

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

Кафедра: "Аэрогидродинамика, прочность машин и
сопротивление материалов"

ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА СУДНА

Методические указания к курсовой работе

Нижний Новгород, 2014 г.

Составитель: Волков В.М, Жуков А.Е.

УДК 629.12:539.4

Прочность корпуса судна: Методические указания к курсовой работе / Сост. В.М. Волков, А.Е. Жуков / НГТУ, Нижний Новгород, 2014. - 64 с.

Определены задачи и объем проекта, предложены методика его выполнения и требования к оформлению проекта.

Указания предназначены для студентов Института транспортных систем, обучающихся по направлениям 180100 - Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры и 151600 - Прикладная механика.

Научный редактор: Е.Н. Гибулин

Содержание

Введение.....	4
1. Исходные данные, объем проекта, правила его оформления	5
2. Определение изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде для судна в грузу и в балласте	6
2.1. Расчет нагрузки и построение ступенчатых линий веса для судна в грузу и в балласте	6
2.2. Определение сил поддержания. Удифферентовка судна на тихой воде	10
3. Определение дополнительных изгибающих моментов и перерезывающих сил при движении судна на волнении	14
3.1. Морские суда	14
3.2. Суда внутреннего плавания	24
4. Расчет эквивалентного бруса в первом и последующих приближениях	26
4.1. Определение нормальных напряжений	26
4.2. Определение касательных напряжений	34
5. Оценка общей продольной прочности корпуса корабля	35
5.1. Суда внутреннего плавания	35
5.2. Морские суда	42
6. Расчеты местной прочности и устойчивости связей корпуса	50
Заключение	51
Библиографический список	52
Приложение.....	53

Введение

Корабль - сложное инженерное сооружение и для выполнения своего назначения должен обладать рядом качеств. Одним из таких качеств является его прочность. Судно во время постройки, эксплуатации и ремонта испытывает действие разных сил статического и динамического характера: вес корпуса и находящихся в нем механизмов, грузов; силы давления воды, инерции при качке, удара волн, реакции кильблоков и опорных устройств при постройке, спуске и подъеме судна, реакция грунта при посадке на мель, силы давления льда при плавании в ледовых условиях, периодически изменяющиеся усилия, возникающие при работе механизмов, валов, винтов и т.д.

По отношению к указанным усилиям корпус судна должен обладать достаточной прочностью в целом и в отдельных своих частях.

В строительной механике корпус корабля представляется в виде тонкостенной коробчатой балки переменного сечения, состоящей из листов наружной обшивки, настила второго дна, палуб, переборок, подкрепленных внутренними поперечными продольным набором.

Корпус корабля, как коробчатая балка, должен обладать достаточной общей прочностью, т.е. не должен разрушаться при его общем продольном изгибе и кручении внешними силами. Помимо этого отдельные части корпуса (днище, палубы, борта, переборки, пластины, балки и пр.), находящиеся под непосредственным воздействием сил, испытывают, так называемый, местный изгиб между жесткими связями корпуса, являющимися опорами для этих конструкций. Общая прочность судна и прочность его элементов обычно оцениваются по величинам расчетных и допускаемых напряжений.

Целью курсового проекта по прочности корабля является проверочный расчет прочности корпусов судов, прочные размеры которых были определены "Правилами классификации и постройки судов внутреннего плавания" или "Правилами классификации и постройки морских судов".

Расчеты выполняются на базе знаний, полученных студентами при изучении курсов "Строительная механика корабля", "Прочность корабля"; используются также материалы, излагаемые в курсах "Теория корабля".

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, ОБЪЕМ ПРОЕКТА, ПРАВИЛА ЕГО ОФОРМЛЕНИЯ

Исходными данными для выполнения проверочных расчетов общей и местной прочности судна являются материалы по проектированию судовых конструкций и проектированию судов. Каждый студент выполняет проверочный расчет гражданского судна (внутреннего или морского плавания), конструкцию которого он ранее разрабатывал.

Для выполнения проекта необходимо иметь:

- 1) масштаб Бонжана по 20-ти теоретическим шпангоутам (в случае его отсутствия, М.Бонжана должен быть построен по теоретическому чертежу);
- 2) конструктивный чертеж корпуса и чертеж мидель-шпангоута;
- 3) пояснительную записку по проекту судна и кривые плавучести и начальной остойчивости;
- 4) чертежи общего расположения (боковой вид, планы трюма, палуб, надстроек);
- 5) пояснительную записку к проекту судовых конструкций.

Проект по прочности корабля должен содержать следующие разделы:

1. Расчет весовой нагрузки и построение ступенчатой линии веса по 20-ти теоретическим шпангоутам для судна в грузу и судна в балласте.
2. Расчеты по удифферентовке судна для построения кривой сил поддержания.
3. Расчеты по определению изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде и волне с учетом ударной составляющей и построение эпюр изгибающих моментов и перерезывающих сил.
4. Расчет эквивалентного бруса в первом и последующих приближениях и определение напряжений в связях корпуса при общем изгибе.
5. Определение предельных изгибающих моментов. Оценка общей прочности по допускаемым напряжениям, предельным изгибающим моментам и другим критериям прочности.
6. Выборочные расчеты местной прочности и устойчивости связей корпуса (по согласованию с руководителем проекта). Оценка местной прочности.
7. Общие выводы и заключение.

Результаты работы должны быть оформлены в виде пояснительной записки, которая выполняется на листах А4 в соответствии с ЕСКД.

Все основные чертежи, схемы, эпюры, эскизы и прочее выполняют в масштабе, оформляют в соответствии с требованиями ЕСКД и подшивают в записку.

Курсовой проект выполняется в определенной последовательности, все этапы должны быть озаглавлены. В случае необходимости приводятся краткие пояснения к применяемым формулам, выбранным величинам и т.д. Все буквенные и другие обозначения величин, входящих в формулы, должны быть пояснены в тексте или на чертеже.

Вычисление различных величин по формулам необходимо выполнять в следующей порядке выписывают в общем (буквенном) виде формулу, затем производят подстановку численных значений и приводят окончательный результат с указанием размерности полученной величины.

Численные значения величин в инженерных расчетах представляются приближенно, с некоторой степенью точности. Недопустимо вести вычисления с точностью, превышающей точность исходных данных, а рекомендуется выполнять все расчеты с точностью до трех значащих цифр. Если полученное в расчете число имеет лишние знаки, то его следует округлить. Правила округления см., например, в / I /.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ И ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ НА ТИХОЙ ВОДЕ ДЛЯ СУДНА В ГРУЗУ И В БАЛЛАСТЕ

2.1. Расчет масс судна и построение ступенчатых линий сил тяжести для судна в грузу и в балласте

В процессе эксплуатации судна возможно изменение его нагрузки за счет изменения количества и положения перевозимого груза, топлива, масла, питьевой и технической воды, продуктов и других перевозимых грузов. Очевидно, при определении величины изгибающих моментов и перерезывающих сил необходимо выбрать, наиболее неблагоприятный случай расположения переменных грузов. Обычно для сухогрузных судов с машинным отделением в средней части судна наиболее неблагоприятным случаем является случай в грузу с минимальными (10 - 15%) запасами, если они расположены тоже в средней части.

Для сухогрузных судов с машинным отделением в корме наиболее неблагоприятным случаем нагрузки обычно является случай в балласте со 100% запасов, если они расположены в кормовой части судна. У наливных судов чаще всего расчетным является случай в грузу с частично израсходованными запасами. У танкеров, имеющих диптанки и сухие трюмы и пр. расчетный случай должен быть согласован с руководителем проекта. Выбор расчетных случаев следует проводить в соответствии с требованиями Регистров.

Используя конструктивные чертежи, чертежи общего расположения данные по судам-прототипам и другие материалы, производят разбивку нагрузки по теоретическим шпациям /1/.

Сила тяжести судна, кН [5]:

$$D = gm_{пор} + D_w \quad \text{или}$$

$$D = g(m_K + m_{об} + m_M + m_{зв} + m_{Г} \text{ (или } m_{\delta}) + m_{ТВМ} + m_{КП} + m_{ВП} + m_{ПМВ}),$$

где $m_{пор}$ - масса судна порожнем; $D_w = g(m_{Г} + m_{ТВМ} + m_{КП} + m_{ВП} + m_{ПМВ})$ - дейдвейт судна; m_K - масса корпуса (металл, дерево, судовые устройства, рангоут, такелаж, системы); m_M - масса механизмов (главные двигатели, котлы и паропровод, электрооборудование, вспомогательные механизмы, движители, валопровод); $m_{об}$ - масса оборудования и шкиперских запасов; $m_{зв}$ - запас водоизмещения, $m_{зв} = 3\% D$; $m_{Г}, m_{Б}$ - масса груза и балласта; $m_{ТВМ}$ - масса топлива, воды, масла для механизмов;

$m_{КП}$ - масса команды и пассажиров с багажом; $m_{ВП}$ - масса питьевой воды и провизии; $m_{ПМВ}$ - масса пресной мытьевой воды.

Массы $m_K, m_{об}, m_M, m_{зв}, m_{Г}, m_{ТВМ}, m_{КП}, m_{ВП}, m_{ПМВ}$ выражаются в тоннах, причем силы тяжести этих масс $P_i = gm_i$ ($g = 9,81$ м/с² - ускорение свободного падения):

$$D = gm; m - \text{масса судна.}$$

Число шпаций принимается равным двадцати, границами шпаций служат теоретические шпангоуты. В пределах каждой шпации интенсивность масс принимается постоянной, т.е. принимается ступенчатое изменение кривой масс. Расчетом определяются массы, приходящиеся на каждую из двадцати теоретических шпаций нагрузки.

Разбивка отдельных составляющих должна производиться так, чтобы сохранялась величина массы и положение ее центра тяжести (см.[1]).

Наиболее сложно построение ступенчатой кривой массы корпуса с оборудованием. Если нет данных о численном значении m_K и положении его центра тяжести по длине, приходится определять массу корпуса с оборудованием приближенно, через относительные коэффициенты, полученные путём обработки статистического материала или по данным, касающимся подходящих прототипов:

$$m'_K = m_K + m_{об}; \quad m'_K = K_K LBH$$

Здесь K_K - относительная масса корпуса с оборудованием у прототипа, имеющего с проек-

тируемым судном одинаковый класс, систему набора материал корпуса, оборудование; L, B, H - расчетные главные размерения судна; длина, ширина и высота борта в метрах.

Некоторые данные по величине K_K для разных типов судов приведены в методических указаниях / 2 / и учебном пособии / 3 /.

После определения массы корпуса целесообразно выделить из него вес надстройки. Можно массу надстроек вычислить по приближенным формулам в зависимости от их объема, который легко найти при известных габаритных размерах соответствующих надстроек.

Для носовой надстройки $m_{HH} = 0,09V_{HH}$

Для средней надстройки $m_{CH} = 0,13V_{CH}$

Для кормовой надстройки $m_{KH} = 0,13V_{KH}$

Здесь m_{HH}, m_{CH}, m_{KH} - веса носовой, средней и кормовой надстроек в тоннах.

V_{HH}, V_{CH}, V_{KH} - объемы носовой, средней и кормовой надстроек в метрах кубических.

Масса средней надстройки обычно распределяется равномерно по ее длине. Масса носовой надстройки (бака) распределяется по треугольнику с вершиной у форштевня, если ее длина не превышает $0,15L$. Если $l_{HH} > 0,15L$, то на остальной части принимается равномерное распределение масс. Массу кормовой надстройки можно распределить по ее длине по трапеции, носовая ордината которой в четыре раза больше кормовой.

Интенсивность сил тяжести носовой и кормовой надстроек определяется из условия, что площадь треугольника или трапеции равна массе соответствующей надстройки.

Кривая распределения массы корпуса без надстроек может быть представлена в виде трапеции или параболы, которые затем приводятся к ступенчатому виду. Принципы построения трапеции и параболы изложены в справочной литературе [1-3]. В случае достаточно развитых частей судна, выступающих за носовой или кормовой перпендикуляры (обычно приходится иметь дело с кормовым свесом), массу этих частей, если длина их не превышает половины теоретической шпации, включают в массу шпаций 1—0 и 20—19. Связанной с этим погрешностью при определении абсциссы ЦТ судна пренебрегают.

Если длина свесов превышает половину теоретической шпации, при построении эпюры сил тяжести добавляют одну теоретическую шпацию (21—20 или —1—0) и равномерно распределяют массу выступающей части в пределах этой шпации.

Описанный способ построения эпюры масс корпуса судна не может быть применен в начальной стадии проектирования, когда в распоряжении конструктора еще нет необходимых для этого материалов. В этом случае применяется упрощенный способ, при котором необходимо знать лишь общую массу корпуса судна.

По этому способу эпюра масс корпуса строится, как показано на рис. 2.1. Ординаты a, b и c должны быть взяты из табл. 2.1.

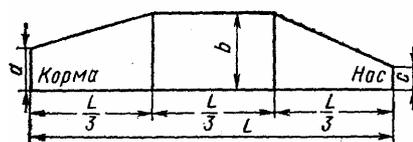


Рис. 2.1. Приближенная эпюра масс корпуса судна (диаграмма Байлса)

Таблица 2.1 Значения a, b и c в долях m/L

Образования судна	a (корма)	b	c (нос)
Острые	0,64	1,20	0,56
Полные	0,72	1,17	0,60

Таблица 2.2 Ординаты ступенчатой линии эпюры масс корпуса судна и процентное распределение его по шпациям

№ ступеней	Суда			
	с острыми образованиями		с полными образованиями	
	в долях m/L	в процентах от m	в долях m/L	в процентах от m
0—1	0,62	3,0	0,64	3,2
1—2	0,71	3,5	0,73	3,7
2—3	0,80	4,0	0,82	4,2
3—4	0,90	4,5	0,91	4,6
4—5	0,99	5,0	1,00	5,0
5—6	1,09	5,4	1,08	5,4
6—7	1,17	5,8	1,15	5,8
От 7—8 до 12—13	1,19X6	6,0x6	1,17X6	5,8x6
13—14	1,18	5,8	1,16	5,8
14—15	1,10	5,5	1,09	5,5
15—16	1,02	5,1	1,02	5,1
16—17	0,94	4,7	0,95	4,8
17—18	0,86	4,3	0,88	4,4
18—19	0,78	3,9	0,81	4,0
19—20	0,70	3,5	0,74	3,7
	20,0	100	20,0	100

Масса корпуса судна должен соответствовать площади построенной фигуры.

Эпюра масс применительно к обычному построению в виде ступенчатой линии по 20 шпациям дает ординаты ступенчатой линии в долях m/L и процентное распределение масс по шпациям, приведенные в таблице 2.2.

Масса главных и вспомогательных механизмов и оборудования машинного отделения также может быть определена приближенно через относительный коэффициент:

$$m_M = K_M N,$$

где K_M - относительная масса всей энергетической установки, приходящаяся на 1 кВт (1 л.с. = 0,7357 кВт). Некоторые данные по величине K_M приведены в методических пособиях / 2, 3 /. Масса машинного отделения распределяется равномерно по его длине.

Масса m_T предусматривается техническим заданием на проект судна и распределяется по трюмам пропорционально их кубатуре, а в пределах трюма - равномерно.

При определении количества и расположения балласта необходимо обеспечить осадку носом $T_{НБ}$; для морских судов $T_{НБ} = (2,5-3,0)\%$ от длины судна, для судов внутреннего плавания $T_{НБ} = (2,0 - 1,5)\%$ от длины судна. В Речном Регистре сказано: М-СП $T_H \geq 1.7\text{м}$; М-пр $T_H \geq 1.4\text{м}$;

О—пр $T_H \geq 0.9$ м. Осадка кормой должна обеспечить необходимое погружение гребного винта. Для морских судов считается погружение допустимым, если расстояние до нижней кромки винта от поверхности воды составляет не менее $(0,8-1,0) D_B$, а для судов внутреннего плавания не менее $(1,1- 1,2) D_B$, где D_B - диаметр винта. Средняя осадка в балластном переходе будет:

$$T_{CB} = \frac{T_{НБ} + T_{КБ}}{2},$$

где $T_{КБ}$ - осадка кормой в балласте; T_{CB} - средняя осадка в балласте.

Относительное водоизмещение в балласте может быть определено по формуле:

$$\frac{m_{БП}}{m} = 1 - \frac{\alpha}{\delta} \left(1 - \frac{T_{CB}}{T} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\delta} - 1 \right) \left(1 - \frac{T_{CB}}{T} \right)^2,$$

где $m_{БП}$ - массовое водоизмещение в балласте; m - массовое водоизмещение в полном грузу; T - средняя осадка в полном грузу; α, δ – коэффициенты полноты ВЛ и общей полноты в грузу.

По найденному водоизмещению судна в балластном переходе определяется количество балласта:

$$m_B = m_{БП} - m_{ПОР},$$

где $m_{ПОР}$ - массовое водоизмещение порожнем.

Балластные емкости выбираются таким образом, чтобы обеспечить необходимые осадки носом и кормой.

Балласт распределяется пропорционально емкостям балластных цистерн, а в пределах отсека - равномерно.

Остальные составляющие массового водоизмещения можно определить по следующим формулам:

$$m_{КП} = m_K + m_{П}; m_K = (0,1 \div 0,15)n_{\odot}; m_{П} = 0,1n_K + 0,075n_B,$$

где n_{\odot} - число членов экипажа; n_K, n_B - число каютных и внекаютных пассажиров.

$$m_{ВП} = m_B + m_{П}; m_B = (n_{\odot} + n_K + n_B)r_B n 10^{-3}, \text{ т}$$

где r_B - суточная норма воды на I человека в литрах, зависит от категории судна;

n - число дней работы судна без пополнения запасов:

а) для судов внутреннего плавания: I группа $r_B = 30$ л,

2 группа - 20 л,

3 группа - 10 л

(не имеющих спальных мест - 7 л)

4 группа - 5 л

(не имеющих спальных мест - 3 л).

На СПК и СВП: 3 группа до 5 л, 4 группа - до 2 л.

б) Для морских судов: I категория $r_B = 40$ л,

2 категория - 30 л,

3 категория - 20 л,

4 категория - 10 л.

При оборудовании судна станцией приготовления питьевой воды типа "ОЗОН" запас воды принимается для 10 - 30 человек экипажа и пассажиров 0,5 -1,5 т; 30 - 100 чел. – 1,5 – 4,5 т; 100 - 300 чел. 4-12т.

Разбивка речных судов на группы и морских на категории:

Суда I гр. - пассажирские и грузовые транзитные суда, толкачи-буксиры с длительностью рейса больше 24 ч в одну сторону;

2 гр. - пассажирские суда местных линий и грузовые и буксирные суда с рейсом равным или меньше 24 ч;

- 3 гр. - пассажирские пригородные и другие суда с рейсом до 8ч;
- 4 гр. - пассажирские внутригородские и другие суда с рейсом до 4 ч;
- Суда 1-й категории-суда неограниченного плавания;
- 2-й категории - суда ограниченного плавания, совершающие рейсы продолжительностью более 24 ч;
- 3-й категории - то же, но время рейса от 6 до 24 ч;
- 4-й у категории - суда, совершающие рейсы до 6 ч.

Масса провизии

$$m_{\Pi} = (n_{\text{Э}} + n_{\text{К}} + n_{\text{В}})r_{\Pi}n10^{-3}, \text{т}$$

где r_{Π} - суточная норма запасов продуктов на I человека экипажа и пассажиров судов внутреннего плавания и экипажа морских судов - 4 кг;

на пассажирских морских судах на I пассажира - 4 кг.

Масса топлива, воды и масла для работы судовых установок

$$m_{\text{ТВМ}} = m_{\text{Т}} + m_{\text{В}} + m_{\text{М}}; m_{\text{Т}} = kq_{\text{Т}}n_{\text{Т}}24N10^{-3}, \text{т}$$

где $q_{\text{Т}}$ - удельный расход топлива на I л.с./ч; $n_{\text{Т}}$ - автономность работы судна (без пополнения запасов), указывается в ТЗ на проектирование. Для морских судов обычно задается дальность плавания l в милях. Тогда $n_{\text{Т}} = l/24v$; v - скорость хода в узлах; k - коэффициент морского запаса, $k = 1,1 - 1,2$. Для судов внутреннего плавания $k = 1$.

Причем $m_{\text{М}} = 0,05m_{\text{Т}}; m_{\text{В}} = 0,05m_{\text{Т}}$.

Масса пресной мытьевой воды

$$m_{\text{ПМВ}} = (n_{\text{Э}} + n_{\text{К}} + n_{\text{В}})r_{\text{МВ}}n10^{-3}, \text{т}$$

где $r_{\text{МВ}}$ - суточная норма мытьевой воды на I человека, л; $r_{\text{МВ}} = 30$ л - для судов внутреннего плавания, плавающих в морских и озерных соленых водах; $r_{\text{МВ}} = 0$ - для судов, плавающих в водоемах с пресной водой.

Для морских судов I категория $r_{\text{МВ}} = 60$ л, 2 кат. - 40 л, 3 кат. - 30 л, 4 кат. - 10 л.

2.2. Определение сил поддержания. Удифферентовка судна на тихой воде

Определение перерезывающих сил и изгибающих моментов на тихой воде осуществляется вручную табличным способом / I / (для специальности 140100).

Для вычисления перерезывающих сил и изгибающих моментов на тихой воде необходимо знать интенсивность суммарной нагрузки, вызывающей изгиб корпуса. Эта нагрузка будет складываться из интенсивности сил тяжести судна $p(x) = gm(x)$, кН/м и сил поддержания $r(x) = \rho gw(x)$ кН/м..

Интенсивность суммарной нагрузки [5]:

$$q(x) = p(x) - r(x),$$

где ω - площадь погруженной части шпангоута, м^2 ; ρ - плотность воды ($\rho = 1 \text{т/м}^3$ - пресная вода, $\rho = 1.025 \text{т/м}^3$ - морская вода).

Под удифферентовкой судна понимают нахождение ватерлинии, соответствующей данной нагрузке судна $q(x)$. После построения ступенчатой линии масс становится известным массовое водоизмещение судна m и положения его центра тяжести по длине x_g .

Условиями удифферентованности судна являются уравнения равновесия

$$\rho \cdot g \cdot V = D; x_g = x_c$$

Здесь V - объемное водоизмещение, м^3 ; x_c - центр величины, м .

Удифферентовка судна может быть проведена методом последовательных приближений или методом решения уравнений равновесия. Оба эти метода подробно изложены в справочной литературе / I, 4 /.

После окончательной удифферентовки судна эпюры сил поддержания приводятся к ступенчатому виду путем осреднения двух смежных ординат строевой по шпангоутам:

$$\omega_{i,i+1} = \frac{1}{2}(\omega_i + \omega_{i+1})$$

После определения суммарной нагрузки на судно значения перерезывающих сил и изгибающих моментов в любом сечении могут быть определены интегрированием нагрузки;

$$N(x) = \int_{-L/2}^x q(x)dx; M(x) = \int_{-L/2}^x \int_{-L/2}^x q(x)dx^2$$

Здесь $N(x)$ - перерезывающая сила ; $M(x)$ - изгибающий момент в сечении X .

Учитывая, что нагрузка на судно приведена к ступенчатому виду, интегрирование заменяют суммированием по 20-ти ординатам / I /. При отсутствии свешивающихся частей в оконечностях, интегрируя нагрузку, мы должны получить на 20-м шпангоуте нулевые значения сил и моментов, что является контролем правильности вычислений. Однако в силу приближенности удифферентовки $N_{20} \neq 0$, $M_{20} \neq 0$.

Считается, что если N_{20} и M_{20} не превосходят - 3% от максимального значения соответственно срезающих сил и моментов, то полученную невязку можно компенсировать введением поправки, что равносильно замыканию эпюр прямой, проведенной через ее концы (рис.2.1).

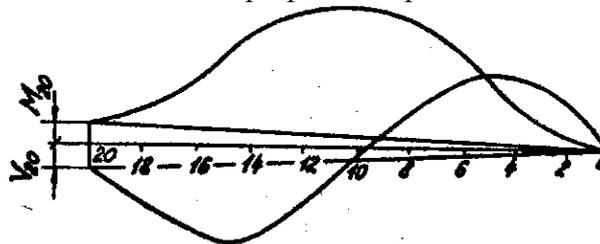


Рис. 2.1

Исправленные $N_{uc}(x)$ и $M_{uc}(x)$ определяются $N_{uc}(x) = N(x) - \frac{x}{L} N_{20}$ и

$$M_{uc}(x) = M(x) - \frac{x}{L} M_{20} \text{ соответственно.}$$

Все вычисления, связанные с удифферентовкой по методу последовательных приближений, нахождением перерезывающих сил и изгибающих моментов, укладываются в следующую схему [5].

I. Зная массовое водоизмещение судна m и соответствующее ему объемное V по кривым теоретического чертежа определяют среднюю осадку судна T_{CP} , отстояние ЦТ площади ватерлинии от миделя x_{BL} , отстояние центра величины судна от миделя x_c и продольный метацентрический радиус R .

После этого определяют осадку носом и кормой в первом приближении:

$$T'_H = T_{CP} + \left(\frac{L}{2} - x_{BL} \right) \frac{x_g - x_c}{R},$$

$$T'_K = T_{CP} - \left(\frac{L}{2} + x_{BL} \right) \frac{x_g - x_c}{R}.$$

Отложив эти осадки на масштаб Бонжана, проводят по ним ватерлинию первого приближения и замеряют погруженные площади шпангоутов. Все дальнейшие вычисления, связанные

с удифферентовкой по методу последовательных приближений нахождением нагрузки, перерезывающих сил и изгибающих моментов укладываются в табл.2.1. Объемное водоизмещение судна и абсциссу ЦВ в первом приближении определяют по формулам

$$V' = \Delta L \sum_3 ; x'_c = \Delta L \frac{\sum_4}{\sum_3},$$

где \sum_3, \sum_4 - вычисляются по табл. 2.1. При равновесном положении судна должны быть соблюдены равенства

$$V' = V ; x'_c = x_g .$$

Однако, как правило, в первом приближении не удается достичь равновесного удифферентованного положения судна, поэтому приходится переходить ко второму приближению, для чего необходимо определить новые, осадки носом и кормой:

$$T''_H = T'_H + \frac{V - V'}{S} + \left(\frac{L}{2} - x_{BL} \right) \frac{x_g - x'_c}{R},$$

$$T''_K = T'_K + \frac{V - V'}{S} - \left(\frac{L}{2} + x_{BL} \right) \frac{x_g - x'_c}{R},$$

где S - площадь ватерлинии.

По этим осадкам снова на масштабе Бонжана проводят ватерлинию и снимают соответствующие ей площади шпангоутов, которые записывают в графу 5 табл.2.1.

Новое объемное водоизмещение судна и новое положение ЦВ определяют по формулам:

$$V'' = \Delta L \sum_5 ; x''_c = \Delta L \frac{\sum_6}{\sum_5},$$

где \sum_5, \sum_6 - вычисляются по табл. 2.1.

Судно считается удифферентованным, если

$$V - V'' < 0,004V ; x_g - x''_c < 0,001L ,$$

так как в этом случае незамыкание эпюры изгибающих моментов не будет превышать допускаемых 5% от $M_{ИЗГ}^{MAX}$.

Если во втором приближении не удалось удифферентовать судно, необходимо перейти к следующим приближениям.

Замечание. Для других случаев загрузки судна удифферентовка и расчет перерезывающих сил и изгибающих моментов осуществляются с помощью пакета программ на ПЭВМ.

Для речных судов с отношением $L/H > 25$ определять $M_{Т.В.}$ и $N_{Т.В.}$ нужно с учетом гибкости корпуса [5]. Значения $M_{Т.В.}$, кН·м, и перерезывающей силы $N_{Т.В.}$, кН, на тихой воде определяются по формулам:

$$M_{Т.В.} = \beta \cdot M^0_{Т.В.}, N_{Т.В.} = \beta \cdot N^0_{Т.В.},$$

где $M^0_{Т.В.}, N^0_{Т.В.}$ - изгибающий момент и перерезывающая сила на тихой воде, определенные без учета влияния гибкости корпуса судна (табл. 2.1);

β - коэффициент, учитывающий влияние гибкости корпуса на изгибающий момент и перерезывающую силу:

$$\beta = 1 / \left(1 + 0,1226 \frac{BL^4}{10^4 EJ} \alpha^2 \right)$$

где E - модуль Юнга (упругости) материала корпуса, МПа;

J - момент инерции миделевого сечения эквивалентного бруса в 1ом приближении, м⁴;

α - коэффициент полноты расчетной ватерлинии.

Таблица 2.1

№№ шпангоутов	Факторы плеч	1 при-ближ.		2 при-ближ.		Вычисление нагрузки							Интегрир. нагрузки		Вычисление срезыв. сил и изгиб моментов						
		Площади шпангоутов ω , м ²	(2)*(3) м ²	Площади шпангоутов ω , м ²	(2)*(5) м ²	Силы поддержания $\gamma(5)$, кН/м	Пределы отсеков	Факторы плеч	Ординаты ступенчатой линии сил тяжести, кН/м	Моменты (9)*(10)	Ординаты сил поддержания, кН/м	Нагрузка (10)-(12) кН/м	Суммы сверху (13), кН/м	Интегральные суммы (14), кН/м	Срезающие силы (14)* ΔL , кН	Поправка, кН	Исправленные срезывающие силы (16)-(17)	Изгибающий момент (15) · (ΔL)/2, кН/м	Поправка, кНм	Исправленные изгиб. моменты (19)-(20), кНм	№№ шпангоутов
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	10												0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	9						0-1	19													1
2	8						1-2	17													2
3	7						2-3	15													3
...
7	3						6-7	7													7
8	2						7-8	5													8
9	1						8-9	3													9
10	0						9-10	1													10
11	-1						10-11	-1													11
12	-2						11-12	-3													12
...
...
16	-6						15-16	-11													16
17	-7						16-17	-13													17
18	-8						17-18	-15													18
19	-9						18-19	-17													19
20	-10						19-20	-19													20

$$\sum_3 \quad \sum_4 \quad \sum_5 \quad \sum_6$$

$$[14]_{20} \quad [15]_{20}$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ И ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ВОЛНЕНИИ

3.1 Морские суда.

К стандартным морским относятся стальные суда и плавучие сооружения сварной конструкции длиной от 12 до 350 м, отношения главных размерений которых не выходят за пределы, указанные в табл.3.1 и спецификационная скорость которых не превышает величины, определяемой по формуле.

$$V_0 = k\sqrt{L},$$

где коэффициент $k = 2,2$ при $L \leq 100$ м. ,

$$k = 2,2 - 0,25 \left(\frac{L - 100}{100} \right) \text{ при } L > 100 \text{ м.}$$

Таблица 3.1

Отношение	Район плавания				
	Неограни- ченный	I	II	II СП	III
Длины судна к высоте борта L/H	18	18	19	20	20
Ширины судна к высоте борта В/Н					
- для судов технического флота	2.5	3	4	3	4
- для плавучих кранов	2.5	2.5	3	3	4.5
- для судов остальных типов	2.5	2.5	3	3	4

Ввиду того, что морское волнение является нерегулярным, а параметры волнения (высота и длина волны) - случайными величинами, возникают большие трудности в определении волновых изгибающих моментов и перерезывающих сил. В настоящее время "Правила / 5 / и Нормы" / 6 / задают некоторые эксплуатационные и экстремальные волновые нагрузки, которые являются стационарными эквивалентами, случайных нагрузок. Первые из них определяют осредненный за время эксплуатации уровень нагрузок, устанавливающий требования к работоспособности конструкций в условиях многократного нагружения (обеспеченность порядка 10^{-5}). Дополнительные изгибающие моменты и перерезывающие силы состоят из волнового и ударного изгибающих моментов и соответствующих перерезывающих сил.

3.1.1. В настоящем разделе приводятся основные формулы для определения обусловленных воздействием моря переменных нагрузок, используемых при расчетах общей продольной прочности.

Изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде определяются в соответствии с традиционной процедурой, оговоренной Регистром. Ограничение минимальных величин составляющих нагрузок не производится.

3.1.2. Расчет волновых изгибающих моментов выполняется с помощью следующих зависимостей:

$$M_{Bi} = 0,5h_i k_i(\alpha) \chi_0 \chi_1 B L^2 \varphi_M^B(x) \text{ , кНм} \quad (1)$$

где h_i - высота расчетных волн, графики значений которых представлены для судов неограниченного плавания на рис. 3.1; $i=1$ соответствует M_{B1} обеспеченностью $Q = 10^{-5}$, $i=2$ соответствует M_{B2} с обеспеченностью $Q = 10^{-8}$;

k_i - коэффициент „статической постановки” судна на расчетную волну, определяется:

$$\text{при } i=1 \quad k_i = k_1(\alpha) = 0,60\alpha - 0,17 \quad (2)$$

при $i=2$:

$$\text{при перегибе судна на вершине расчетной волны: } k_i(\alpha) = k_2^B(\alpha) = 0,68\alpha - 0,25, \quad (3)$$

$$\text{при прогибе судна на подошве расчетной волны: } k_i(\alpha) = k_2^{\Pi}(\alpha) = 0,52\alpha - 0,09, \quad (4)$$

χ_0 - гидродинамический поправочный коэффициент, зависящий от соотношений T_{\otimes} / L и

B / L :

$$\chi_0 = \left(1,30 - 2,0 \frac{B}{L} \right) \left(0,65 - 2,1 \frac{T_{\otimes}}{L} \right) \quad (5)$$

χ_1 - поправочный коэффициент, учитывающий вертикальную качку, влияние скорости судна на волнении (число Fr^B) и изгибающий момент на тихой воде M_{TB} (здесь перегибающий применяется со знаком +, а прогибающий со знаком -). При этом следует считать, что при $Fr^B > 0,2$ порядок определения M_{Bi} подлежит согласованию с Регистром.

$$\chi_1 = 1,2 - 0,3 - (3 + 20Fr^B) \frac{M_{TB}}{10mL} + (4,2 - 4\alpha) Fr^B \quad (6)$$

Соотношение $\frac{M_{TB}}{10mL}$ должно быть $\frac{M_{TB}}{10mL} \leq 0,02$.

m - масса судна, в тоннах.

Величина M_{TB} при вычислении χ_1 полагается равной значению этой составляющей изгибающего момента, осредненному в пределах средней части длины судна протяженностью $0,2 L$. $\varphi_M^B(x)$ -учитывает изменение волнового изгибающего момента по длине судна (рис.3.2).

3.1.3. Определение расчетных величин ударных изгибающих моментов производится применительно к случаям удара корпуса судна о волны днищем (M_V^D) и развалами (M_V^B) бортов носовой оконечности.

Величина M_V^D определяется по формуле (9).

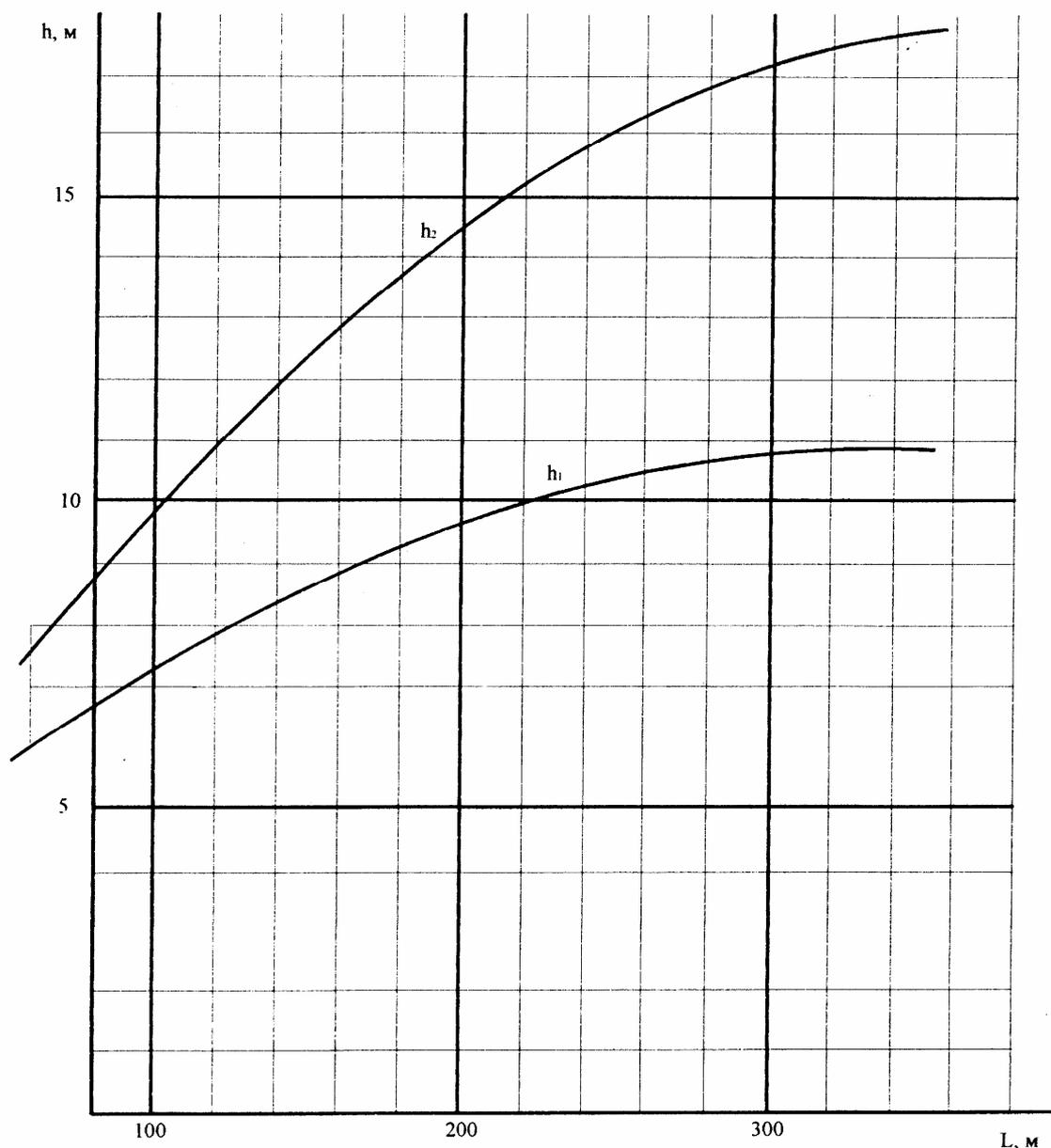


Рис. 3.1 Расчетная высота волны.

Величины h_1 и h_2 вычисляются:

$$h_1 = K_C C_W ; h_2 = K_{5;8} K_C C_W , \quad (7)$$

$$\text{где } K_{5,8} = 1 + 0,12 \left(2 + \frac{L}{100} \right), K_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530}$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \leq 10,75; \text{ м} \quad (8)$$

Распределение изгибающих моментов по длине судна показано на рис 3.2.

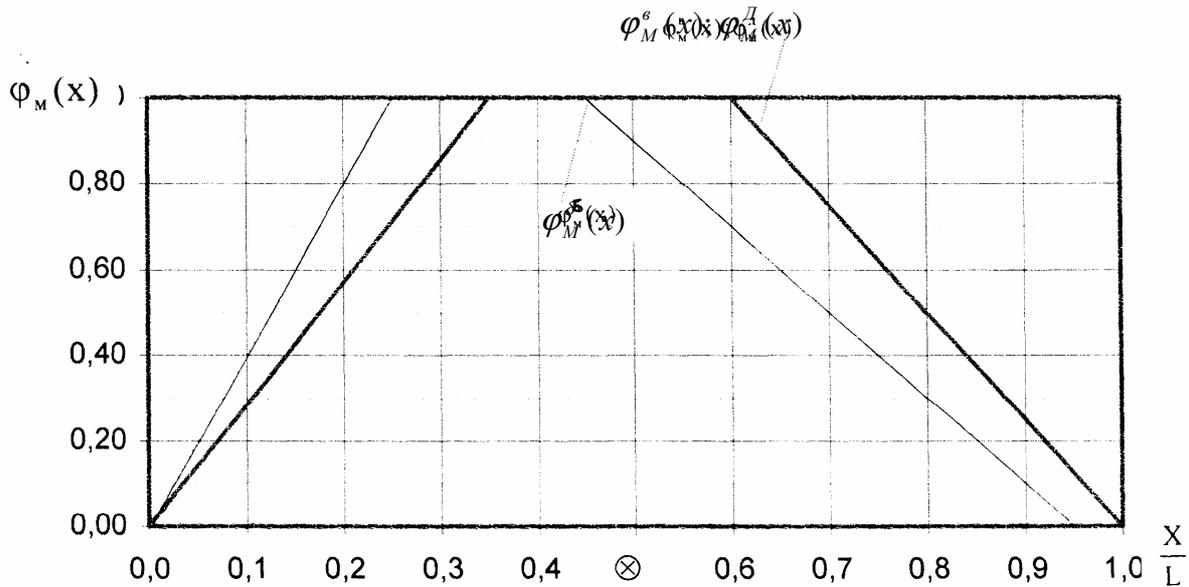


Рис. 3.2. Значения $\varphi_M(x)$

$$1. \varphi_M(x) = 2,85X/L \text{ при } 0 < X/L < 0,35$$

$$\varphi_M(x) = 1 \text{ при } 0,35 \leq X/L \leq 0,6$$

$$\varphi_M(x) = -2,5(X/L - 1) \text{ при } X/L > 0,6$$

$$2. \varphi_M(x) = 4X/L \text{ при } 0 < X/L < 0,25$$

$$\varphi_M(x) = 1 \text{ при } 0,25 \leq X/L \leq 0,45$$

$$\varphi_M(x) = -2X + 1,9 \text{ при } 0,45 < X/L < 0,95$$

x - расстояние от носового перпендикуляра

Ударный изгибающий момент (днищевой слеминг) определяется выражением:

$$M_y^D = \frac{0,6}{\sqrt{C_B \cdot \bar{\rho}_M}} \cdot \frac{h_p}{L} \left(\frac{h_p}{L} - \frac{2T_H}{a_* L} \right) \bar{\sigma}_2^{4/3} (\beta_2 a_*)^2 \cdot \kappa_D(\bar{\tau}_y) \cdot (1 + 15F_r^B) \frac{L}{10T_\otimes} B^2 L^2 \varphi_M^D(x) \geq 0, \text{ кНм} \quad (9)$$

где h_p – расчетная высота волны, равная

$$h_p = 0,75h_2 \quad (9a)$$

h_2 – высота волны, определяемая в соответствии с рис.3.1;

a_* – параметр относительных (по отношению к поверхности волны) перемещений носовой оконечности в районе 2-го теоретического шпангоута.

$$a_* = \kappa(C_B) \cdot (1,3 + 6,5F_r^B) \cdot (2,4 - 1,75\alpha) \left(0,7 + \frac{10T_\otimes}{L} \right) (0,3 + 3\bar{\rho}_m), \quad (10)$$

где $\kappa(C_B) = 1 - 12(C_B - 0,67)^2 \geq 0,85$,

$\bar{\rho}_m$ – относительная (отнесенная к длине L) величина продольного радиуса инерции масс судна при расчетном водоизмещении;

T_H – осадка носовой оконечности, определяемая по 2-му теоретическому шпангоуту (отстояние от носового перпендикуляра $x_2 = 0,1L$);

$\bar{b}_2 = b_2 / B$, b_2 – ширина 2-го теоретического шпангоута при его осадке $T_V = 0,1B$ (рис. 3.3);

β_2 – коэффициент полноты этого шпангоута при указанной осадке (рис.3.3);

$\kappa_D(\bar{\tau}_V)$ – коэффициент динамичности, определяемый с помощью рис. 3.4 в зависимости от параметра;

$$\bar{\tau}_V = \frac{0,1(1 - 0,8\beta_2)\bar{\sigma}_1}{1 + 2,5F_r^B}, \quad (11)$$

τ_V – относительная (по отношению к полупериоду упругих колебаний корпуса первого тона) длительность действия ударной нагрузки.

$$\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 \sqrt{\frac{L}{g}},$$

σ_1 – частота упругих колебаний корпуса первого тона (определяется по данным расчетов общей вибрации); допускается приближенная оценка величины σ_1 по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{\kappa 10^6}{\sqrt{1,2 + \frac{B}{3T_\otimes}}} \cdot \sqrt{\frac{I_\otimes}{\Delta L^3}}, \frac{рад}{сек}, \quad (12)$$

где I_\otimes – момент инерции миделевого сечения корпуса относительно нейтральной оси, M^4 ;

ΔL^3 – водоизмещение судна, в тоннах

κ – коэффициент, равный 4,0 для танкеров и 3,5 для сухогрузов и промысловых судов.

Функция φ_m^D – учитывает изменение изгибающего момента по длине судна (рис. 3.2).

Величина M_V^B (бортовой слеминг) находится по формуле:

$$M_V^B = \frac{0,03 h_p^2}{\sqrt{C_B \cdot \bar{\rho}_m H_H}} \cdot a_*^2 (1 + 2,5F_r^B)^2 \left[(\bar{\sigma}_2)^{1,5} \sqrt{1 - \left(\frac{1,5 H_H}{h_p a_*} \right)^2} - (\bar{\sigma}_2)^{1,5} (\bar{\sigma}_3)^{0,5} \right] B^2 L \cdot \varphi_m^B(x) \geq 0, \text{ кНм} \quad (13)$$

где H_H – высота надводного борта в районе 2-го теоретического шпангоута. При наличии излома бортов (рис. 3.3), высота H_H измеряется до этого излома ($H_H = H'_H$);

h_p – согласно (9а), но не более $h'_p = \frac{3,5}{a_*} \cdot H_H$;

$\bar{e}_i = \frac{e_i}{B}$ – относительная ширина i -го теоретического шпангоута на уровне

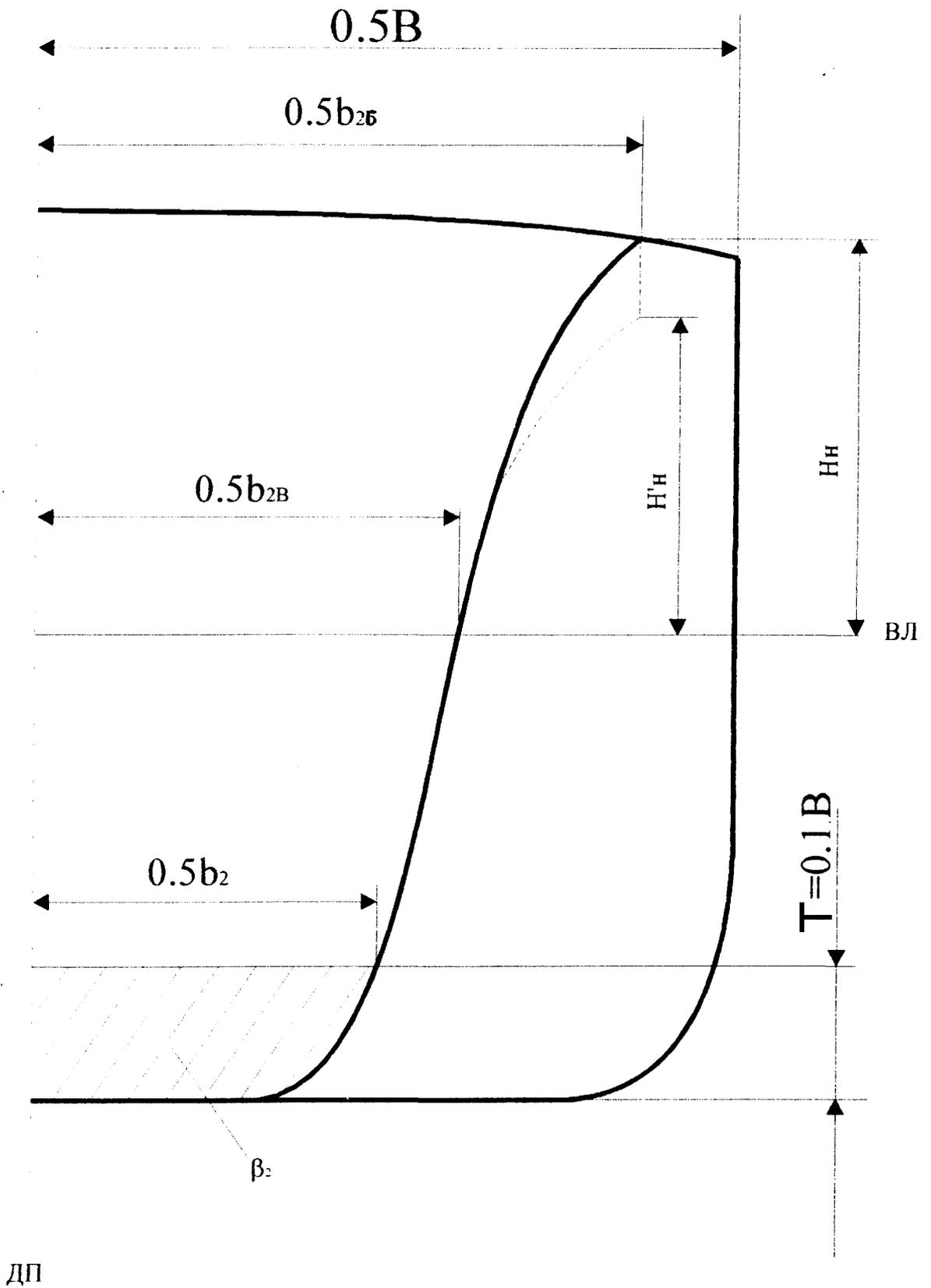
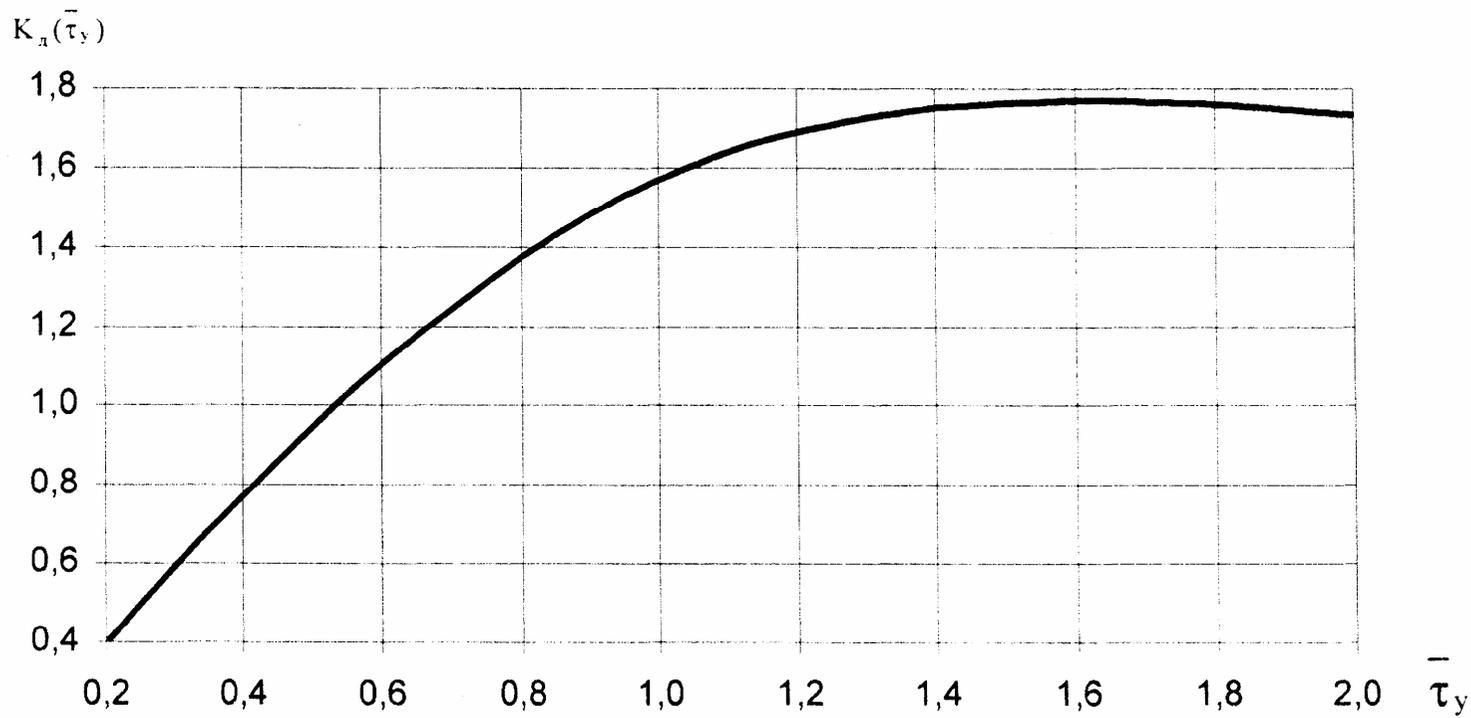


Рис. 3.3. Параметры сечения по 2-му теоретическому шпангоуту.



При $\bar{\tau}_y < 1$

$$K_d = \frac{2\bar{\tau}_y}{1 - \bar{\tau}_y^2} \cdot \cos \frac{\pi}{2} \bar{\tau}_y$$

При $\bar{\tau}_y > 1$

$$K_d = \frac{2\bar{\tau}_y}{\bar{\tau}_y^2 - 1} \cdot \cos \frac{2\pi \cdot \bar{\tau}_y}{1 + \bar{\tau}_y}$$

При $\bar{\tau}_y = 1$

$$K_d = 1,57$$

Рис. 3.4. Значения $K_d(\tau_y)$.

соответственно верхней кромки борта или линии его излома (индекс «Б») и действующей ватерлинии (индекс «В»);

$\varphi_m^B(x)$ – функция, характеризующая изменение изгибающего момента M_V^B по длине судна (рис. 3.2).

При отрицательной величине подкоренного выражения или разности в квадратных скобках (13) следует считать $M_V^B = 0$.

В случаях, когда $\bar{v}_2^B < 1,2\bar{v}_2^B$, расчет величины M_V^B может не производиться.

3.1.5. Расчетные величины перерезывающих сил от переменных составляющих нагрузок определяются на основании зависимости:

$$N_{II} = \frac{3,5}{L} \left[(M_{B2} + 0,7M_V^D) \varphi_N(x) + 1,2M_V^B \cdot \varphi_N^B(x) \right] \geq \frac{4}{L} M_{B2} \cdot \varphi_N(x) \quad (14),$$

где $\varphi_N(x)$ и $\varphi_N^B(x)$ – учитывают изменение соответствующих составляющих перерезывающей силы по длине судна (рис. 3.5);

M_{B2} – (см.1) определяется на миделе; M_V^D и M_V^{B*} – (см. 9 и 13) при $\varphi_m(x) = 1$.

3.1.6. Величина F_r^B в приведенных выше зависимостях должна соответствовать реально возможной максимальной скорости судна на встречном волнении с интенсивностью -7 баллов (высота волны 3^X -процентной обеспеченности $h_{3\%} = 7 - 8,5$ м) при проверке усталостной прочности, -9 баллов ($h_{3\%} = 12 - 15$ м) при проверке предельной прочности корпуса.

При отсутствии соответствующих данных в первом приближении полагаем:

При проверке усталостной прочности

$$F_{r1}^B = 0,125F_r^0 \left[2,5 + 1,5 \left(\frac{L}{100} \right)^{2/3} \right],$$

при проверке предельной прочности

$$F_{r2}^B = 0,125F_r^0 \left[1 + 1,5 \left(\frac{L}{100} \right)^{2/3} \right],$$

При определении волновых изгибающих моментов M_{Bi} значения F_r^B должны приниматься не превышающими значения F_{rp} указанных на рис. 3.6.

* Величины M_V^D и M_V^B можно вычислить на ПЭВМ на основе имеющегося пакета на кафедре СМК и СМ.

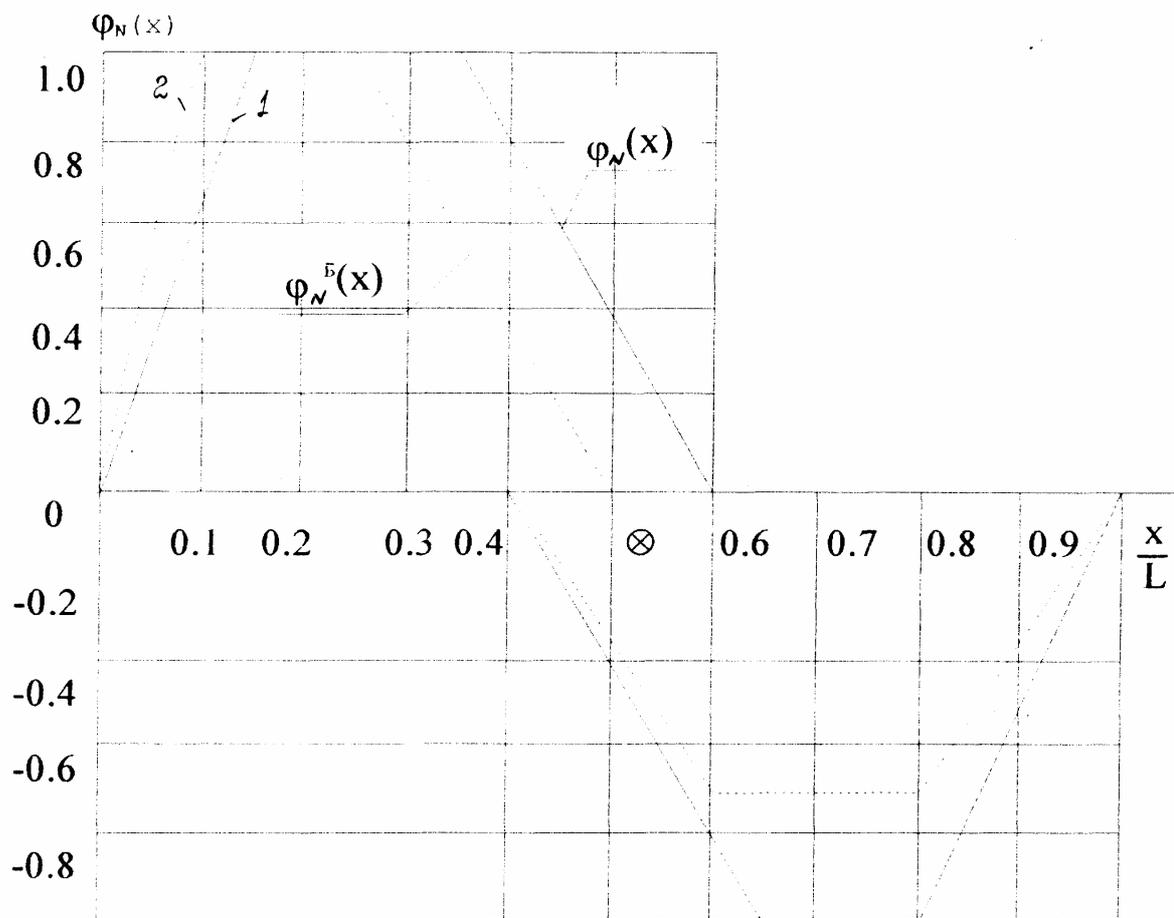


Рис. 3.5. Значения $\varphi_N(x)$

Примечание: в районе миделя из двух возможных различающихся знаками величин $\varphi_N(x)$ берется та, которая соответствует знаку статической составляющей перерезывающей силы $N_{TB}^{\max}(x)$

1	$\varphi_N(x) = 0,667x/L$	при	$0 < x/L < 0,15$
	$\varphi_N(x) = 1$	при	$0,15 \leq x/L < 0,35$
	$\varphi_N(x) = -4x/L + 2,4$	при	$0,35 < x/L < 0,6$
	$\varphi_N(x) = -4(x/L - 0,4)$	при	$0,4 < x/L < 0,65$
	$\varphi_N(x) = -1$	при	$0,65 \leq x/L \leq 0,8$
	$\varphi_N(x) = 5(x-1)$	при	$0,8 < x/L < 1$
2	$\varphi_N(x) = 10x/L$	при	$0 < x/L < 0,1$
	$\varphi_N(x) = 1$	при	$0,1 \leq x/L \leq 0,25$
	$\varphi_N(x) = -4x/L + 2$	при	$0,25 \leq x/L \leq 0,5$
	$\varphi_N(x) = 3,5(x/L - 0,4)$	при	$0,4 < x/L < 0,6$
	$\varphi_N(x) = -0,7$	при	$0,6 \leq x/L \leq 0,8$

$$\varphi_N(x) = 3,5(x-1) \quad \text{при} \quad 0,8 < x/L < 1$$

x - расстояние до носового перпендикуляра.

3.1.7 Для судов ограниченного района плавания при определении волновых и ударных нагрузок по указанным выше формулам высоты расчетных волн (рис.3.1.2-1) уменьшаются пропорционально коэффициенту μ :

для эксплуатационных нагрузок обеспеченностью 10^{-5}	для максимальных нагрузок обеспеченностью 10^{-8}
$\mu_1 = 0,90 - 12L \cdot 10^{-4}$ при знаке I	$\mu_2 = 1,0 - 15L \cdot 10^{-4}$
$\mu_1 = 0,83 - 16L \cdot 10^{-4}$ при знаке II	$\mu_2 = 0,97 - 20L \cdot 10^{-4}$
$\mu_1 = 0,81 - 20L \cdot 10^{-4}$ при знаке II-СП	$\mu_2 = 0,95 - 25L \cdot 10^{-4}$
$\mu_1 = 0,72 - 30L \cdot 10^{-4}$ при знаке III	$\mu_2 = 0,90 - 35L \cdot 10^{-4}$

3.1.8 При выполнении расчетов общей прочности с учетом действия горизонтального изгибающего M_G и крутящего M_K моментов, которые могут выполняться по специальным методикам, рекомендуется определять эти составляющие по следующим выражениям:

$$M_G = 0,35h_G \left(1 - 4 \frac{T}{L}\right) \cdot \frac{T}{B} BL^2 \varphi_G(x), \text{ кНм}$$

где h_G – высота расчетной волны при определении M_G ;

$$\varphi_G(x) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L}\right),$$

x - отстояние от кормового перпендикуляра.

$$M_K = \sqrt{M_{K1}^2 + M_{K2}^2},$$

где

$$M_{K1} = \frac{1}{2} h_K \cdot B^2 L \left[k_1 \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L}\right) - k_2 \cdot \sin \frac{3\pi x}{L} \right],$$

$$M_{K2} = \frac{1}{2} h_K \cdot B^2 L K_3 \sin \frac{2\pi x}{L},$$

h_K – высота расчетной волны при определении M_K ,

$$k_1 = 0,1 \left(1 - 8 \frac{T}{L} \right) \left(1 - 4 C_B \frac{B}{L} \right) [1 + 3,6(C_B - 0,7)] ,$$

$$k_2 = \left(1 - 4 \frac{T}{L} \right) \frac{T}{L} \cdot \frac{L}{B} \cdot \frac{e}{B} ; k_3 = 2k_2;$$

e - вертикальное отстояние центра кручения корпуса до уровня $0,6T$, измеряемого от дна судна. В приведенных выше зависимостях волнение предполагается регулярным, распространяющимся на встречу судну под углом 60° к его курсовому углу. Длина волны равна половине длины судна. Проекция этой длины λ на направление движения судна $\lambda_{np} = \frac{\lambda}{\cos 60^\circ} = L$.

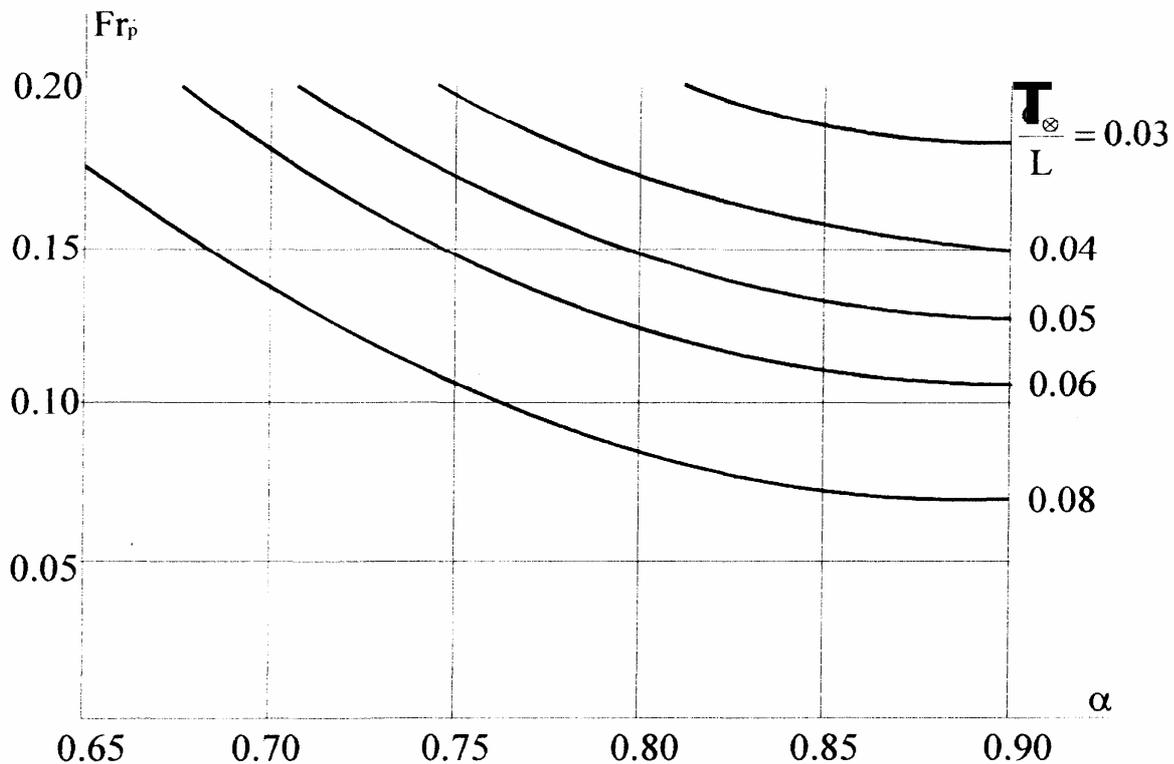


Рис. 3.6.

Значения F_r^P , ограничивающие расчетные величины F_r^B .

$$F_r^P = 0,21 \left[1 - (\bar{d} - 0,25)^{2/3} \right] + \left[2,5 - 1,1(\bar{d} - 0,25)^{2/3} \right] (0,9 - \alpha)^2$$

где $\bar{d} = \frac{10T}{L} \geq 0,25$; при $\alpha > 0,9$ полагают $\alpha = 0,9$.

3.2 Суда внутреннего плавания

Для речных судов дополнительный волновой изгибающий момент в кНм определяется по выражению / 7 /

$$M_{ДВ} = \pm 9,81 k_0 k_1 k_2 \delta B L^2 h, \quad (16)$$

где k_0 - коэффициент, учитывающий степень нагруженности судна, (класс судна) и $B/L(k_0 \leq 1)$; k_1 - коэффициент, значения которого определяются в зависимости, от класса судна и его длины; k_2 - коэффициент, учитывающий ударное взаимодействие судна с волнением (слеминг), зависит от соотношения осадки носом к длине (T_H/L): ($k_2 \geq 1$); δ - коэффициент полноты для расчетного состояния загрузки судна; h - расчетная высота волны.

Расчетные формулы для коэффициентов k_0, k_2 и значения коэффициента k_1 , а также размер расчетной волны приведены в табл.3.2

Таблица 3.2

Класс судна	h , м	k_0	k_2	k_1			
				Длина судна L, м			
				20	60	100	140
М-СП	3,5		$T_H \geq 1,7$ м	-	0,0188	0,0149	0,0127
М	3,0	$1,24-1,7 \frac{B}{L}$	$2 - 20 \frac{T_H}{L}$	0,0234	0,0172	0,0136	0,0116
О	2,0			0,0207	0,0134	0,0099	0,0077
Р	1,2	$1,24-2,0 \frac{B}{L}$		0,0168	0,0107	0,0078	0,0055
Л	0,6			0,0123	0,0085	0,0061	-

Распределение волновых изгибающих моментов по длине корпуса судна принимается в соответствии с рис.3.7

Дополнительная волновая перерезывающая сила вычисляется по формуле / 3 /

$$N_{ДВ} = \frac{4M_{ДВ}}{L}, \text{ кН}, \quad (16a)$$

а ее распределение по длине в соответствии с рис. 3.7

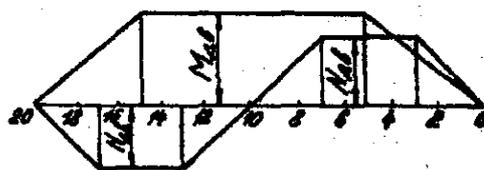


Рисунок 3.7

Суда класса “М-пр” должны иметь $T_H \geq 1,4$ м во всех случаях загрузки, $h_{3\%} = 3$ м.

Суда класса “О-пр” должны иметь $T_H \geq 0,9$ м во всех случаях загрузки, $h_{3\%} = 2$ м.

Дополнительный волновой изгибающий момент для них должен определяться в соответствии с (16) при $h=2$ м и значениях коэффициента k_1 принимаемых по таблице 3.3.

Таблица 3.3

Длина судна м	60	100	140
Коэффициент k_1	0,0154	0,0114	0,0089

4 РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОГО БРУСА В ПЕРВОМ И В ПОСЛЕДУЮЩИХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ

4.1 Определение нормальных напряжений

Корпус корабля представляет собой пустотелую балку, элементами поперечного сечения которой являются жесткие и гибкие связи палубы, днища, бортов и продольных переборок, промежуточных палуб и двойного дна, двойных бортов и платформ достаточной протяженности. К жестким связям относятся все продольные балки судового набора (кильсоны, карлингсы, стрингера, продольные ребра жесткости), к гибким – судовые пластины. Для нахождения нормальных напряжений от общего изгиба в связях корпуса можно было бы воспользоваться известной формулой сопротивления материалов, основанной на гипотезе плоских сечений [5]:

$$\sigma_i = \frac{M_p}{I} z_i, \quad (17)$$

где σ_i - нормальные напряжения в связи под номером i ; M_p - расчетный изгибающий момент в поперечном сечении корпуса; I - момент инерции поперечного сечения корпуса; z_i - отстояние центра тяжести поперечного сечения i -й связи от нейтральной оси корпуса.

Однако расчет нормальных напряжений по формуле (4.1) в непосредственном виде как правило невозможен, ибо жесткие и гибкие связи судового корпуса работают при общем изгибе различным образом. В связи с наличием начальной погиби у пластин, возможности потери их устойчивости, напряжения в гибких связях на одном и том же расстоянии от нейтральной оси поперечного сечения корпуса будут отличны от напряжений в жестких связях. Поэтому в практике расчетов прочности реальное поперечное сечение корпуса корабля заменяется поперечным сечением некоторой условной балки, называемой эквивалентным брусом. Эта замена позволяет учесть особенности работы жестких и гибких связей в составе судового корпуса и использовать для вычисления нормальных напряжений формулу (4.1).

В состав поперечного сечения эквивалентного бруса включаются не все связи, а только те, которые удовлетворяют определенным условиям Регистров (по их протяженности, расположению и т.п.) [5–7].

Выбор расчётных поперечных сечений корпуса и определение их элементов.

Проверка общей прочности должна производиться в районе миделя и других поперечных сечений, в которых можно ожидать наименьших запасов прочности.

При вычислении момента сопротивления поперечного сечения корпуса должны учитываться все непрерывные продольные связи днища, борта и палубы..

Карлингсы, стрингеры и другие продольные балки палубы, днища и борта включаются в сечение полностью, если они непрерывны по длине на расстоянии не менее трёх собственных высот в нос и корму от расчётного сечения и опёрты по длине не менее чем на три жёсткие поперечные связи.

При использовании в стальных корпусах судов конструкций из алюминиевых сплавов, участвующих в общем изгибе, площади поперечных сечений продольных связей таких конструкций должны учитываться в составе эквивалентного бруса с редуцированными коэффициентами, равными отношению модулей нормальной упругости стали и сплава.

Степень участия в общем продольном изгибе надстроек, рубок, разрезных комингсов, а так же продольных палубных связей, расположенных между парными люковыми вырезами,

должна определяться расчетным путем.

Для одноярусных надстроек постоянного по длине сечения, а также рубок, опирающихся не менее чем на три поперечные переборки, допускается приближенный учет в составе эквивалентного бруса их продольных связей в соответствии с рис. 4.1(а), а именно: площади сечения стенок и продольных переборок включаются пропорционально расстоянию от конца надстройки под углом 15° , а площадь сечения палубы - под углом α :

$$\alpha = \arctg \sqrt{\frac{\delta_{cm} + \delta_n}{14t}}$$

где t – толщина палубы надстройки;

δ_{cm} – толщина стенки надстройки;

δ_n – суммарная толщина продольных переборок.

При этом на концевых участках надстройки (рубки) стенки и продольные переборки не должны иметь часто расположенных оконных и других вырезов шириной, большей расстояния между вырезами.

Расчетные напряжения в палубе надстройки (рубки), включенной в состав эквивалентного бруса указанным способом, могут быть определены путем умножения напряжений, найденных в соответствии с гипотезой плоских сечений, на величину:

$$\varphi = \sqrt{\psi}$$

где ψ - отношение включенной площади сечения надстроек (рубок) к полной площади сечения.

Расчет надстроек переменного сечения, а также многоярусных надстроек должен производиться по специальной методике согласованной с Регистром.

Учет вырезов в продольных связях корпуса при определении элементов эквивалентного бруса производится в соответствии с принятым в Правилах Регистра. Связи у поперечных кромок выреза исключаются согласно рис.4.1(б).

При непрерывной конструкции комингсов грузовых люков их учет при выполнении расчетов общей прочности производится по специальной методике согласованной с Регистром.

При однорядной схеме расположения грузовых люков допускается считать комингсы полностью включенными в состав поперечного сечения корпуса. При этом расчетные моменты сопротивления корпуса W для верхних кромок комингса рассчитываются путем деления момента инерции поперечного сечения корпуса относительно его горизонтальной нейтральной оси на величину Z_T , определяемую:

$$z_T = z_K \left[0,9 + 0,2 \cdot \frac{Y}{B} \right] \geq z_{BK},$$

где Z_K - расстояние от нейтральной оси до верхней кромки продольного комингса, см;

z_{BK} - расстояние от нейтральной оси до верхней кромки борта, см;

Y - расстояние от диаметральной плоскости корпуса до стенки комингса, м.

Устойчивость продольных элементов конструкций корпуса на действие сжимающих напряжений от общего изгиба должны проверяться путем сравнения критических (исправленных эйлеровых) напряжений σ_{KP} , определяемых с учетом уменьшения модуля нормальной упругости (рис.4.2), с расчетными сжимающими напряжениями, - вычисляемыми по следующей формуле (расчеты устойчивости выполняются без учета влияния износа связей):

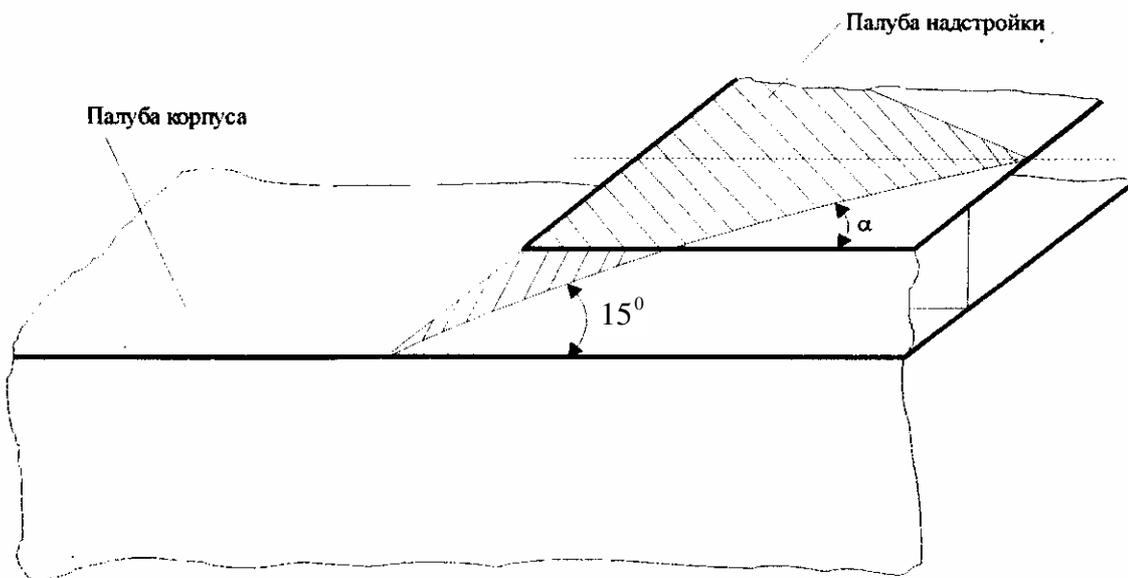
$$\sigma_C = \sigma_{KP}^B \frac{K_{\min}}{K_\phi} \cdot \frac{|z|}{R}; \quad K_K \leq \sigma_T^H$$

где R - отстояние от нейтральной оси крайних верхних продольных связей корпуса, опреде-

ляющее величину $W_T^{\prime\prime}$;

z – то же для рассматриваемой связи;

a)



б)

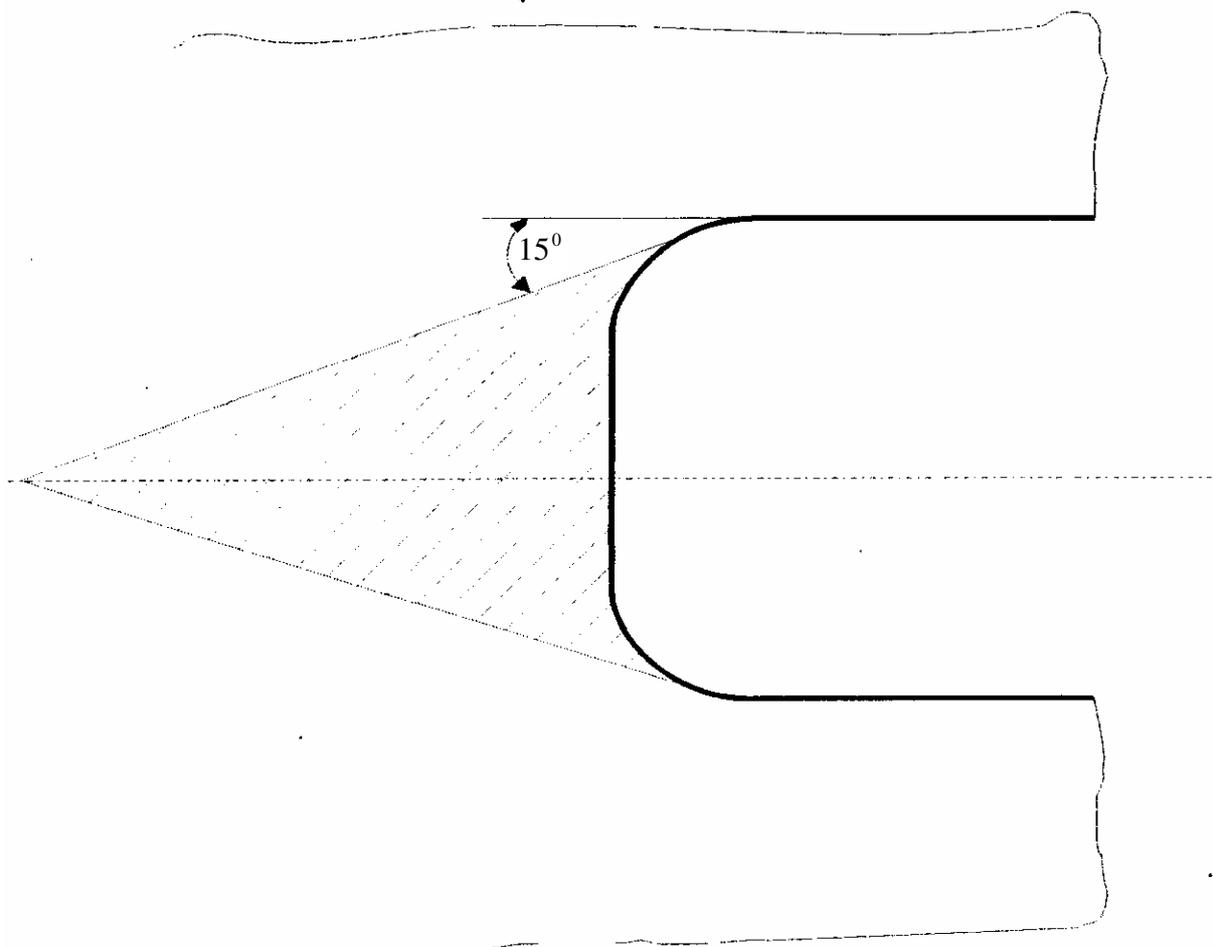


Рис.4.1

Включение связей в эквивалентный брус ///- не включаемые связи

K_{\min} - минимальный коэффициент запаса, равный: 1,15 – при прогибе корпуса; 1,25 – при его перегибе, при направлении вертикального изгиба корпуса, вызывающем сжатие рассматриваемой группы связей;

K_{ϕ} - фактический коэффициент запаса, обеспеченный по этому критерию при данном направлении изгиба;

Устойчивость продольных элементов конструкции корпуса считается обеспеченной, если критическое напряжение σ_{KP} удовлетворяет условию:

$$\sigma_{KP} \geq \kappa_C \cdot \sigma_C,$$

где $\kappa_C=1$ - для балок продольного набора и перекрытий в целом;

$\kappa_C=0,9$ - для листовых элементов ширстрека, стрингера верхней палубы, горизонтального киля, скулового пояса, верхнего и нижнего поясьев продольных переборок;

$\kappa_C=0,6$ - для прочих листовых элементов корпуса включаемых в состав эквивалентного бруса.

При этом критические напряжения для балок продольного набора и перекрытий верхней расчетной палубы должны составлять не менее $0,9 \sigma_T^H$, а для его настила - σ_T^H .

Устойчивость продольного набора надстроек, участвующих в общем изгибе, должна быть обеспечена до напряжений в этих связях, соответствующих действующему в рассмотренном сечении наибольшему суммарному прогибающему изгибающему моменту на подошве расчетной волны, умноженному на коэффициент запаса, принимаемый при проверке предельной прочности.

В случае, если предельная прочность корпуса судна на подошве волны обеспечивается безучастия надстройки, устойчивость ее продольного набора может доводиться только до напряжений, соответствующих наибольшему суммарному прогибающему моменту.

При определении элементов эквивалентного бруса с учетом редуцирования гибких связей (пластин) под действием расчетных сжимающих напряжений редуцированию не подлежат прилегающие к продольным балкам части пластин шириной с каждой стороны балки по 0,2 от размера короткой стороны опорного контура.

Редуцируемые части гибких связей вводятся в расчет с редуцированным коэффициентом:

$$\psi = \frac{\sigma_{KP}}{\sigma_{СЖ}},$$

где $\sigma_{СЖ}$ - действующее в жестких связях сжимающие напряжения от общего изгиба (абсолютные величины);

σ_{KP} – критические напряжения гибких связей.

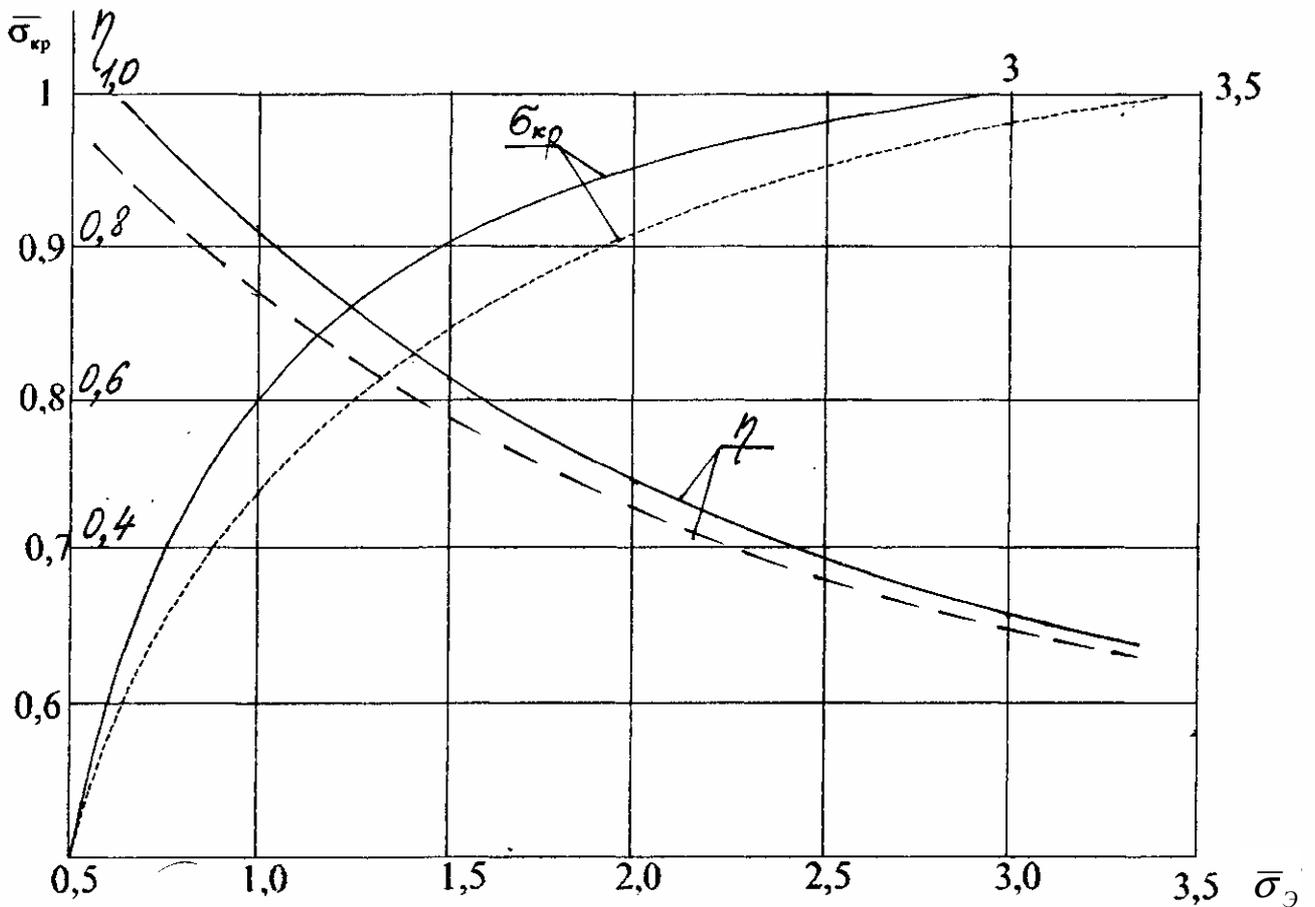


Рис. 4.2

Графики для определения критических (исправленных эйлеровых) напряжений балок, а так же пластин при поперечной системе набора.

σ_3 - теоретическое эйлерово напряжение, $\bar{\sigma}_3 = \sigma_3 / \sigma_T$;

σ_{KP} - критическое (исправленное эйлерово) напряжение, $\bar{\sigma}_{KP} = \sigma_{KP} / \sigma_T$; $\eta = \frac{\sigma_{KP}}{\sigma_3}$

1 – для стали

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\sigma}_{KP} = \sigma_3 \text{ при } \bar{\sigma}_3 < 0,6 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1,12 - \frac{0,312}{\bar{\sigma}_3} \text{ при } 0,6 \leq \bar{\sigma}_3 < 2,6 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1 \text{ при } \bar{\sigma}_3 \geq 2,6 \end{array} \right.$$

2 – для алюминия

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\sigma}_{KP} = \sigma_3 \text{ при } \bar{\sigma}_3 < 0,5 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1,31 - \frac{0,57}{\sqrt{\bar{\sigma}_3}} \text{ при } 0,5 \leq \bar{\sigma}_3 < 3,4 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1 \text{ при } \bar{\sigma}_3 \geq 3,4 \end{array} \right.$$

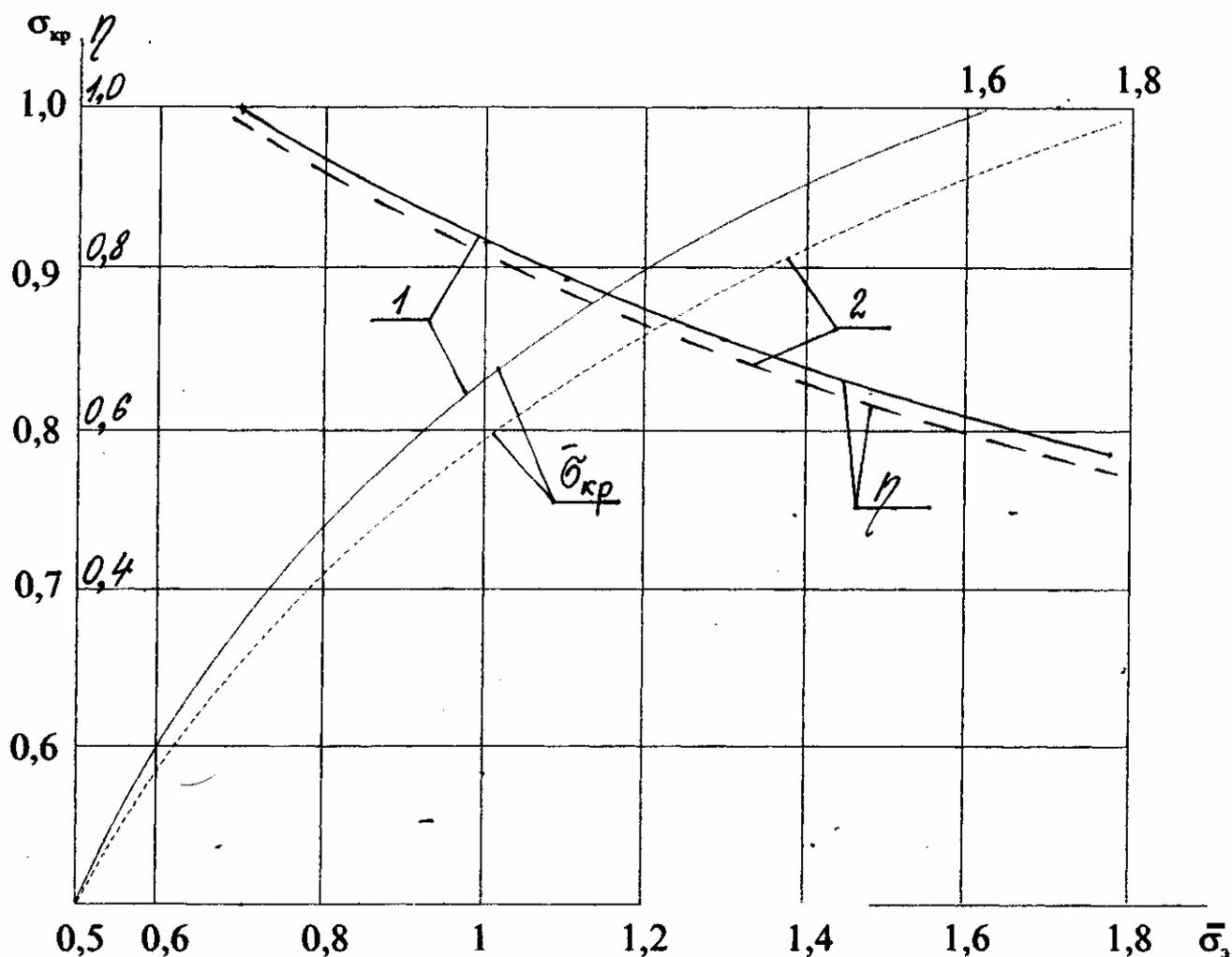


Рис. 4.3

Графики для определения критических (исправленных эйлеровых) напряжений пластин, при продольной системе набора.

$\sigma_Э$ - теоретическое эйлерово напряжение, $\bar{\sigma}_Э = \sigma_Э / \sigma_T$;

σ_{KP} - критическое (исправленное эйлерово) напряжение, $\bar{\sigma}_{KP} = \sigma_{KP} / \sigma_T$; $\eta = \frac{\sigma_{KP}}{\sigma_Э}$

1 - для стали

$$\begin{cases} \bar{\sigma}_{KP} = \sigma_Э & \text{при } \bar{\sigma}_Э < 0,6 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1,63 - \frac{0,8}{\sqrt{\bar{\sigma}_Э}} & \text{при } 0,6 \leq \bar{\sigma}_Э < 1,6 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1 & \text{при } \bar{\sigma}_Э \geq 1,6 \end{cases}$$

2 - для алюминия

$$\begin{cases} \bar{\sigma}_{KP} = \sigma_Э & \text{при } \bar{\sigma}_Э < 0,5 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1,94 - \frac{1,14}{\sqrt[3]{\bar{\sigma}_Э}} & \text{при } 0,5 \leq \bar{\sigma}_Э < 1,8 \\ \bar{\sigma}_{KP} = 1 & \text{при } \bar{\sigma}_Э \geq 1,8 \end{cases}$$

Примечание: Приведенные на этом рисунке данные могут быть использованы для оценки критических значений касательных напряжений листовых элементов конструкций τ_{KP} . При этом вместо $\bar{\sigma}_Э$ и $\bar{\sigma}_{KP}$ вводятся соотношения $\bar{\tau}_Э = \frac{\tau_Э}{\tau_T}$ и $\bar{\tau}_{KP} = \frac{\tau_{KP}}{\tau_T}$, где $\tau_T = 0,57\sigma_T$ - предел текучести стали по касательным напряжениям.

Расчет нормальных напряжений от общего изгиба корпуса в связях эквивалентного бруса производится методом последовательных приближений. При этом предполагают, что все связи находятся в условиях одноосного (линейного) напряженного состояния [5].

В первом приближении положение нейтральной оси эквивалентного бруса и момент инерция поперечного сечения определяются в предположении, что все продольные связи (жесткие и гибкие) участвуют в общем изгибе одинаково, а напряжения в связях находятся по формуле (17).

Во втором и последующих приближениях площади гибких связей и связей с другим модулем упругости вводятся в состав эквивалентного бруса с редуцированными коэффициентами. Если модуль упругости i -й продольной связи E_i отличается от модуля упругости материала E остальных связей, то площадь этой связи вводится в расчет с редуцированным коэффициентом $\varphi_i = E_i/E$. При вычислении напряжений в связи с модулем E_i , полученные по расчету напряжения нужно умножить на φ_i .

Гибкие связи, имеющие начальную погибь, поперечную нагрузку или могущие потерять устойчивость, вводятся в состав площади эквивалентного бруса с редуцированным коэффициентом φ , который определяется из условия, что гибкая связь заменяется некоторой условной связью, напряженной так же, как и соседняя жесткая связь и воспринимающей ту же продольную нагрузку, что и гибкая связь. Редуцированная площадь гибкой связи, включаемая в состав эквивалентного бруса, определяется по формуле

$$F_{ред} = \varphi F_{пл}, \quad (18)$$

$$\text{где } \varphi = \sigma_{пл} / \sigma_{жс} \quad (19)$$

Здесь $F_{ред}$ - редуцированная площадь пластины, включаемая в состав эквивалентного бруса; $F_{пл}$ - площадь поперечного сечения пластины, подлежащая редуцированию; $\sigma_{пл}$ - цепные напряжения в пластине; $\sigma_{жс}$ - напряжения в жесткой связи.

При этом нужно иметь в виду, что редуцируется не вся площадь поперечного сечения пластины, а только часть ее за вычетом площади полосок прилегающих к продольным сторонам опорного контура пластины, которые включаются в состав жестких связей эквивалентного бруса без редуцирования. Ширина этих полосок для судов внутреннего плавания принимается равной 0,25 короткой стороны опорного контура с каждой стороны жесткой связи, а для морских судов – 0,2 короткой стороны опорного контура.

При поперечной системе набора редуцированные коэффициенты определяют по формуле (19). При этом, цепные напряжения в пластине находятся по соответствующей методике расчета балки-полоски / 1 / в курсовой работе.

Методика определения редуцированных коэффициентов пластин и элементов эквивалентного бруса в первом и последующих приближениях подробно изложена в справочной литературе [1, 4, 5] и Регистрах [6-7]

После нахождения элементов эквивалентного груза в первом и последующих приближениях нормальные напряжения в его связях определяются по формуле (17). Процесс последовательных приближений можно прекратить, если наибольшие напряжения (в наиболее удаленных от нейтральной оси связях эквивалентного бруса) в двух последних приближениях отличаются не более чем на 5%.

Согласно Речного Регистра редуцированию не подлежат:

1. части пластин, прилегающие к продольным связям, шириной, равной 0,25 короткой стороны опорного контура с каждой стороны связи (рис. 4.4), но не более 25 толщин пластины;

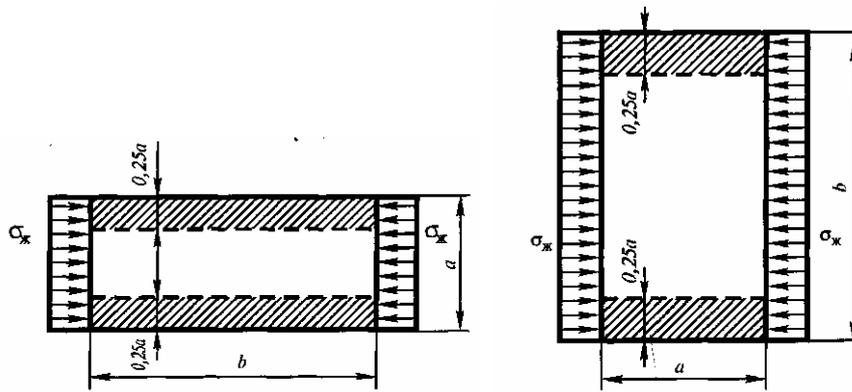


Рис. 4.4

2. скуловой лист на протяжении скулового закругления;

3. пластины растянутой зоны эквивалентного бруса при продольной системе набора.

При продольной системе набора редуциционные коэффициенты сжатых пластин определяются по формуле

$$\varphi = \frac{\sigma_{кр}}{|\sigma_{ж}|}$$

где $|\sigma_{ж}|$ – абсолютное значение сжимающего напряжения в жестких связях, МПа, на уровне центра тяжести пластины, полученного при расчете эквивалентного бруса в соответствующем приближении;

$\sigma_{кр}$ – критическое напряжение сжатой пластины.

Редуциционный коэффициент не должен быть более 1.

При поперечной системе набора редуциционные коэффициенты пластин назначаются по табл. 4.1. Их можно определять и в соответствии с положениями строительной механики корабля. При этом поперечная расчетная стрелка погиби должна быть принята не менее вычисленной по формуле

$$h_0 = \frac{a}{55} \left(\frac{0,15}{t} + 0,4 \right), \quad (19a)$$

где a — длина меньшей стороны пластины, см;

t — толщина пластины, см.

Для настилов грузовых палуб и двойного дна судов, предназначенных для загрузки-разгрузки грейферами, стрелку погиби h_0 , вычисленную по формуле (19а), следует увеличить в два раза; начальную погибь следует считать косинусоидальной, а балку — полоску жестко заделанной независимо от того, действует или не действует на настил поперечная нагрузка. Редуциционный коэффициент при сжатии не может быть больше величины

$$\varphi = \frac{19}{|\sigma_{ж}|} \left(\frac{100t}{a} \right)^2 \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right),$$

где b – длина большей стороны пластины.

Таблица 4.1

Вид деформации	Редуциционные коэффициенты φ при толщине пластин, мм			
	4	6	8	12
Растяжение	0,07	0,18	0,33	0,56
Сжатие	0,03	0,07	0,12	0,28

Критические напряжения пластин, сжатых вдоль длинной кромки, МПа, должны вычисляться по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{KP} = \sigma_{\varnothing} \text{ при } \sigma_{\varnothing} \leq 0,6\sigma_T \\ \sigma_{KP} = \left(1,63 - 0,8 \sqrt{\frac{\sigma_T}{\sigma_{\varnothing}}} \right) \sigma_T \text{ при } 0,6\sigma_T < \sigma_{\varnothing} < 1,6\sigma_T \\ \sigma_{KP} = \sigma_T \text{ при } \sigma_{\varnothing} \geq 1,6\sigma_T \end{array} \right.$$

где эйлеровы напряжения, МПа

$$\sigma_{\varnothing} = 78,5 \left(\frac{100t}{a} \right)^2,$$

t – толщина пластины, см;

a – длина короткой кромки, см;

4.2 Определение касательных напряжений

Касательные напряжения при общем изгибе определяются в тех сечениях эквивалентного бруса, где они достигают наибольших значений. Это как правило сечения, в которых перерезывающая сила достигает максимума. Для расчета максимальных касательных напряжений (которые возникают на нейтральной оси) используется формула (5):

$$\tau_{MAX} = \frac{N_p S}{I \sum t} \quad (20)$$

Здесь N_p - расчетная перерезывающая сила; S – статический момент верхней (или нижней) части площади эквивалентного бруса, отсекаемой нейтральной осью, взятой относительно указанной оси; I - момент инерции поперечного сечения эквивалентного бруса относительно нейтральной оси (без редуцирования); $\sum t$ - суммарная толщина бортов и продольных реборок на уровне нейтральной оси.

5 ОЦЕНКА ОБЩЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА КОРАБЛЯ.

Оценка общей продольной прочности корпуса должна быть произведена в соответствии с нормативными требованиями Регистров [6, 7]. Поскольку специфика эксплуатационных нагрузок для судов внутреннего плавания и морских судов имеет ряд существенных различий, то и методики оценки общей продольной прочности корпуса имеют соответствующие различия.

5.1 Суда внутреннего плавания

Для судов внутреннего плавания общая продольная прочность корпуса должна быть проверена по допускаемым напряжениям и по предельным изгибающим моментам [7].

5.1.1 Проверка Общей прочности по допускаемым напряжениям.

Проверка по допускаемым напряжениям сводится к сравнению расчетных напряжений от общего изгиба, возникающих в связях эквивалентного бруса, с допускаемыми напряжениями.

Величина расчетных нормальных напряжений определяется по формулам (17) и (20), где

$$M_p = M_{TB} + M_{ДВ}, \quad N_p = N_{TB} + N_{ДВ} \quad (21)$$

Здесь M_{TB} , N_{TB} - максимальные изгибающий момент и перерезывающая сила на тихой воде (при прогибе и перегибе) корпуса;

$M_{ДВ}$, $N_{ДВ}$ - дополнительные волновой изгибающий момент и перерезывающая сила, определяемые по формулам (16) и (16а).

Для всех связей корпуса должно выполняться, условие прочности по нормальным напряжениям

$$\sigma_{РАСЧ} \leq [\sigma],$$

где $\sigma_{РАСЧ}$ - расчетные нормальные напряжения определяются с редуцированием (см. стр.27); $[\sigma]$ - допускаемые нормальные напряжения в соответствии с табл.5.1.

Проверка прочности при общем изгибе по касательным напряжениям сводится к выполнению неравенства

$$\tau_{МАХ} \leq [\tau],$$

где $\tau_{МАХ}$ - максимальное расчетное касательное напряжение, см. формулу (20); $[\tau]$ - допускаемое касательное напряжение по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Наименование и характеристика связей корпуса	Характеристика расчетных напряжений от нагрузок	Нормируемые значения допускаемых напряжений в долях предела текучести
1. Жесткие связи эквивалентного бруса, участвующие только в общем изгибе и не несущие местной нагрузки (продольные непрерывные комингсы, связи ненагруженных палуб и т. п.)	Нормальные напряжения от общего изгиба	См. прим. 1
2. Жесткие связи эквивалентного бруса, участвующие в общем изгибе и несущие местную нагрузку (связи нагруженных продольных непрерывных комингсов, палуб и днища всех судов)	Нормальные напряжения от общего изгиба	0,60

Продолжение таблицы 5.1

Наименование и характеристика связей корпуса	Характеристика расчетных напряжений от нагрузок	Нормируемые значения допускаемых напряжений в долях предела текучести
3. Продольные непрерывные комингсы и карлингсы судов, перевозящих грузы на люковых крышках и на палубе, а также кильсоны судов всех типов	Суммарные нормальные напряжения от общего изгиба и от изгиба перекрытий: в пролете на опоре	0,75 0,95
4. Продольные балки (пс-разрезные ребра жесткости), если перекрытие не рассчитывают	Суммарные нормальные напряжения от общего и от местного изгиба: в пролете на опоре	0,85 0,95
5. Обшивка корпуса и настилы при поперечной системе набора	Нормальные напряжения от местной нагрузки: в пролете на опоре	0,80 0,95
6. Обшивка и настилы при продольной системе набора	Нормальные напряжения от местной нагрузки: в пролете на опоре	0,80 0,95
7. Связи корпуса, воспринимающие действие перерезывающей силы при общем изгибе (обшивка бортов и продольных переборок)	Касательные напряжения	0,30
8. Поперечный рамный набор корпуса: флоры, рамные шпангоуты и бимсы	Нормальные напряжения от местной нагрузки: в пролете на опоре	0,75 0,85
9. Поперечный холостой набор корпуса: днищевые и бортовые шпангоуты, бимсы и связи внутреннего дна при поперечной системе набора	Нормальные напряжения от местной нагрузки: в пролете на опоре	0,85 0,95
10. Продольные и поперечные переборки (в том числе и стенки цистерн): рамные стойки и шельфы холостые стойки (ребра жесткости) листы переборок	Нормальные напряжения от местной нагрузки: в пролете на опоре в пролете на опоре в пролете на опоре	0,85 0,90 0,85 0,95 0,85 0,95
11. Стенки балок рамного набора	Касательные напряжения в стенках	0,45

Продолжение таблицы 5.1

Примечания: 1. Для связей, указанных в п. 1 таблицы, нормируемые значения допускаемых напряжений в долях предела текучести принимать равными для судов:

класса «М» 0,70 — при $\sigma_T = 235$ МПа,

0,65 — при $\sigma_T = 295$ МПа,

0,60 — при $\sigma_T = 395$ МПа;

классов «О», «Р» и «Л» 0,75 — при $\sigma_T = 235$ МПа,

0,70 — при $\sigma_T = 295$ МПа,

0,64 — при $\sigma_T = 395$ МПа.

2. В расчетах прочности корпуса судна при подъеме из воды и спуске па воду, при испытании на непроницаемость и герметичность, а также при затопленном отсеке судна нормируемые значения допускаемых суммарных напряжений (от общего изгиба и от местной нагрузки) необходимо принимать равными 0,95 предела текучести материала связей.

3. Для изолированно работающих связей (пиллерсы и, раскосы), проверяемых па устойчивость, нормируемые значения допускаемых напряжений принимать равными 0,50, для пересекающихся раскосов — 0,75 исправленного эйлера нормального напряжения, но по более 0,50 предела текучести материала связей.

4. Для беспалубных грузовых судов и судов с отношениями В/Н, превышающими регламентируемые табл. 3.1, нормируемые значения допускаемых напряжений от поперечного общего изгиба и от местной нагрузки принимать равными указанным в п. 8 и 9 настоящей таблицы.

Для отдельных связей судового корпуса должна быть произведена оценка прочности и по суммарным нормальным напряжениям (от общего изгиба и местных нагрузок), если этого требует Речной Регистр [7].

5.1.2 Проверка общей предельной прочности.

Во всех случаях должна быть произведена проверка общей прочности корпуса судна по предельным моментам. Под предельным моментом понимается момент, изгибающий корпус судна и вызывающий в наиболее удаленной кромке эквивалентного бруса сжимающие или растягивающие напряжения, равные пределу текучести материала.

В случае применения для корпуса судна сталей, имеющих 'разный предел текучести, определение предельного 'момента должно быть произведено с учетом того, в какой 'из связей поперечного сечения корпуса напряжения, равные пределу текучести, достигают в первую очередь.

Определению подлежат два предельных момента $M_{пр}$, кН·м,—один при прогибе, другой при перегибе корпуса:

$$M_{пр} = \pm 10^{-3} \sigma_T W, \quad (22)$$

где σ_T — предел текучести материала на одной из кромок эквивалентного бруса, МПа;

W— момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса относительно наиболее удаленной от нейтральной оси его кромки, в которой напряжения равны пределу текучести, $см^3$.

При вычислении момента сопротивления W необходимо производить редуцирование гибких связей корпуса, принимая напряжение на одной из кромок эквивалентного бруса во всех приближениях равным пределу текучести.

Напряжения на противоположной кромке эквивалентного бруса ($\sigma < \sigma_T$) находятся методом последовательных приближений в зависимости от положения нейтральной оси.

Редукционные коэффициенты пластин при продольной системе набора назначаются в соответствии с указаниями [7] (см. стр.27 данного пособия), при поперечной системе набора — по

Вид деформации	Редукционные коэффициенты φ при толщинах пластин, мм			
	4	6	8	12
Растяжение	0,08	0,24	0,40	0,60
Сжатие	0,03	0,07	0,12	0,28

Редуцированию подлежат также и те сжатые «жесткие» связи корпуса (продольные балки палуб, платформ, ширстрека, днища, настила второго дна и т. п.), у которых критические, т. е. Исправленные с учетом изменения модуля нормальной упругости, эйлеровы напряжения σ_{KP} меньше напряжений в жестких связях $\sigma_{жс}$, возникающих при действии предельного момента. Редукционный коэффициент этих связей должен определяться по формуле

$$\varphi = \frac{\sigma_{KP}}{|\sigma_{жс}|} < 1.$$

Для обеспечения прочности корпуса по предельному моменту должно выполняться условие

$$M_{np} \geq kM_p \quad (23)$$

где k — коэффициент запаса прочности по предельному моменту;

Значения коэффициента k , независимо от марки применяемой стали, принимаются равными:

- .1 для кромки эквивалентного бруса, жесткие связи которой несут местную нагрузку,
 $k = 1,35$
- .2 для кромки эквивалентного бруса, жесткие связи которой несут местную нагрузку,
 $k = 1,50$

Для грузовых судов прочность корпуса по предельному моменту должна быть проверена по формуле

$$M_{np} \geq k_{np} DL$$

где k_{np} — коэффициент предельного момента, определяемый по табл. 5.2;

D — сила тяжести судна в полном грузу, кН.

Таблица 5.2

Тип судна	Значения коэффициента k_{np} при длине судна, м				
	20	60	80	100	140
Грузовые самоходные .	0,068	0,055	0,040	0,032	0,028
Сухогрузные несамоходные	0,056	0,043	0,028	0,021	0,018
Наливные баржи . .	0,048	0,032	0,020	0,015	0,012

5.1.3 Расчеты прочности корпуса с учетом износов и местных остаточных деформаций

Согласно [7] проверка общей прочности судна по предельным моментам с одновременным учетом износов и местных остаточных деформаций связей корпуса в конце предусмотренного в проекте срока службы производится в соответствии с рекомендованными методикой и нормами [7].

Определению подлежат два предельных момента, кН·м, — один при прогибе, другой при перегибе корпуса:

$$M_{пр.и} = 10^{-3} \sigma_T W_{пр.и} , \quad (24)$$

где $W_{пр.и}$ - момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса, вычисленный с учетом износов и местных остаточных деформаций связей корпуса, относительно наиболее удаленной от нейтральной оси его кромки, в которой напряжения равны пределу текучести, $см^3$, σ_T в Мпа.

В случае применения для корпуса судна сталей, имеющих разный предел текучести, определение предельного момента должно быть произведено с учетом того, в какой из связей поперечного сечения корпуса напряжения, равные пределу текучести, достигают в первую очередь.

Вычисление момента сопротивления $W_{пр.и}$ необходимо производить, учитывая одновременно износ связей корпуса и их местные остаточные деформации согласно [7].

Средние остаточные толщины связей корпуса определяются исходя из значений средних расчетных скоростей изнашивания, приведенных в табл. 5.3.

№ п/п	Наименование групп связей	Рекомендуемые расчетные скорости изнашивания, мм/год
1	2	3
1	Палубные настилы и подпалубный набор, Комингсы.	0,05
2	Палубные настилы судов-площадок, перевозящих навалочные грузы	0.13
3	Палубные настилы и подпалубный набор, верхние листы переборок и бортов в районе грузовых танков нефтеналивных судов	0.13
4	Палубные настилы и подпалубный набор, верхние листы переборок и бортов в районе грузовых танков нефтеналивных судов, перевозящих сырую нефть	0,20
5	Наружная обшивка борта.	0,06
6	Набор борта.	0,04
7	Настил второго дна, нижние листы вторых бортов и переборок	0,05
8	Верхние и средние участки вторых бортов и переборок	0,04
9	Настилы второго дна, нижние листы вторых бортов и переборок судов, перевозящих навалочные грузы	0,13
10	Верхние и средние участки вторых бортов и переборок, комингсы судов, перевозящих навалочные грузы	0,10
11	Скуловой пояс наружной обшивки и примыкающий к нему пояс обшивки днища	0,08
12	Обшивка и набор днища и 2 ^{го} дна	0,07

Местные остаточные деформации продольных ребер жесткости совместно с наружной обшивкой или с настилом (вмятины) учитываются в днище всех судов и во втором дне сухогрузных судов и в грузовой палубе судов-площадок.

Суммарная ширина вмятин в поперечном сечении судна отдельно для днища, настила второго дна, палубы судов-площадок должна приниматься равной 0,35 ширины судна (второго дна). Вмятина принимается с синусоидальной погибью между рамным продольным и поперечным недеформированным набором с наибольшей стрелкой прогиба в центре вмятины, равной

0,07 длины пролета, но не более 100 мм.

Редукционные коэффициенты φ_p деформированных продольных ребер жесткости с присоединенным пояском определяются в соответствии с требованиями [7].

Редукционные коэффициенты пластин в районе вмятин при продольной системе набора не должны приниматься больше редукционных коэффициентов продольных деформированных ребер жесткости.

Редукционные коэффициенты пластин в районе вмятин при поперечной системе набора определяются согласно табл. 5.1. Редукционные коэффициенты пластин определяются для толщин, равных средним остаточным толщинам.

Для обеспечения общей прочности судна по предельному моменту $M_{пр.и}$ с учетом износов и местных остаточных деформаций связей корпуса должно выполняться условие

$$M_{пр.и} \geq k_{и} M_p ,$$

где $k_{и}$ - коэффициент запаса прочности по предельному моменту с учетом износов и местных остаточных деформаций связей корпуса;

Значения коэффициента $k_{и}$ конце срока службы судна принимаются равными;

- 1 для кромки эквивалентного бруса, жесткие связи которой не несут местной нагрузки и в днище $|\sigma| \leq 0,88 \sigma_T$, то $k_{и} = 1,10$;
- 2 для кромки эквивалентного бруса, жесткие связи которой несут поперечную нагрузку, $k_{и} = 1,25$.

- 3 если поперечная нагрузка на палубу отсутствует, а $0,88 \sigma_T \leq |\sigma|_{днище} \leq \sigma_T$, то $k_{и} = 1,5 \frac{|\sigma|_{днище}}{\sigma_T}$.

Для грузовых судов общая прочность судна по предельному моменту $M_{пр.и}$ с учетом износов и местных остаточных деформаций связей корпуса должна быть проверена

$$M_{пр.и} \geq k_{пр.и} DL \quad (25)$$

где $k_{пр.и}$ – коэффициент предельного момента с учетом износов и местных остаточных деформаций связей корпуса [7].

Значения коэффициента $k_{пр.и}$ конце срока службы судна принимаются по табл. 5.4.

Таблица 5.4

Тип судна	Значение коэффициента $k_{пр}$ при длине судна, м				
	20	60	80	100	140
Грузовые самоходные .	0,055	0,045	0,033	0,027	0,023
Сухогрузные несамоходные	0,045	0,035	0,023	0,018	0,015
Наливные баржи . .	0,036	0,024	0,016	0,013	0,010

Для удовлетворения условий (24) и (25) в конце срока службы судна допускается уменьшать значения расчетного изгибающего момента M_p за счет введения ограничений по высоте волны, по грузоподъемности, по количеству слоев груза, по степени неравномерности распределения груза, изменения класса судна и т. п. В соответствии с техническим заданием на проектирование.

Удовлетворение условий (24) и (25) в конце срока службы судна путем замены обшивки, настилов и набора может быть допущено только в соответствии с указанием технического задания на проектирование.

5.2 Морские суда

5.2.1. Общая продольная прочность корпуса морского судна проверяется:

а) по критерию эксплуатационной (усталостной) прочности от многократного изгиба корпуса на волнении под действием волновой составляющей изгибающего момента M_B и изгибающего момента на тихой воде M_{TB1} ;

б) по предельному состоянию на изгиб при действии максимально возможной величины суммы расчетных значений (в приведенных ниже зависимостях за исключением особо оговариваемых случаев общие нагрузки на корпус судна входят абсолютными значениями без учета традиционного правила знаков, согласно которому перегибающий изгибающий момент имеет положительный знак, а прогибающий отрицательный) волновой составляющей изгибающего момента M_{B2} , составляющей M_V от удара о волну днищем и развалами носовой оконечности, а также изгибающего момента на тихой воде M_{TB2} при перегибе и прогибе судна соответственно на вершине и подошве расчетной волны;

в) по предельному состоянию на срез при действии максимально возможной суммы расчетных значений перерезывающих сил, соответствующих указанным в п. «б» составляющим изгибающего момента.

В особых случаях при проверке общей прочности может потребоваться учет дополнительных составляющих общей нагрузки корпуса судна — горизонтального изгибающего момента M_G и крутящего M_K .

Расчеты общей прочности по указанным выше критериям выполняются для всех наиболее неблагоприятных случаев загрузки, предусмотренных расчетами начальной Остойчивости и посадки судна, при которых возможны наименьшие запасы прочности в проверяемых поперечных сечениях корпуса.

5.2.2. Проверка по критерию эксплуатационной (усталостной) прочности. Она производится в соответствии с зависимостью:

$$\frac{K_B \cdot |M_{B1}| + K_{TB1} |M_{TB1}|}{W - \Delta W} \cdot 10^3 \leq \sigma_D, \quad (25)$$

где W - момент сопротивления рассматриваемого поперечного сечения нового корпуса (см^3), определяемый относительно крайних по высоте продольных связей корпуса без учета редуцирования продольных связей от сжатия.;

ΔW изменение W в результате износа продольных связей к середине срока службы;

M_{B1} волновой изгибающий момент (кН-м), определяемый при $h_i = h_1$; Обеспеченность $Q=10^{-5}$,

M_{TB1} величина M_{TB} (кН·м), определяемая как наибольшая из возможных при реальном расположении груза величин, приводящих к растяжению (значения M_{TB} вызывающие сжатие этой связи, должны рассматриваться если по абсолютной величине они превышают величины M_{TB} , вызывающие растяжение, более чем в 1,4 раза) связи, для которой определено W ;

K_B - коэффициент, учитывающий влияние высоко частотных напряжений:

$$K_B = 0,95 \left[1 + 0,04 \cdot c \left(\frac{LF_r^B}{\psi D} \right)^2 \cdot \left(\frac{L}{200} \right)^{1,5} \right] \geq 1$$

c - коэффициент влияния формы носовой оконечности определяемый:
при обычных обводах носовой оконечности (без бульба)

$$c = \alpha_H^2 (0,5 + 2 \sin \beta) \geq \alpha_H^2 ,$$

при бульбовой форме носовой оконечности

$$c = \alpha_H^2 (1 + \alpha_H^2)$$

α_H - коэффициент полноты носовой части летней грузовой ватерлинии (от носового перпендикуляра до миделя) ;

β - угол между касательной к шпангоуту и вертикалью на уровне летней грузовой ватерлинии в сечении, расположенном на $0,1L$ от носового перпендикуляра;

$$\psi = \frac{W_{\otimes}}{W_0} ,$$

где

$$W_0 = C_W B L^2 (C_B + 0,7) , \text{ см}^3 \quad (26)$$

$$C_W = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \leq 10,75$$

W_{\otimes} – величина W на миделе (при различии значений W для разных сечений в районе миделя, под величиной W_{\otimes} понимается значение W , осредненное в пределах $0,4L$ средней части длины судна) , см^3 .

Коэффициент K_{TB1} в выражении (25) при определении W :
для растянутых на тихой воде продольных связей корпуса

$$K_{TB1} = 0,25 \left(\frac{|M_{TB1}|}{M_{TB}^*} + 1 \right) \geq 0,7$$

для сжатых на тихой воде связей

$$K_{TB} = 0,25 \left(\frac{|M_{TB1}|}{M_{TB}^*} + 1 \right) \geq 0,5$$

где

$$M_{TB}^* = 0,07 K_C W_0 , \text{ (кН·м)} \quad (27)$$

$$K_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} \leq 1$$

Допускаемые напряжения:

$$\sigma_{\text{д}} = 0,4K_{\text{д}} \left[1 + 0,06 \left(\frac{L}{100} \right)^{1,5} \right] AK_{\text{э}} \cdot \sigma_T \quad (28)$$

$K_{\text{д}}$ - коэффициент хрупкого разрушения пластины, равный:

$K_{\text{д}}=1$ – для верхних связей корпуса;

$K_{\text{д}}=0,95$ - для днища при его одинарной конструкции;

$K_{\text{д}}=0,90$ - для днища при наличии двойного дна.

Величина :

$$A = 1 + \left[1 - \left(\frac{K_{\text{TB1}} |M_{\text{TB}}^{\text{MAX}} - M_{\text{TB}}^{\text{MIN}}|}{2M_{\Sigma}} \right)^{1,5} \right] \frac{K_{\text{TB1}} \cdot M_{\text{TB1}}}{M_{\Sigma}}$$

$$M_{\Sigma} = K_B M_{B1} + K_{\text{TB1}} M_{\text{TB1}},$$

где $M_{\text{TB}}^{\text{MAX}}$ и $M_{\text{TB}}^{\text{MIN}}$ максимальная и минимальная из возможных величин M_{TB} в рассматриваемом сечении в условиях эксплуатации судна в различных грузовых состояниях с учетом правила знаков (+ для перегиба, - для прогиба судна на тихой воде);

$K_{\text{э}}$ - коэффициент учитывающий непропорциональность эксплуатационной усталостной прочности конструкций пределу текучести материала :

$$K_{\text{э}} = \frac{1}{1 + 0,5 \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_T^{\text{MIN}}} - 1 \right)^{1,5}}, \quad (29)$$

$$\sigma_T^{\text{MIN}} = 235, \text{ МПа}$$

При включении в эквивалентный брус корпуса надстроек, распределение напряжений по высоте которых не соответствует гипотезе плоских сечений, под величиной W в левой части выражения (25) следует понимать соотношение:

$$W = \frac{M}{\sigma_{\text{MAX}}} \cdot 10^3, \text{ см}^3 \quad (29a)$$

где M - расчетный изгибающий момент в рассматриваемом поперечном сечении корпуса судна с надстройкой ;

σ_{MAX} соответствующее величине M значение наибольших в этом сечении нормальных напряжений, определенных по специальной методике, учитывающей действительную степень участия продольных связей надстройки в общем изгибе корпуса.

При применении для надстроек алюминиевых сплавов величина W , вычисленная по (29a) с учетом влияния на напряжения в продольных связях надстройки модуля упругости материала, должна удовлетворять условию (25). При этом, в случае отсутствия других рекомендаций, следует полагать в выражении (28) $K_{\text{д}} = 0,9$, а в (29) $\sigma_T^{\text{MIN}} = 120$ МПа.

5.2.3. Проверка по критерию статической предельной прочности.

Проверка общей прочности по предельному состоянию должна показать, что как при прогибе, так и перегибе корпуса судна на волне в грузу и балласте отношение предельного изгибающего момента корпуса к наибольшему расчетному суммарному изгибающему моменту удовлетворяет условию:

$$K_{\phi} = \frac{M_{np}}{|M_{B2} + M_{\nu} + M_{TB2}|} \geq K_{MIN} \cdot K_K, \quad (30)$$

где M_{np} - предельный изгибающий момент для корпуса судна;

K_{MIN} - минимальный коэффициент запаса, равный:

1,15 - при прогибе корпуса;

1,25 - при его перегибе.

Коэффициент K_K при перегибающих изгибающих моментах принимается равным:

$$K_K = 0,9 + 0,1 \frac{M_{TB2}}{M_{TB}^*} \geq 1,$$

где M_{TB}^* - определяется зависимостью (27)

При прогибающих M_{TB2} во всех случаях:

$$K_K = 1$$

Величина слеминга, а именно M_{ν} при прогибе судна на подошве расчетной волны:

$$M_{\nu} = 0,7M_{\nu}^D + M_{\nu}^B \geq 0,1M_{B2}^{PB},$$

где M_{B2}^{PB} - величина M_{B2} на подошве волны.

При перегибе судна на вершине расчетной волны во всех случаях полагается:

$$M_{\nu} = 0,1M_{B2}^{BB}$$

Величина M_{np} в условии (30) определяется согласно зависимости:

$$M_{np} = \sigma_T^H \cdot W_T^H, \quad (31)$$

где σ_T^H - нормативная величина предела текучести материала верхних крайних по высоте жестких продольных связей проверяемого поперечного сечения, включаемых в поперечное сечение корпуса, МПа. Величина

$$\sigma_T^H = K_H \cdot \sigma_T,$$

$$K_H = \frac{1}{1 + 0,16 \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_T^{MIN}} \right)^{1,5}},$$

$$\sigma_T^{MIN} = 235 \text{ МПа.}$$

В случае, если критические (исправленные эйлеровые) напряжения σ_{KP}^B верхних жестких продольных связей корпуса в условиях их сжатия меньше σ_T^H , величина M_{np} для соответствующих условий нагружения корпуса определяется согласно зависимости:

$$M_{np} = \sigma_{KP}^B W_T^{\Pi}, \quad (32)$$

При этом в указанных зависимостях (31 – 32) W_T^{Π} – предельный момент сопротивления проверяемого поперечного сечения корпуса, определяемый для его крайних верхних продольных связей с учётом редуцирования теряющих устойчивость гибких продольных связей под действием сжимающих усилий от общего изгиба, а так же износа продольных связей к середине расчётного срока эксплуатации судна.

Величина W_T^{Π} связана с аналогичной характеристикой нового корпуса W_{TO}^{Π} , определяемой без учёта износа связей, зависимостью

$$W_T^{\Pi} = W_{TO}^{\Pi} (1 - \Delta \bar{W}_{\varnothing}) - \Delta W_T^{\Pi}$$

где $\Delta \bar{W}_{\varnothing}$ – относительное изменение предельного момента сопротивления W_{TO}^{Π} , вызванное снижением устойчивости гибких связей вследствие их износа;

ΔW_T^{Π} – изменение W_{TO}^{Π} в результате износа продольных связей.

Порядок определения $\Delta \bar{W}_{\varnothing}$ и ΔW_T^{Π} указан в приложении I Регистра [6]. Редуцирование гибких продольных связей при определении величины W_{TO}^{Π} производится при значениях сжимающих напряжений, соответствующих действию в крайних верхних жёстких продольных связях напряжений σ_T^H , либо σ_{KP}^B , если W_{TO}^{Π} находится для условий сжатия верхних продольных связей корпуса и $\sigma_T^H > \sigma_{KP}^B$.

Предельный момент сопротивления корпуса с надстройкой определяется с учётом степени участия её связей в продольном изгибе, оцениваемом специальным расчётом.

Для надстроек, выполненных из алюминиевых сплавов, величина:

$$\sigma_T^H = 0,9\sigma_T$$

Наряду с (30), необходима дополнительная проверка условия:

$$\frac{W_T^{\Delta}}{W_T^{\Pi}} \geq \frac{\nu \cdot K_{MIN} \cdot K_K \cdot (\sigma_T^H)_n}{K_{\Phi} \cdot (\sigma_T^H)_o}, \quad (33)$$

где W_T^{Δ} – аналогичная W_T^{Π} характеристика прочности, определяемая для верхней кромки горизонтального киля;

$\nu = 1,05$ - для судов с одинарным дном;

$\nu = 1,10$ - для судов с двойным дном;

K_{Φ} фактический коэффициент запаса в соответствии с расчётом по формуле (30):

$\frac{(\sigma_T^H)_n}{(\sigma_T^H)_o}$ - соотношение нормативных пределов текучести крайних продольных связей верхней палубы и днища (в случае их различия).

5.2.4. Проверка по предельному состоянию корпуса на срез производится согласно условию

$$\frac{N_{PP}}{N_{\Pi} + N_{TB}} \geq 1,2 \quad (34)$$

N_{Π} – «переменная» составляющая перерезывающей силы, определяемая волновой и

ударной составляющей внешних сил (34а);

Расчетные величины перерезывающих сил от переменных составляющих нагрузок определяются на основании зависимости:

$$N_{II} = \frac{3,5}{L} \left[(M_{B2} + 0,7M_Y^D) \varphi_N(x) + 1,2M_Y^B \varphi_N^B(x) \right] \geq \frac{4}{L} M_{B2} \cdot \varphi_N(x) \quad (34a)$$

где $\varphi_N(x)$ и $\varphi_N^B(x)$ – учитывают изменение соответствующих составляющих перерезывающей силы по длине судна (рис 3.6);

M_{B2} – (1) определяется на миделе;

M_Y^D и M_Y^B – (9) и (13) при $\varphi_M(x) = 1$.

N_{TB} – максимально возможная в рассматриваемом поперечном сечении корпуса перерезывающая сила от нагрузки судна на тихой воде;

N_{PP} – предельная величина перерезывающей силы для данного поперечного сечения корпуса, определяемая по формуле:

$$N_{PP} = 0,5\sigma_M^H \Omega ,$$

где Ω – суммарная величина площади поперечных сечений обшивки бортов и продольных переборок в сечениях, для которого осуществляется проверка условия.

При этом определение составляющих величин Ω производится исходя из площади нетто рассматриваемых вертикальных связей с учётом вырезов, уменьшающих площади их поперечных сечений.

5.2.5. При проверке общей прочности судов, имеющих палубные вырезы, ширина которых превышает 70% общей ширины палубы, в соответствии с критерием (30) расчётные значения волновых изгибающих моментов увеличиваются пропорционально коэффициенту:

$$K_{\Sigma 1} = 1 + m_L a \left(\frac{e_0}{B} - 0,7 \right),$$

где $m_L = 1$, при $L'_{PP} = L \left(\frac{1,6D}{B} \cdot \frac{20T_{\otimes}}{L} \right)^2 \leq 200m$;

$$m_L = \left(\frac{L'_{PP}}{200} \right)^{0,5}, \text{ при } L'_{PP} > 200m$$

$a = 0,8 \left(\frac{C_n}{C_{CT}} \right)^{2/3} \leq 1,0$ для судов с одинарными бортами;

$a = 0,5 \left(\frac{C_n}{C_{CT}} \right) \leq 0,65$ для судов с двойными бортами;

C_n – ширина поперечных межлюковых перемычек в указанном районе длины судна;

C_{CT} – ширина палубного стрингера (расстояние между бортом и продольными кромками вырезов).

Для концевых сечений открытой части верхней палубы принимаются наибольшие из указанных значений параметра «а».

При выполнении расчётов напряжений в корпусе при действии крутящего и горизонтального изгибающего моментов, которые могут производиться по специальному указанию Регистра по согласованной с ним методике, результаты расчёта учитываются в описанной выше схе-

ме нормирования прочности определением коэффициента K_{Σ} в соответствии со следующей зависимостью:

$$K_{\Sigma_1} = 0,92 \sqrt{1 + 0,40 \left(0,85 + \frac{L}{600} \right)^2 (\bar{\sigma}_k - \bar{\sigma}_r)^2}, \quad (35)$$

но не менее $K_{\Sigma} = 1$,

$$\bar{\sigma}_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_6}; \quad \bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{\sigma_6}$$

σ_k и σ_r - максимальные нормальные расчётные напряжения от кручения и горизонтального изгиба корпуса судна по продольным кромкам вырезов в пределах средней половины длины корпуса, определяемые без учёта местной концентрации напряжений;

σ_6 - расчётные напряжения от вертикального изгиба корпуса волновым изгибающим моментом.

Напряжения σ_k и σ_r определяются по специальной методике при курсовом угле судна к расчётной волне $\varphi = 60^\circ$ и её длине, равной половине длины судна ($\lambda = L \cos 60^\circ$). Высота расчётной волны при вычислении изгибающих и крутящих моментов для определения всех компонентов напряжений выражения (35) принимается одинаковой (в частности, высота волны в этом случае может быть единичной $h_p = 1$ м).

Величина $\bar{\sigma}_r$ может быть приближённо найдена по формуле:

$$\bar{\sigma}_r = \frac{12,0T_{\otimes}}{L} \cdot \frac{W_n}{W_r} \quad (36)$$

где W_n – момент сопротивления корпуса для его верхней палубы при вертикальном изгибе,

W_r – момент сопротивления корпуса при его изгибе в горизонтальной плоскости, определяемых для ближайших к борту продольных кромок палубных вырезов.

5.2.6. При проверке общей прочности в соответствии с критерием (30) для судов с общей длиной палубных вырезов, превышающих 70% общей ширины палубы, величина предельного изгибающего момента, определяемого согласно выражениям (31) и (32), уменьшается пропорционально коэффициенту:

$$K_{\Sigma_2} = 1,05 \left[1 - \left(\frac{1,25M_P^{CT}}{M_{PP}^{CT}} \right)^{1,5} \right] \leq 1, \quad (37)$$

где M_P^{CT} – расчётный изгибающий момент в изгибающих сечениях палубного стрингера в районе поперечных кромок палубных вырезов, вызванный опорными реакциями бортового перекрытия от действующих на него внешних нагрузок (внутреннее противодействие не учитывается);

M_{PP}^{CT} – предельный изгибающий момент для палубного стрингера, рассматриваемого в виде балки, работающей на изгиб в своей плоскости.

Величина

$$M_{PP}^{CT} = \sigma_T^H \cdot W_{PP}^{CT},$$

Здесь M_{PP}^{CT} – предельный момент палубного стрингера, определяемый с учетом присоединенных поясков бортовой обшивки и внутреннего борта (в случае его наличия).

Ширина присоединенных поясков принимается равной $e_B = \frac{1}{12} l_{CT}$

где l_{CT} – длина свободного пролета палубного стрингера.

Внешние нагрузки, определяющие величины M_P^{CT} и N_P^{CT} , находятся в соответствии с рекомендациями [6] при высоте расчетной волны $h_i = h_2$.

Для корпусов судов, не имеющих большие палубные вырезы, а также замкнутого типа с величиной приведенной длины:

$$L_{PP}'' = L \left(\frac{1,6D}{B} \cdot \frac{20d}{L} \right)^3 > 200,м$$

выполняется оценка величины $K_{\Sigma 1}$ согласно (35) при $\bar{\sigma}_k = 0$ и $\bar{\sigma}_T$ по (36). При $K_{\Sigma 1} > 1,0$ учет этого коэффициента в расчетах общей прочности производится в соответствии с указанным в 5.2.5.

6. РАСЧЕТЫ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ СВЯЗЕЙ КОРПУСА.

Объем расчетов должен быть согласован с руководителем проекта. Во всех случаях расчетом должны быть охвачены основные связи палубы, днища бортов и переборок. Нагрузки на связи должны выбираться в соответствии с требованиями Регистров [6,7].

Проверка местной прочности для судов внутреннего плавания и морских судов имеет существенные различия в связи со спецификой эксплуатационных нагрузок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании произведенных расчётов в конце пояснительной записки должно быть сделано заключение об общей и местной прочности судна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давыдов В.В., Маттес И.В., Сиверцев И.Н., Трянин И.И. Прочность судов внутреннего плавания: Справочник. М.; Транспорт, 1978.
2. Евстифеев В.А. Основные характеристики и данные по массе транспортных судов внутреннего, смешанного и морского плавания; Метод. указания к курсовому и дипломному проектам / ГПИ. Горький, 1985.
3. Школьников Г.В. Проектирование судов: Учебно-метод. пособие по курсовому проекту / ГПИ. Горький, 1977.
4. Справочник по строительной механике корабля. Т.3. Л.: Судпромгиз. 1960.
5. Волков В.М. Прочность корабля. НГТУ, Н.Новгород, 1995.
6. Нормы прочности морских судов (временная редакция). Л.; ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, 1985.
7. Российский Речной Регистр. Правила т.1 и т.3. М. 1995.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Характеристики	I.Сухогрузные теплоходы внутреннего плавания (№№ проектов)							
	791	17431	5076	1565	576	936	765A	21-88
Год постройки	1962	1986	1963	1966	1955	1965	1956	1962
Класс Регистра	★М(лед)	★М-ПР(лед)	★О(лед)	★О(лед)	★О(лед)	★О	★О	★О
Грузоподъемность, т	2700	2100	5300	5000	2000	1250	600	2000
Длина расч. L , м	110,2	105,0	135,0	135,0	90,0	83,0	62,0	100,0
Ширина B , м	13,0	14,8	16,5	16,5	13,0	11,0	9,2	12,2
Высота борта H , м	5,5	5,0	5,5	5,5	4,8	4,0	2,8	4,9
Мощность Ne , кВт	2x485	2x514	2x662	2x662	2x368	2x404	2x110	2x386
Скорость хода, км/ч	20,0	19,4	20,0	19,7	19,5	21,0	15,0	20,0
Автон.(сут.)/экипаж.(чел.)	15/14	15/11	20/19	15/20	12/28	10/13	5/14	12/16
$K_K = m'_K / LBH$, т/м ³	0,121	0,170	0,084	0,120	0,103	0,100	0,146	0,109
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	0,110	0,099	0,112	0,098	0,094	0,079	0,068	0,090
В балласте								
Водоизмещение, т	2770	2870	2930	3810	1380	626	263	1212
Осадки $\frac{T_H}{T_K}$, м	<u>2,10</u>	<u>1,90</u>	<u>0,72</u>	<u>1,74</u>	<u>1,02</u>	<u>0</u>	<u>-0,09</u>	1,30
M_{TB} , кНм	39200	17360	80150	35300	31800	21290	10300	-
N_{TB} , кН	-1450	-775	-2680	-1140	-	980	-	-
Балласт m_B , т	1620	1600	-	2200	-	-	-	541
В грузу								
Водоизмещение, т	3958	3370	6730	6750	2750	2250	854	2800
Ср.осадка T_{CP} , м	3,35	2,63	3,52	3,53	2,85	2,40	1,85	2,81
M_{TB} , кНм	13800	11970	-120100	-105500	5180	-12260	-	-
N_{TB} , кНм	530	-696	-3270	3660	-	-597	-	-

Таблица 1 (продолжение)

Характеристики	I. Сухогрузные теплоходы внутреннего плавания (№№ проектов)							
	P25Б	P25А	1000/800	2036	912Б	926	284	890
Год постройки	1977	1968	1961	1963	1964	1960	1954	1962
Класс Регистра	★О	★О	★О	★Р	★Р	★Р	★Р	★Р
Грузоподъемность, т	1800	1300	1000	1000	350	300	200	150
Длина расч. L , м	96,0	85,0	78,0	85,0	61,5	50,8	53,5	42,0
Ширина B , м	12,5	12,5	11,0	12,5	9,0	7,0	8,0	7,5
Высота борта H , м	3,4	3,4	3,7	3,4	2,2	2,2	3,0	2,0
Мощность N_e , кВт	2x425	2x294	2x294	2x294	3x110	110	2x167	110
Скорость хода, км/ч	19,7	18,0	18,5	19,2	18,5	13,5	21,0	12,8
Автон.(сут)/экипаж(чел.)	15/11	15/11	15/15	15/11	10/7	7/6	5/14	8/7
$K_K = m'_K / LBH$, т/м ³	0,133	0,117	0,161	0,101	0,155	0,144	0,148	0,170
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	0,075	0,101	0,105	0,092	0,087	0,091	0,099	0,082
В балласте								
Водоизмещение, т	606	481	636	421	218	123	237	115
Осадка T_H / T_K , м	-	-	1,03	0,54	-	0,45	-	0,47
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-
Балласт m_B , т	-	-	-	260	-	-	-	-
В грузу								
Водоизмещение, т	2463	1834	1636	1502	591	430	456	274
Ср. осадка T_{CP} , м	2,44	2,05	2,4	1,80	1,30	1,41	1,37	1,07
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2

Характеристики	2.Суда-площадки внутреннего плавания (№№ проектов)							
	P97	759А	900А	P19 (катамаран)	825 (катамаран)	559Б	P86А	272Т
Год постройки	1977	1962	1968	1969	1961	1963	1968	1964
Класс Регистра	★М	★М	★О	★О	★О	★О	★Р	★Р
Грузоподъемность,т	1930	600	3500	1000	600	1200	1000	800
Длина расч. L ,м	90,0	63,0	113,0	93,0	71,8	80,0	78,0	65,2
Ширина B ,м	15,0	10,0	16,0	15,64/6,02	15,0/5,76	15,0	15,0	14,0
Высота борта H ,м	2,8	2,8	4,0	4,4	3,0	2,8	2,0	2,0
Мощность Ne ,кВт	2x294	2x165	2x853	2x662	2x397	2x294	2x165	2x294
Скорость хода,км/ч	16,9	-	-	27,0	24,5	16,6	14,1	18,9
Автон.(сут)/экипаж(чел.)	10/12	-	-	10,9	5/11	6/12	8/9	10/9
$K_K = m'_K / LBH, т/ м^3$	0,135	0,099	0,107	0,212	0,218	0,103	0,153	0,106
$K_M = m_M / Ne, т/кВт$	0,101	-	-	0,090	0,073	0,094	0,091	0,080
В балласте								
Водоизмещение,т	570	479	3185	674	426	402	424	240
Осадки T_H / T_K ,м	-	0,995	2,26	1,55	0,93	0,46	0,44	-
M_{TB} ,кНм	-	-	-	38160	16600	-	-	-
N_{TB} ,кН	-	-	-	-	-	-	-	-
Балласт m_B ,т	-	-	-	-	-	-	-	-
В грузу								
Водоизмещение,т	2543	843	4700	1764	979	1632	1446	1084
Ср.осадка T_{CP} ,м	2,25	1,76	3,2	2,96	1,87	1,71	1,40	1,5
M_{TB} ,кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} ,кН	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 3

Характеристики	3. Танкеры внутреннего плавания							
	558	P77	587	576Т	1574Б	1754	P42М	868
Год постройки	1963	1972	1957	1958	1967	-	1966	1960
Класс Регистра	★М	★М	★О	★О	★О	★Р	★О	★Р
Грузоподъемность, т	5000	2150	3300	2800	1500	1000	600	150
Длина расч. L , м	128,6	105,0	107,5	106,8	86,1	85,0	62,0	42,0
Ширина B , м	16,5	14,8	13,0	13,0	12,5	12,5	9,2	7,0
Высота борта H , м	5,5	4,4	4,8	4,8	3,2	2,5	2,8	2,2
Мощность Ne , кВт	2x735	2x485	2x362	2x362	2x294	2x294	2x165	110
Скорость хода, км/ч	19,6	19,0	18,0	18,8	17,5	18,0	16,5	14,0
Автож. (сут.) / экипаж	7/18	15/13	12-16/21	12-12/20	14/11	20/15	8/9	10/6
$K_K = m'_K / LBH$, т/м ³	0,104	0,121	0,103	0,093	0,110	0,116	0,184	0,306
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	0,098	0,113	0,151	0,095	0,101	0,098	0,124	0,155
В балласте								
Водоизмещение, т	2690	938	1690	1846	625	542	336	115
Осадки T_H / T_K , м	-	0,78	0,8/2,1	1,02/2,25	0,6	0,68	0,92	0,52
M_{TB} , кНм	-74850	-	-	49440	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-2650	-	-	-1697	-	-	-	-
Балласт m_B , т	1330	-	-	-	184	-	-	-
В грузу								
Водоизмещение, т	6460	3216	4330	3783	2134	1780	965	272
Ср. осадка T_{CP} , м	3,52	2,5	3,55	3,16	2,35	1,98	2,1	1,15
M_{TB} , кНм	-	-	-77500	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	3230	-	-	-	-	-

Таблица 4

Характеристики	4. Буксиры внутреннего плавания							
	P16A	07521	H3181	10	P33Б	P103A	P131	P14
Год постройки	1967	1986	1981	1948	1970	1973	1977	1972
Класс Регистра	★М(лед)	★М(лед)	★О(лед)	★О(лед)	★Р(лед)	★О(лед)	★О(лед)	★Р(лед)
Грузоподъемность, т	-	-	-	-	-	-	-	-
Длина расч. L , м	41,0	47,0	46,3	37,2	32,0	20,0	32,5	28,4
Ширина B , м	9,0	10,2	9,2	7,4	7,6	6,6	8,0	6,6
Высота борта H , м	4,4	3,5	3,5	3,0	2,5	2,3	3,1	1,8
Мощность Ne , кВт	2x485	2x515	2x515	2x220	2x220	2x110	2x294	2x165
Скорость хода, км/ч	21,8	21,6	21,6	21,6	17,1	17,0	20,5	16,1
Автоном./экипаж	10/21	10/12	10/13	10/21	10/12	7/4	5/7	8/13
$K_K = m'_K / LBH, \text{т/м}^3$	0,232	0,271	0,294	0,227	0,192	0,216	0,189	0,212
$K_M = m_M / Ne, \text{т/кВт}$	0,095	0,113	0,121	0,197	0,078	0,117	0,112	0,071
В балласте								
Водоизмещение, т	470	572	563	874,5	150,7	91,4	218,0	94,8
Осадки T_H / T_K , м	-	-	-	-	-	-	-	-
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-
Балласт m_B , т	-	37,0	-	-	-	-	-	-
В грузу								
Водоизмещение, т	547	675	634	319	181,6	104,0	249,6	113,0
Ср. осадка T_{CP} , м	2,8	2,2	2,5	1,8	1,3	1,5	2,0	0,92
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
M_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 5

Характеристики	5. Толкачи-буксиры внутреннего плавания							
	947	4282	Н3290	07520	758AM	1741A	81170	887
Год постройки	1970	1976	1984	1987	1965	1976	1985	1960
Класс Регистра	★О	★О	★О(лед)	★О(лед)	★О	★Р	★О	★О
Грузоподъемность,м	-	-	-	-	-	-	-	-
Длина расч. L ,м	50,5	44,0	50,0	41,0	38,5	31,0	32,0	21,5
Ширина B ,м	13,6	11,6	11,6	10,2	8,2	8,0	10,0	7,8
Высота борта H ,м	4,3	3,3	3,3	3,5	3,2	2,7	2,7	3,0
Мощность N_e ,кВт	2940	1470	1765	1030	588	440	440	440
Скорость хода,км/ч	26,0	23,0	23,0	21,6	20,5	20,7	18,0	18,8
Автоном./экипаж	12/24	12/18	10/16	10/12	15/17	9/11	10/10	5/10
$K_K = m'_K / LBH, т/м^3$	0,245	0,243	0,283	0,318	0,259	0,219	0,260	0,255
$K_M = m_M / N_e, т/кВт$	0,053	0,114	0,116	0,113	0,128	0,073	0,091	0,076
В балласте								
Водоизмещение,т	871	578	748	581	337	186	273,5	162
Осадки T_H / T_K ,м	2,63	-	-	-	1,79	-	-	1,97
M_{TB} ,кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} ,кН	-	-	-	-	-	-	-	-
Балласт m_B ,т	94	-	-	-	-	-	-	-
В грузу								
Водоизмещение,т	1115	702	880	653	408	216	306,6	180
Ср.осадка T_{CP} ,м	3,1	2,13	2,2	2,2	2,0	1,32	1,4	2,11
M_{TB} ,кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} ,кН	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 6

Характеристики	6. Сухогрузные теплоходы смешанного плавания							
	19610	1557	781	488А	1572	15881	613	289
Год постройки	1986	1967	1965	1978	1978	1083	1978	1978
Класс Регистра	КМ★ЛЗПСП	КМ★Л4ПСП	КМ★Л4ПСП	КМ★Л4ПСП	КМ★Л2 I	КМ★Л2 I	КМ★Л2ПСП	КМ★ЛЗПСП
Грузоподъемность,м	5500	2700	2000	3000	4000	4640	2000	1660
Длина расч. L , м	4000							
Ширина B , м	134,0	110,5	92,1	112,5	117,0	117,0	90,2	77,6
Высота борта H , м	16,4	13,0	13,0	13,0	15,0	16,4	13,0	11,75
Мощность Ne , кВт	6,7	5,5	5,5	6,0	6,5	7,5	5,5	5,6
Скорость хода, км/ч	2x970	2x485	2x485	2x640	2x735	2x1100	2x640	2x640
Автоном./экипаж	21,0	19,8	18,7	20,9	21,3	22,6	23,8	22,5
$K_K = m'_K / LBH$, т/м ³	10/24	10/20	10/20	10/20	22/28	20/27	20/23	25/21
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	0,150	0,174	0,155	0,167	0,166	0,196	0,159	0,156
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	0,106	0,107	0,103	0,110	0,105	0,152	0,077	0,079
В балласте								
Водоизмещение, т	4640	2938	2285	3164	4250	5486	1123	900
Осадки $\frac{T_H}{T_K}$, м	1,60	2,11	2,12	-	-	-	-	-
M_{TB} , кНм	3,63	2,93	2,91					
N_{TB} , кН	70340	44640	99910	-	102020	-	-	-
Балласт, т	-2332	-1619	436	-	-	-	-	-
	1906	1590	1168	1560	2200	2436	-	-
В грузу								
Водоизмещение, т	8234	4410	3076	4640	6180	8170	3253	2800
Ср. осадка T_{CP} , м	4,40	3,45	3,30	3,73	4,5	5,5	3,65	4,0
M_{TB} , кНм	-147540	30510	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	5020	1000	-	-	-	-	-	-

Таблица 7

Характеристики	7. Морские сухогрузные теплоходы							
	1585	1586	1597	1594	1593	1590к	16073	1583
Год постройки	1972	1972	1972	1973	1974	1972	1984	-
Класс Регистра	КМ★ЛЗ	КМ★Л2	КМ★Л1	КМ★Л3	КМ★Л2	КМ★УЛ	КМ★УЛ	КМ★Л3
Грузоподъемность, т	9300	5045	4860	47300	95000	5300	4300	10990
Длина L , м	144,6	125,0	118,2	201,6	236,0	119,0	140,0	160,0
Ширина B , м	22,2	17,8	19,2	31,8	38,7	17,3	19,2	24,0
Высота борта H , м	13,4	10,4	10,4	16,8	22,0	8,5	13,1	14,7
Мощность Ne , кВт	7790	4480	4480	10070	17070	4480	4480	8820
Скорость, узл.	18,2	12,5	17,0	15,7	16,0	15,2	15,7	18,1
	12000	9000	6500	15000	25000	9500	12000	12000
Дальн.(миль)/экипаж	46	37	37	58	60	27	32	52
$K_K = m'_K / LBH$, т/м ³	0,141	0,168	0,178	0,110	0,094	0,182	0,164	0,132
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	0,111	0,132	0,144	0,111	0,094	0,133	0,179	0,106
В балласте								
Водоизмещение, т	6922	4470	5290	12830	20540	3730	9010	8390
Осадки T_H / T_K , м	-	-	-	-	-	-	-	-
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-
Балласт, т	-	-	-	-	-	-	2440	-
В грузу								
Водоизмещение, т	17932	12170	11660	62900	125500	10100	12170	21140
Ср.осадка T_{CP} , м	8,1	6,75	7,48	11,7	16,0	6,93	6,60	-
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 8

Характеристики	8. Танкеры морские смешанного плавания							
	“Крым”	“Тиискери”	1598	1577	1677	5666	1570 (нефтегрузовоз)	1560
Год постройки	1975	1972	1980	1967	1984	1955	-	1964
Класс Регистра	КМ★А2	-	КМ★Л3	М-СП	КМ★Л3	КМ★Л3	КМ★Л4	КМ★Л3
Грузоподъемность	150500*	114430*	$\frac{5300}{6800}$	4800	5300	4000	2700	11560
Длина расч. L , м	277,1	258,25	140,0	128,6	140,4	115,5	115,4	138,3
Ширина B , м	45,0	39,0	17,4	16,5	16,6	16,0	13,0	17,4
Высота борта H , м	25,4	20,5	7,5	5,5	6,9	5,5	5,8	11,2
Мощность Ne , кВт	22000	19120	2x1470	2x735	2x1100	2x590	2x485	3680
Скорость хода, узл.	16,0	17,0	12,9	10,8	11,2	10,4	10,9	13,3
Автоном./экипаж	25000** / -	-	30/28	7/22	15/18	10/30	10/20	6000** /30
$K_K = m'_K / LBH$, т/м ³	-	-	0,153	0,115	0,129	0,167	0,160	0,139
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	-	-	0,158	0,118	0,124	0,144	0,126	0,133
В балласте								
Водоизмещение, т	-	20520	6710	4340	2350	4074	1519	4250
Осадки T_H / T_K , м	-	-	-	2,10/2,72	-	2,05/3,58	-	-
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	42180	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-
Балласт, т	-	-	3440	2764	-	-	-	-
В грузу								
Водоизмещение, т	182000	-	10800	6530	8069	6057	4370	16570
Ср.осадка T_{CP} , м	17,0	14,0	5,3	3,60	4,0	4,0	3,54	8,0
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-97400	-	-135400
N_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	4310	-	8400

Таблица 8 (продолжение)

Характеристики	8. Танкеры морские и смешанного плавания							
	1559	573	1552	12990	Нисеки Мару	Глобтик Токио	Батиллус	Фабиан
Год постройки	1967	1959	1963	1981	1972	1974	1976	-
Класс Регистра	КМ★Л2	КМ★Л2	КМ★Л2	КМ★Л3				
Грузоподъемность	13615	27430	47270	64000	376698*	483600*	554000*	285700*
Длина расч. L , м	150,0	188,0	214,0	288	330,0	360,0	401,1	330,7
Ширина B , м	21,4	25,8	31,0	32,2	54,5	62,0	63,0	51,8
Высота борта H , м	11,2	13,7	15,4	18,0	35,0	36,0	35,9	28,4
Мощность Ne , кВт	6600	6600	13470	13600	29420	33100	2x23830	25370
Скорость хода, узл.	16,6	19,0	17,5	15,8	15,45	15,6	16,7	15,6
	10000	10500	10500	16000	18150	24000	-	-
Дальность, мили/экипаж	38	78	76	36	31	38	38	34
$K_K = m'_K / LBH$, т/м ³	0,136	0,120	0,119	0,108	-	-	-	-
$K_M = m_M / Ne$, т/кВт	0,136	0,079	0,082	0,132	-	-	-	-
В балласте								
Водоизмещение, т	5800	9060	13330	38640	52978	67239	-	37270
Осадки T_H / T_K , м	-	-	-	-	-	-	-	-
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-
Балласт, т	-	-	-	22580	74000м ³	-	-	11700м ³
В грузу								
Водоизмещение, т	22100	40150	63900	83920	425676	550000	-	-
Ср. осадка T_{CP} , м	8,90	10,7	11,85	13,6	27,04	28,2	28,6	22,14
M_{TB} , кНм	-	-	-	-	-	-	-	-
N_{TB} , кН	-	-	-	-	-	-	-	-