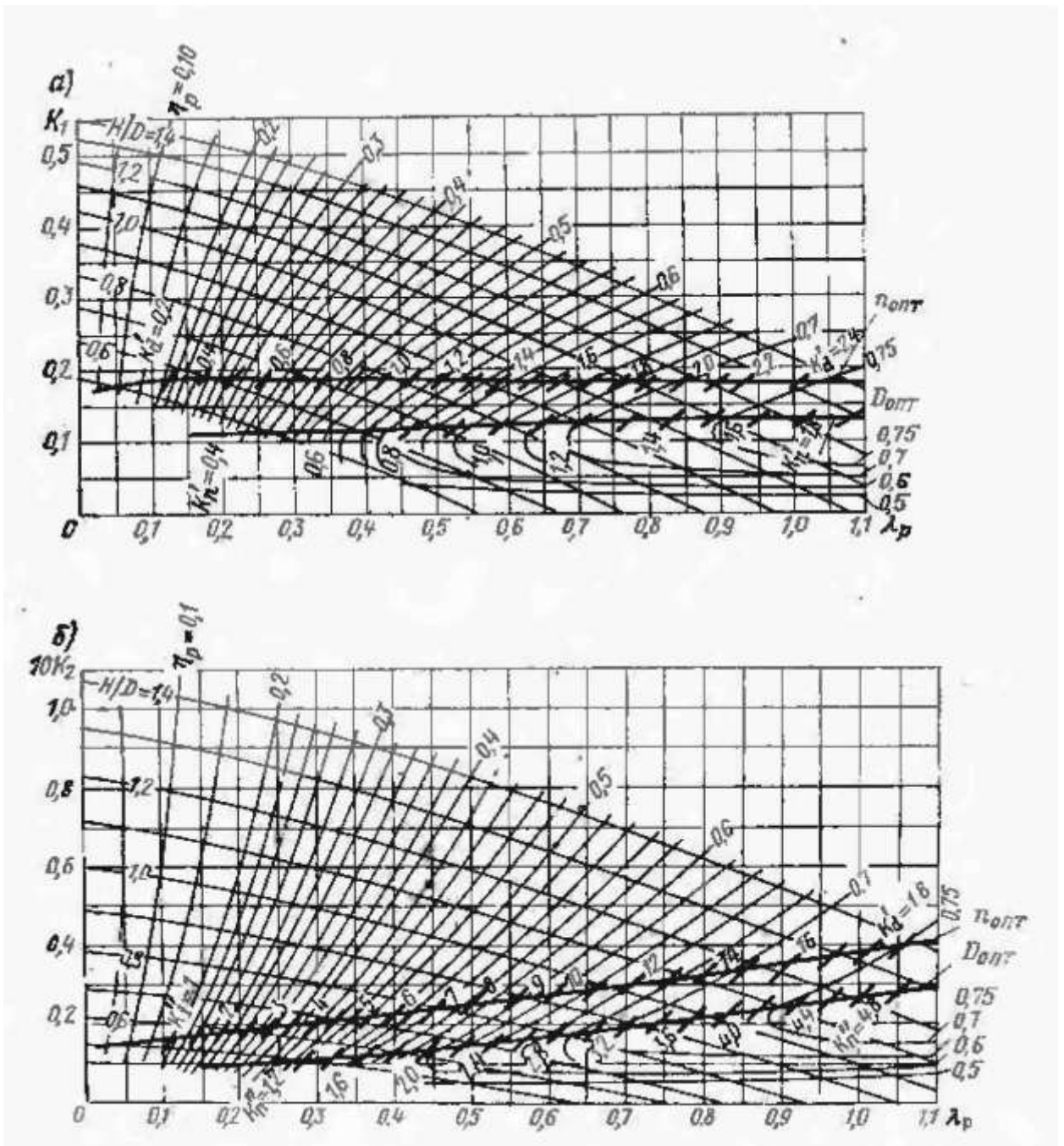


Рисунок 1. Диаграммы Э. Э. Пампеля для расчета гребных винтов серии В.3.50 ( $z = 3$ ;  $\theta = 0,5$ ),

Каждая пара диаграмм объединяет серию моделей винтов с одинаковым числом лопастей и дисковым отношением.

Для винтов регулируемого шага (ВРШ) расчетные диаграммы приведены на рис. 10.5 [*a* —  $K_1 = f(\lambda_p)$  и *b*  $K_2 = f(\lambda_p)$ ]. Взаимодействие между гребным винтом и корпусом судна учитывается следующими коэффициентами: попутного потока  $\omega$ , засасывания  $t$ , влияния корпуса судна



на КПД винта  $\eta_k = \frac{1-t}{1-\omega}$ , влияния неравномерности поля скоростей в диске винта на упор  $i_1$  момент  $i_2$  КПД  $i = i_1 / i_2$ ,

В первом приближении принимают:

для одновинтовых транспортных судов с обтекаемыми рулями

$$\omega = 0,5 \delta - 0,05; \quad t = 0,8 \omega;$$

для двухвинтовых судов

$$\omega = 0,55 \delta - 0,2; \quad t = 0,25\omega + 0,14 \text{ (с выкружками гребных валов);}$$

$$t = 0,70\omega + 0,06 \text{ (с кронштейнами гребных валов).}$$

При ориентировочных расчетах можно принять  $i_1 \approx i_2 \approx i = 1$

Расчетная скорость потока воды  $v_p$  в диске винта, работающего за корпусом судна, которое движется со скоростью  $V$ :

$$v_p = v(1 - \omega),$$

Развиваемый винтом упор  $P$  связан с полезной тягой  $P_r$ , необходимой для преодоления буксировочного сопротивления корпуса без винтов, зависимостью

$$P = \frac{P_e}{1-t}.$$

КПД винта за корпусом  $\eta_d = \eta_p \eta_k$ .

Определив полезную тягу винта по схемам IV, V и VI таблицы 1, строят график  $P_e = f(v)$ , на который наносят кривую  $R = f(v)$ . Точка их пересечения дает значение скорости судна, по которой определяют остальные искомые величины.

Схемы I, II и III таблицы 1 используются для расчета необходимой мощности энергетической установки.

В схеме VII приведен порядок расчета гребного винта буксира для наиболее часто встречающегося варианта задания, когда известны: скорость буксировки  $v_b$ , буксировочное сопротивление буксира  $R_b$  и тяга на гаке  $T$ .

При ограниченном диаметре винта буксира сначала рассчитывают  $K_2$  и  $\lambda_p$  по заданным  $N_p$  и  $n_c$ . Затем по диаграмме  $K_2 = f(\lambda_p)$  находят элементы

винта, после чего определяют коэффициент упора  $K_L$ , упор  $P$ , силу тяги  $P_e$  и тягу на гаке  $T$ .

В большинстве расчетных схем, приведенных в таблице 1, частота вращения винта задана. Если вместо частоты вращения известным является диаметр гребного винта, для определения остальных его элементов используются коэффициенты задания  $K_d'$  или  $K_d''$ . Вычислив тот или иной из них, по рисункам 1, 2 находят относительную поступь  $\lambda_p$ , а затем оптимальную частоту вращения  $n_c = v_p / \lambda_p D$ .

Проверка гребного винта на кавитацию обычно выполняется путем сравнения его дискового отношения  $\beta$  с минимально допустимым по условиям кавитации

$$\theta_{\text{квт}} = 1,27 \rho f \frac{K_c}{p} (n_c D)^3,$$

где  $f$  — 1,3 . . . 1,6 — коэффициент запаса на кавитацию;

$K_c$  — кавитационная характеристика, определяемая по графикам рисунка 3;

$p = 101300 + \rho g(h_0 - D/2)$  — абсолютное гидростатическое давление у концов лопастей. Па ( $h_0$  — погружение оси винта).

Вероятность появления кавитации можно установить также сравнением частоты вращения гребного винта  $n_m$  с критической  $n_{\text{кр}}$ . Проверка по этому способу выполняется для условного сечения на относительном радиусе

$r = r/R = 0,7$ . Исходными данными при этом являются:  $D$ ,  $z$ ,  $\theta$ ,  $n_m$ ,  $K_L$ ,  $\lambda_p$ ,  $h_0$  и  $\delta$  — относительная толщина лопасти на радиусе 0,7  $R$ .

При определении критической частоты вращения находят: коэффициент подъемной силы

$$C_y = \frac{0,6}{\theta} (1 + K_L) K_L;$$

относительное разрежение

$$\xi = 0,5 C_y (1 + C_y) - 2\delta;$$

безразмерный коэффициент, характеризующий начало кавитации,

$$C_k = \frac{1}{2\pi \sqrt{0.5\xi \left[ r^2 + \left( \frac{\lambda_p}{\pi} \right)^2 \right]}}$$

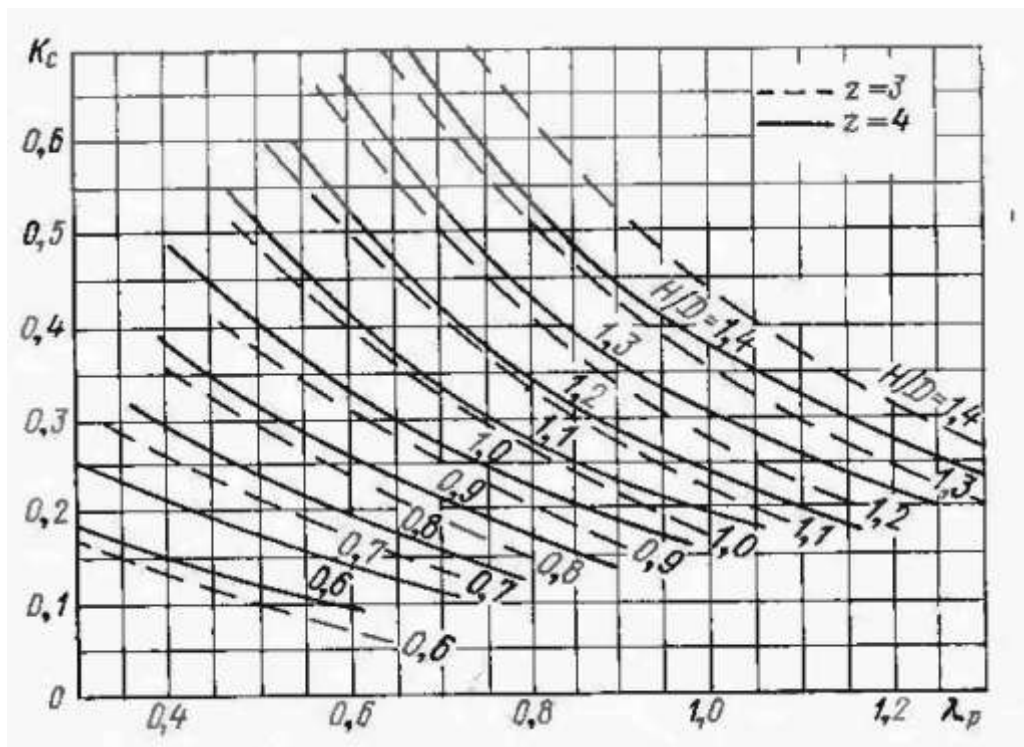


Рисунок 3. Кавитационные характеристики винтов серии В

Таблица 1

Номер схемы	Исходные данные	Величины, подлежащие определению	Последовательность расчета
I	$v; R; \omega; t; z; \theta; n$	$D_{\text{опт}}; H/D; N_p; \eta_d$	$P = R/(1-t); v_p = (1-\omega)v; K'_n = (v_p/\sqrt{n}) \left( \sqrt[4]{\rho v_p/P} \right); \lambda_p = f(K'_n);$ $H/D = f(K'_n); \eta_p = f(K'_n); D_{\text{опт}} = v_p/(\lambda_p n); \eta_d = \eta_k \eta_p; N_p = (Rv)/\eta_d$
II	$v; R; D; n; \omega; t; z; \theta$	$H/D; N_p; \eta_d$	$v_p = (1-\omega)v; \lambda_p = v_p/(nD); P = R/(1-t); K_1 = P/(\rho n^2 D^3);$ $H/D = f(\lambda_p, K_1); \eta_p = f(\lambda_p, K_1); \eta_d = \eta_k \eta_p; N_p = Rv/\eta_d$
III	$v; R; \omega; t; z; \theta$	$D_{\text{опт}}; n_{\text{опт}}; H/D; N_p; \eta_d$	$v_p = (1-\omega)v; P = R/(1-t); K'_{n \text{ опт}}; \eta_{p \text{ макс}}; \lambda_p = f(K'_{n \text{ опт}});$ $H/D = f(K'_{n \text{ опт}}); n_{\text{опт}} = 0,274 (v_p^2/K_{n \text{ опт}}^2) (\sqrt{\rho v_p/P}); D_{\text{опт}} = v_p/(\lambda_p n_{\text{опт}});$ $\eta_d = \eta_k \eta_{p \text{ макс}}; N_p = Rv/\eta_d$
IV	$N_p; n; R(v); \omega; t; z; \theta$	$D_{\text{опт}}; H/D; \eta_d; v$	$v - \text{ задается}; v_p = (1-\omega)v; K'_n = 0,523 (v_p/\sqrt{n}) \left( \sqrt[4]{\rho v_p/N_p} \right); \lambda_p = f(K'_n);$ $H/D = f(K'_n); \eta_p = f(K'_n); D_{\text{опт}} = v_p/(\lambda_p n); \eta_d = \eta_k \eta_p; P_e = \eta_d N_p/v$
V	$N_p; n; R(v); D; \omega; t; z; \theta$	$H/D; v; \eta_d$	$v - \text{ задается}; v_p = (1-\omega)v; \lambda_p = v_p/(nD); K_2 = N_p/(2\pi n^2 D^3);$ $H/D = f(\lambda_p, K_2); \eta_p = f(\lambda_p, K_2); \eta_d = \eta_k \eta_p; P_e = \eta_d N_p/v$
VI	$N_p; R(v); \omega; t; z; \theta$	$D_{\text{опт}}; n_{\text{опт}}; H/D; \eta_d; v$	$v - \text{ задается}; v_p = (1-\omega)v; K'_{n \text{ опт}}; \eta_{p \text{ макс}}; \lambda_p = f(K'_{n \text{ опт}}); H/D = f(K'_{n \text{ опт}});$ $n_{\text{опт}} = 0,274 (v_p^2/K_{n \text{ опт}}^2) \sqrt{\rho v_p/N_p}; D_{\text{опт}} = v_p/(\lambda_p n_{\text{опт}}); \eta_d = \eta_k \eta_{p \text{ макс}};$ $P_e = \eta_d N_p/v$
VII	$N_p; n; v_6; R_6; \omega; t; z; \theta$	$D_{\text{опт}}; H/D; \eta_6; T$	$v_p = (1-\omega)v; K'_n = 0,523 (v_p/\sqrt{n}) \left( \sqrt[4]{\rho v_p/N_p} \right); \lambda_p = f(K'_n); H/D = f(K'_n);$ $K_1 = f(\lambda_p, H/D); D_{\text{опт}} = v_p/(\lambda_p n); P = K_1 \rho n^2 D^3; P_e = (1-t)P;$ $T = P_e - R_6; \eta_6 = Tv/N_p$

**Решить задачу:**

**Задача 1.** Винт диаметром  $D = 5,0$  м при частоте вращения  $n_m = 120$  об/мин потребляет мощность  $N_p = 3680$  кВт;  $\eta_p = 0,6$ . Найти  $M$ ,  $P$ ,  $K_1$  и  $K_2$ , если скорость воды в диске винта  $v_p = 6$  м/с.

**Задача 2.** Определить, при какой частоте вращения двигателя на буксируемом судне гребной винт с  $D = 5$  м;  $H = 4,6$  м;  $\theta = 0,5$ ;  $z = 3$  не будет создавать упор, если скорость буксировки соответствует  $v_p = 3$  м/с.

**Задача 3.** Для винта постоянного шага с  $H = 4,0$  м и диаметром  $5,0$  м найти шаговые углы на радиусах  $r = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$  R.

**Задача 4.** Определить элементы гребного винта, оптимальную частоту вращения и потребную мощность, если  $P = 300$  кН;  $v_p = 8,0$  м/с;  $D = 4,5$  м;  $z = 3$  и  $\theta = 0,5$ .

**Задача 5.** Найти элементы винта, оптимальную частоту вращения и развиваемый упор при  $N_p = 2200$  кВт;  $D = 4,8$  м;  $z = 3$ ;  $\theta = 0,35$  и  $v_p = 6,0$  м/с.

**Задача 6.** Определить шаг винта и требуемую мощность, если при  $D = 5,0$  м;  $z = 4$ ;  $\theta = 0,4$  и  $n = 120$  об/мин он должен развивать на швартовах упор  $P = 540$  кН.

**Задача 7.** Найти шаг работающего на месте винта и развиваемый им упор, если  $N = 3000$  кВт;  $n = 120$  об/мин;  $D = 5$  м;  $z = 4$  и  $\theta = 0,4$ .

**Контрольные вопросы:**

1. Как определить критическую частоту вращения?
2. Как определить вероятность появления кавитации?
3. Описать порядок расчета гребного винта.
4. Определение расчетной скорости потока воды в диске винта.

**Форма контроля:**

1. Беседа.
2. Проверка решенной задачи.