

ПРАВИЛА

КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ

ЧАСТЬ II

КОНСТРУКЦИЯ И ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА

НД № 2-020101-158



Санкт-Петербург
2023

ПРАВИЛА КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ

Правила классификации и постройки высокоскоростных судов Российского морского регистра судоходства (РС, Регистр) утверждены в соответствии с действующим положением и вступают в силу 1 марта 2023 года.

Настоящее издание Правил составлено на основе издания 2018 года с учетом изменений и дополнений, подготовленных непосредственно к моменту переиздания.

В Правилах учтены процедурные требования, унифицированные требования, унифицированные интерпретации и рекомендации Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) и соответствующие резолюции Международной морской организации (ИМО).

Правила состоят из следующих частей:

- часть I «Классификация»;
- часть II «Конструкция и прочность корпуса»;
- часть III «Устройства, оборудование и снабжение»;
- часть IV «Остойчивость»;
- часть V «Запас плавучести и деление на отсеки»;
- часть VI «Противопожарная защита»;
- часть VII «Механические установки»;
- часть VIII «Системы и трубопроводы»;
- часть IX «Механизмы»;
- часть X «Котлы, теплообменные аппараты и сосуды под давлением»;
- часть XI «Электрическое оборудование»;
- часть XII «Холодильные установки»;
- часть XIII «Материалы»;
- часть XIV «Сварка»;
- часть XV «Автоматизация»;
- часть XVI «Спасательные средства»;
- часть XVII «Радиооборудование»;
- часть XVIII «Навигационное оборудование»;
- часть XIX «Сигнальные средства»;
- часть XX «Оборудование по предотвращению загрязнения»;
- часть XXI «Суда для перевозки персонала».

ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕНЕНИЙ¹

(изменения сугубо редакционного характера в Перечень не включаются)

Изменяемые пункты/главы/ разделы	Информация по изменениям	№ и дата циркулярного письма, которым внесены изменения	Дата вступления в силу
Пункт 5.3.13.3	Пункт исключен	—	01.03.2023
Рисунок 5.2.8	Редакционная правка от 16.03.2023: рисунок заменен в связи с выявленной опечаткой	—	01.03.2023

¹ Изменения и дополнения, внесенные при переиздании или путем выпуска новых версий на основании циркулярных писем или изменений редакционного характера.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Область распространения.

1.1.1 Правила классификации и постройки высокоскоростных судов¹ распространяются на морские транспортные скоростные суда (глиссирующие суда, суда на подводных крыльях — СПК, суда на воздушной подушке — СВП, скоростные катамараны) и устанавливают требования, предъявляемые к конструктивному оформлению и прочности этих судов, находящихся под техническим наблюдением Регистра.

1.1.2 Настоящие Правила распространяются на СПК с двумя (носовым и кормовым) или тремя (носовым, средним и кормовым) подводными крыльями, а также на амфибийные и скеговые СВП водоизмещением до 200 т.

Настоящие Правила распространяются на СПК и СВП, обладающие возможностью движения в водоизмещающем положении на волнении не выше 5 баллов ($h_{3\%} \leq 3,5$ м) и в основном эксплуатационном режиме (на крыльях или на подушке) на волнении $h_{3\%} \leq 3,0$ м при скорости хода, соответствующей числам Фруда $F_{r\Delta} \leq 4,5$.

В настоящей части принято, что соотношения размерений СПК и СВП не выходят за пределы:

по отношению длины судна к его ширине

$L/B > 4$ — для СПК,

$L/B > 3$ — для СВП;

по отношению длины воздушной подушки к ее ширине

$2,5 \leq L_{ac}/B_{ac} \leq 5,0$;

по отношению высоты скега к длине воздушной подушки

$0,068 \leq H_{sw}/L_{ac} \leq 0,078$;

по отношению ширины скега к ширине судна

$B_{sw}/B \leq 0,2$.

1.1.3 Настоящие Правила распространяются также на глиссирующие суда с обычной гидродинамической компоновкой (с клиновидной формой поперечных сечений) и на суда с воздушной каверной на днище (глиссирующие суда, имеющие в средней и кормовой частях специальную профилировку днища, предназначенную для создания в основных эксплуатационных режимах искусственной воздушной каверны, ограниченной по бортам стенками — скегами). Настоящие Правила применяются к глиссирующим судам, скорость хода которых соответствует числам Фруда по водоизмещению $1,0 \leq F_{r\Delta} < 5,0$, а отношение расчетной длины к ширине корпуса на миделе лежит в пределах от 3,5 до 7,0.

1.1.4 Настоящие Правила распространяются на скоростные катамараны водоизмещением до 2000 т и относительной скоростью хода (числом Фруда $F_r = V/\sqrt{gL}$) от 0,2 до 1,2.

1.1.5 Настоящие Правила распространяются на суда, параметры которых не выходят за следующие пределы:

по отношению длины судна к высоте борта

$5 \leq L/D \leq 20$;

по жесткости корпуса при изгибе

$I_{\otimes}/(BL^3) > 3 \times 10^{-7}$.

1.1.6 Головное судно каждого проекта с целью проверки прочности корпуса и специальных устройств должно быть испытано в условиях, предусмотренных программой испытаний. Программа испытаний, включающая последовательность и объем их проведения (включая объем необходимых измерений), методика обработки данных, полученных при испытаниях, а также проверочные расчеты прочности, согласовываются с Регистром. Испытания проводятся до сдачи судна в эксплуатацию. Результаты испытаний должны быть представлены Регистру на согласование.

¹ В дальнейшем — настоящие Правила.

1.1.7 Размеры связей, обеспечивающих прочность корпуса судна, конструкция и главные размерения которого не регламентируются настоящими Правилами, могут быть определены по методикам, одобренным Регистром, в том числе с использованием требований стандартов ИСО, например, стандарт ИСО 12215.

1.2 Определения и пояснения.

1.2.1 Определения и пояснения, относящиеся к общей терминологии, приведены в 1.1 части I «Классификация» настоящих Правил и в части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов¹.

1.2.2 В настоящей части дополнительно приняты следующие определения:

Гибкий ресивер — верхняя часть конструкции ГО, представляющая собой сообщающуюся с ресивером эластичную емкость с отверстиями для истечения воздуха в нижней части или без них.

Диафрагма — изготовленная из эластичного материала плоская воздухопроницаемая конструкция, установленная вдоль образующей гибкого ресивера, соединяющая его с корпусом судна и служащая для придания гибкому ресиверу необходимой формы.

Критические проектные условия — природные условия, более жесткие, чем наихудшие допускаемые условия, с параметрами, согласованными с Регистром для судна в зависимости от его типа и района эксплуатации.

Крыльевые устройства (КУ), включающие носовое крыльевое устройство (НКУ), среднее крыльевое устройство (СКУ), и кормовое крыльевое устройство) — конструкции, состоящие из основных и вспомогательных (стартовых) несущих поверхностей, стабилизаторов, стоек и кронштейнов и служащие для обеспечения основного эксплуатационного режима движения СПК.

Навесная система набора — система набора корпуса, при которой рамные связи располагаются поверх балок основного набора и присоединяются к ним, а также с помощью проставок к обшивке.

Наихудшие допускаемые условия — природные условия, в пределах которых допускается эксплуатация судна. Эти условия определяются следующими параметрами: допускаемыми силой ветра и высотой волны 3%-ной обеспеченности, минимальной температурой воздуха, видимостью, глубиной воды и другими характеристиками окружающей среды.

Нарезная система набора — система набора корпуса, при которой рамные связи присоединяются непосредственно к обшивке, а основной набор проходит через вырезы в стенке рамной связи и присоединяется к ней.

Опора днищевая — конструкция, расположенная под днищем СВП и обеспечивающая посадку судна на пологий берег или специально оборудованную площадку.

Оттяжка — гибкая связь, установленная между корпусом судна и оболочкой гибкого ресивера и служащая для ограничения изменения формы и предотвращения интенсивной вибрации ГО.

Пилон — конструкция, расположенная на верхней палубе СВП и служащая для размещения воздушного движителя.

Понтон — основная силовая часть корпуса СВП.

Ресивер — конструкции, расположенные по периметру понтона и служащие совместно с навешенной эластичной конструкцией гибкого ограждения (ГО) для ограждения воздушной подушки, а также размещения сопел амфибийного СВП.

Скеги — конструкции, расположенные под днищем вдоль бортов и служащие для ограждения зоны повышенного давления (воздушной подушки), а также обеспечения продольной и поперечной остойчивости скеговых СВП и глиссирующих судов с воздушной каверной на днище.

¹ В дальнейшем — Правила классификации.

Соединительные конструкции катамаранов и скеговых СВП — конструкции, служащие для соединения между собой корпусов катамаранов (скегов). Выполняются в виде соединительного моста при небольшой высоте конструкции или, при наличии помещений в пространстве между корпусами, в виде объемной конструкции, включающей поперечные и продольные переборки и конструкций палуб (платформ).

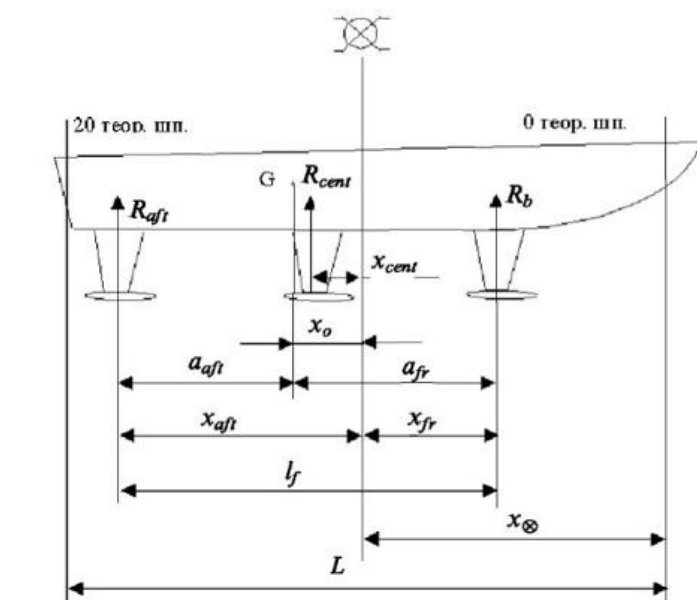
Стабилизатор СВП — конструкция, расположенная на верхней палубе судна и способствующая устойчивости движения СВП на курсе.

Съемный элемент — быстро сменяемая часть конструкции ГО, установленная на нижней части гибкого ресивера и служащая для уменьшения сопротивления движению СВП и увеличения срока службы основной части ГО.

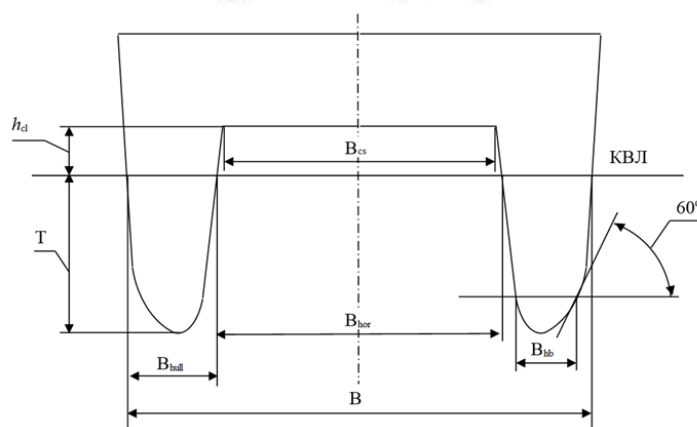
Шахта нагнетательная — конструкция, расположенная в корпусе СВП и служащая для размещения нагнетательной установки и подачи воздуха в воздушную подушку или ресиверы.

1.3 Принятые обозначения.

При расшифровке обозначений следует руководствоваться настоящими пояснениями, а также [рис. 1.3](#):



Конструктивные параметры СПК



Конструктивные параметры катамарана

Рис. 1.3

- L — длина судна между перпендикулярами, м;
 B — ширина судна, м;
 D — высота борта, м;
 Δ — полное водоизмещение судна, т;
 ∇ — объемное водоизмещение судна, м³;
 L_{ac} — длина воздушной подушки, м;
 B_{ac} — ширина воздушной подушки, м;
 S_{ac} — площадь воздушной подушки, м²;
 B_{sw} — ширина скега, м;
 H_{sw} — высота скега, м;
 H_{fs} — высота ГО, м;
 α — коэффициент полноты площади ватерлинии;
 h_{cl} — вертикальный клиренс (для скоростных катамаранов и скеговых СВП — расстояние от невозмущенной поверхности жидкости до соединительного моста в миделевом сечении, для СПК — расстояние от невозмущенной поверхности жидкости до линии киля), м;
 $\bar{h}_{cl} = h_{cl}/h_{3\%}$ — относительный клиренс судна;
 $h_{3\%}$ — высота волны 3%-ной обеспеченности, предусмотренная в проекте судна для соответствующего режима движения и принимаемая в соответствии с действующей в Российской Федерации шкалой, м;
 $\bar{h} = h_{3\%}/\sqrt[3]{\nabla}$ — относительная высота волны;
 l_{fi} — расстояние между НКУ и ККУ, м;
 a_{fr} — отстояние НКУ от центра масс судна, м;
 a_{aft} — отстояние ККУ от центра масс судна, м;
 x — отстояние рассматриваемого поперечного сечения судна от транца, м;
 x_{mid} — абсцисса рассматриваемого поперечного сечения судна, отсчитываемая от миделя, м;
 x_g — отстояние транца от центра масс судна, м;
 $\bar{x}_g = x_g/L$ — относительное отстояние транца от центра масс судна;
 $x_{fr}, x_{cent}, x_{aft}$ — соответственно отстояния НКУ, СКУ и ККУ от миделя, м;
 $x_{\otimes}$ — отстояние миделя от носового перпендикуляра, м;
 l_{fr} — отстояние НКУ от центра масс судна, м;
 x_0 — отстояние центра масс судна от миделя, м;
 m_x — погонная масса судна;
 ρ_x и ρ_y — радиус инерции массы корпуса судна соответственно относительно продольной и поперечной оси, проходящей через центра массы судна, м;
 I_x и I_y — момент инерции массы корпуса судна относительно соответственно продольной и поперечной оси, проходящей через центр массы судна, кг·м²;
 $I_{\otimes}$ — момент инерции поперечного сечения корпуса судна на миделе, м⁴;
 W — момент сопротивления поперечного сечения корпуса судна;
 V — скорость судна в рассматриваемом режиме движения при заданной интенсивности волнения $h_{3\%}$, уз;
 V_{hb} — скорость судна в режиме плавания (для СВП по условиям прочности ГО V_{hb} , как правило, не превышает 3 уз), уз;
 V_{lift} — скорость выхода СПК на НКУ, определяется по максимуму сопротивления;
 $Fr_{\Delta} = 0,514V/\sqrt{g\nabla^{1/3}}$ — число Фруда по водоизмещению;
 $Fr_L = 0,514V/\sqrt{gL}$ — число Фруда по длине;
 $n = \ddot{y}/g$ — относительное ускорение (перегрузка);

n_g — относительное ускорение в центре масс судна при перемещениях его, как твердого тела;

$\ddot{y}$ — вертикальное ускорение в сечениях корпуса, м/с²;

C_y^{max} — максимальный коэффициент подъемной силы профиля элемента подводного крыла, определяемый экспериментально;

R_{fr} , R_{cent} и R_{aft} — усилия воспринимаемые соответственно НКУ, СКУ и ККУ, т;

$P_{fr.st.w.}$, $P_{cent.st.w.}$ и $P_{aft.st.w.}$ — усилия, воспринимаемые соответственно НКУ, СКУ и ККУ при движении на тихой воде, т;

C_{fr} , C_{cent} и C_{aft} — коэффициенты увеличения подъемных сил соответственно на НКУ, СКУ и ККУ на волнении по сравнению с тихой водой;

P_{des} — расчетное усилие, т, действующее на КУ в целом, равное соответственно:

p_{fr}^{max} — для НКУ, т;

p_{cent}^{max} — для СКУ, т;

p_{aft}^{max} — для ККУ, т;

P_{comp} — расчетное усилие, действующее на рассматриваемый элемент КУ, т;

S_f — площадь проекции на горизонтальную плоскость погруженной части несущей плоскости КУ, м²;

S_{comp} — площадь проекции на горизонтальную плоскость погруженной части рассматриваемого элемента КУ, м²;

S_{str} — площадь проекции погруженных частей стоек и наклонных элементов КУ на ДП, м²;

β — угол килеватости наклонного элемента КУ, град.;

$g=9,81$ м/с² — ускорение свободного падения;

$\rho = 1$ т/м³ (кН с²/м⁴) — плотность воды;

$\gamma = 10$ кН/м³ — удельный вес морской воды;

M_{sag} , M_{hog} — расчетные изгибающие моменты в поперечных сечениях корпуса при его прогибе и перегибе соответственно;

$M_{st.w.}^{sag}$, $M_{st.w.}^{trans}$ — продольный и поперечный изгибающий момент соответственно на тихой воде при рассматриваемом режиме движения, тм;

M_w^{sag} , M_w^{hog} , M_w^{trans} , M_w^{tw} — волновая составляющая изгибающего момента соответственно при продольном (прогиб и перегиб) и поперечном изгибе и кручении корпуса в рассматриваемом режиме движения, тм;

M_d^{sag} , M_d^{hog} , M_d^{trans} , M_d^{tw} — динамическая составляющая изгибающего момента соответственно при продольном (прогиб и перегиб) и поперечном изгибе и кручении корпуса в рассматриваемом режиме движения, тм;

M_{des}^{sag} , M_{des}^{hog} , M_{des}^{trans} , M_{des}^{tw} — расчетные значения изгибающего момента соответственно при продольном (прогиб и перегиб) и поперечном изгибе и кручении корпуса в рассматриваемом режиме движения, тм;

$M_{st.w.}^{\otimes}$, $M_w^{\otimes}$, $M_{de}^{\otimes}$, $M_{des}^{\otimes}$ — соответствующие значения изгибающего момента в миделевом сечении, тм;

M_{cp} — значение изгибающего момента в диаметральной плоскости при поперечном изгибе корпуса СВПС, тм;

M_{ult} — предельный изгибающий момент, тм;

$Q_{st.w.}^{sag}$, $Q_{st.w.}^{hog}$, $Q_{st.w.}^{trans}$ — перерезывающая сила соответственно при продольном (прогиб и перегиб) и поперечном изгибе корпуса в рассматриваемом режиме движения, т;

Q_w^{sag} , Q_w^{hog} , Q_w^{trans} — волновая составляющая перерезывающей силы соответственно при продольном (прогиб и перегиб) и поперечном изгибе корпуса в рассматриваемом режиме движения, т;

$Q_d^{sag}, Q_d^{hog}, Q_d^{trans}$ — динамическая составляющая перерезывающей силы соответственно при продольном (прогиб и перегиб) и поперечном изгибе корпуса в рассматриваемом режиме движения, т;

$Q_{des}^{sag}, Q_{des}^{hog}, Q_{des}^{trans}$ — расчетные значения перерезывающей силы соответственно при продольном (прогиб и перегиб) и поперечном изгибе корпуса в рассматриваемом режиме движения, т;

σ_0 — опасные нормальные напряжения, кПа;

R_{p02} — условный предел текучести алюминиевого сплава, кПа;

R_{eH} — верхний предел текучести сталей, МПа;

R_m — предел прочности материала, кПа;

σ_{per} — допускаемые нормальные напряжения, кПа;

σ_{cr} — критические нормальные напряжения, кПа;

σ_e — эйлеровы напряжения потери устойчивости, кПа;

τ_n — предел текучести материала при сдвиге, кПа;

τ_0 — опасные касательные напряжения, кПа;

τ_{cr} — критические касательные напряжения, кПа;

τ_{per} — допускаемые касательные напряжения, кПа;

T — максимальное натяжение материала ГО, кН/м;

R^b — предел прочности материала ГО на разрыв, кН/м.

x_t — расстояние от рассматриваемой точки (от рассматриваемого поперечного сечения судна) до транца, м;

$B_{\otimes}$ — ширина корпуса по скуле на миделе, м;

B_{tr} — ширина транца (расстояние между скуловыми линиями в районе кормовго перпендикуляра), м;

B_3 — ширина корпуса по скуле в сечении по 3-му теоретическому шпангоуту;

β_a — угол килеватости в рассматриваемом сечении судна, град.;

β_3 — угол килеватости в сечении судна по 3-му теоретическому шпангоуту, град.;

$\beta_{\otimes}$ — угол килеватости в миделевом сечении, град.;

β_{tr} — угол килеватости на транце, град.;

$\beta_{av} = (\beta_{\otimes} + \beta_{tr})/2$ — средний угол килеватости, град.;

B_{hull} — ширина корпуса на миделе на уровне конструктивной ватерлинии, м;

B_{hor} — горизонтальный клиренс — расстояние между корпусами в миделевом сечении, измеренное в плоскости конструктивной ватерлинии, м;

B_{hb} — ширина корпуса на миделе, измеренная по ватерлинии, соответствующей погружению корпуса до уровня скулы, м;

j — номер теоретического шпангоута;

B_{cs} — ширина соединительного моста (расстояние между корпусами на уровне соединительного моста), м;

S_a — площадь, поддерживаемая элементом корпуса (площадь «съема» нагрузки); для пластин поддерживаемая площадь принимается равной произведению расстояния между ребрами жесткости (шпации) на величину, равную длине большей стороны пластины или трехкратной шпации (в зависимости от того, что меньше), м²;

T — осадка судна на тихой воде, м;

x_{mid} — абсцисса рассматриваемой точки, отсчитываемая от миделевого сечения (отрицательная при расположении точки в корму от миделя), м;

y — отстояние рассматриваемой точки корпуса или его продольного сечения от диаметральной плоскости, м;

Z_i — отстояние рассматриваемой точки от уровня расчетной ватерлинии, м;

$b(x)$ — ширина корпуса в рассматриваемом поперечном сечении с абсциссой x , м.

1.4 Объем технической документации определен в разд. 5 части I «Классификация» настоящих Правил.

1.5 Материалы для корпуса и специальных устройств.

1.5.1 Материалы для изготовления корпусов ВСС и крыльевых устройств СПК должны удовлетворять требованиям части XIII «Материалы» настоящих Правил.

Правилами предусматривается применение для изготовления конструкций корпуса алюминийево-магниевых сплавов, для крыльевых устройств — нержавеющей сталей и титановых сплавов, для гибких ограждений — резинотканевых или иных полимерных материалов толщиной до 6 мм. Для вспомогательных (стартовых) элементов крыльевых устройств, обеспечивающих выход судна на крылья, допускается использование алюминийево-магниевых сплавов.

Марки материалов для гибких ограждений ВСС должны выбираться на основании расчетов прочности, выполняемых в соответствии с [5.7](#) настоящей части. Материал гибких ограждений должен соответствовать требованиям части XIII «Материалы» Правил классификации.

1.6 Сварные соединения, сварочные материалы, методы сварки, контроля и испытаний сварных соединений должны отвечать требованиям части XIV «Сварка» настоящих Правил.

2 ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСА

2.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1.1 Настоящая часть распространяется на конструкции корпусов и специальных устройств, выполненных с применением сварки (электро-дуговой, в среде защитных газов, контактной и др.), клепки, клееклепки и контактной клеесварки.

2.1.2 При проектировании корпусных конструкций скоростных судов необходимо учитывать требования к их прочности и ресурсу при минимальном весе и оптимальной технологии постройки. Эти требования должны выполняться на всех стадиях проектирования судна.

2.1.3 При разработке конструкций корпуса следует предусматривать в возможно большем объеме применение цельнопрессованных и клеесварных панелей, а также осуществлять унификацию и типизацию входящих в состав корпуса деталей, узлов и секций. Панели (конструкционные заготовки) должны, по возможности, использоваться с наибольшими размерами для уменьшения объема сварных и, особенно, клепаных соединений в составе конструкций корпуса.

Конструкции корпусов должны, как правило, проектироваться сварными. Основной вид сварки — сварка плавлением. Заклепочные соединения и соединения, выполненные точечной контактной сваркой, допускается применять в случаях, когда по технологическим или конструктивным соображениям сварка не осуществима или нецелесообразна, в частности, при соединении несваривающихся или ограниченно сваривающихся материалов или материалов, приводящих к образованию недопустимых деформаций конструкций при сварке. В сварных конструкциях клепаные соединения допускается использовать в качестве барьеров (стопперов) для ограничения распространения трещин.

2.1.4 При использовании цельнопрессованных и клеесварных панелей следует применять навесную систему набора (продольную или поперечную), позволяющую наиболее полно реализовать конструктивно-технологические преимущества панелей. В районах действия значительных сосредоточенных усилий основной набор корпуса должен устанавливаться непосредственно на обшивку или совмещаться с ребрами жесткости панелей.

2.1.5 Переход в корпусе от навесной системы набора к нарезной должен выполняться на основных связях (стрингерах, рамных шпангоутах, переборках, платформах и т.п.).

2.1.6 По длине и ширине корпуса допускается осуществлять плавный переход размеров профилей и толщин листов, в соответствии с изменением усилий от общего продольного и поперечного изгибов корпуса, что должно быть подтверждено соответствующими расчетами прочности.

2.1.7 Резкое изменение толщин листов и высоты профилей не допускается. Разница в толщинах стыкуемых листов (исключая места специальных подкреплений, например, в районе углов вырезов) не должна превышать 40 %.

Плавный переход от одной высоты профиля к другой следует предусматривать на пересекаемых рамных связях корпуса (стрингерах, шпангоутах, переборках и т.п.).

2.1.8 Все прямоугольные и другие вырезы в конструкциях корпуса должны иметь скругленные углы.

Радиус скругления углов вырезов в продольных связях корпуса должен быть не менее следующих величин (в зависимости от того, что больше):

5 толщин стенки связи;

0,15 длины меньшей стороны выреза;

30 мм.

2.1.9 Контактная точечная и роликовая сварка допускается для несущих конструкций при толщине деталей до 3 мм.

2.1.10 Односторонняя с глубоким проплавлением сварка стыковых соединений может быть допущена в несущих конструкциях толщиной $S \geq 5,0$ мм. В районах интенсивной вибрации не следует применять одностороннюю сварку.

2.1.11 Корпусные конструкции должны обеспечивать возможность применения при изготовлении максимального объема механизированных способов сварки и выполнения большинства швов в нижнем положении.

2.1.12 В настоящих Правилах приведены типовые узлы элементов конструкций. При проектировании рекомендуемые типовые узлы конструкций могут подвергаться оптимизации и корректировке в зависимости от конкретных требований к конструкции.

2.1.13 При применении в составе основных корпусных конструкций узлов, значительно отличающихся от типовых, следует выполнить их натурные испытания по программе, согласованной Регистром.

2.1.14 Палубы, днище, борта, продольные переборки, ресиверы, а также прочные надстройки должны выполняться по продольной (нарезной или навесной) системе набора. Применение смешанной системы набора для корпуса и поперечной системы набора допускается для надстройки.

Допускается переход от одной системы набора к другой осуществлять на дополнительно установленных рамных связях корпуса.

В районах действия значительных сосредоточенных усилий балки рамного набора должны устанавливаться непосредственно на обшивку.

2.1.15 Размеры связей корпусных конструкций должны определяться на основании расчетов общей и местной прочности. Размеры связей, определяемые расчетом общей прочности для миделевого сечения корпуса, должны сохраняться в средней части судна на протяжении $0,4L$ (по $0,2L$ в нос и в корму от миделя).

2.1.16 Обязательным является обеспечение непрерывности продольных связей корпуса. В районах окончания продольных связей следует обеспечивать плавность изменения их сечений наряду с другими мерами, способствующими уменьшению концентрации напряжений. При нарушениях непрерывности связей, в том числе при резком изменении их направления, должно предусматриваться соответствующее конструктивное оформление.

2.1.17 В одном поперечном сечении корпуса не должно заканчиваться более двух расположенных симметрично относительно диаметральной плоскости основных продольных связей палуб, бортов и днища (карлингсов и стрингеров).

2.1.18 В районах окончания основных продольных связей палуб, бортов и днища (вертикального киле, днищевых и бортовых стрингеров и карлингсов) уменьшение их высоты должно предусматриваться на длине $\geq 1,5$ высоты связи, если в настоящих Правилах отсутствуют другие указания.

Концы продольных связей должны доводиться до ближайшей поперечной связи и с ней соединяться.

2.1.19 Для сварных конструкций в районах интенсивной вибрации, а также в цистернах, в местах прохода балок или опирания книц на непроницаемые конструкции должны быть предусмотрены ребра жесткости, шельфы или другие конструктивные элементы, исключающие образования жестких точек.

2.1.20 Следует избегать вырезов в расчетной палубе, ресивере, карлингсах, вертикальном киле, стрингерах и флорах. При выполнении вырезов в перечисленных связях они должны быть подкреплены. Конструкция подкрепления должна, наряду с уменьшением концентрации напряжений, обеспечивать компенсацию потерянной площади. Кромки вырезов должны быть гладкими.

2.1.21 Вырезы в настилах палуб и соединительного моста skeg-ового СВП для подачи воздуха должны подкрепляться вертикальными поясками по контуру, а сам настил должен быть утолщен.

2.1.22 Прямоугольные вырезы в палубе, бортах и продольных переборках следует располагать большей стороной вдоль судна.

При малых прямоугольных вырезах (когда ширина выреза или суммарная ширина вырезов в данном поперечном сечении судна не превышает половину ширины судна) радиус скругления углов должен быть не менее:

0,15 меньшей стороны выреза;

10 толщин обшивки;

50 мм.

2.1.23 Стыки листов должны располагаться от поперечной кромки выреза на расстоянии не меньшем, чем $1/3$ длины выреза, однако, во всех случаях не менее $2r$, где r — радиус скругления выреза.

2.2 СОЕДИНЕНИЕ БАЛОК НАБОРА

2.2.1 Для продольных балок набора должны применяться прессованные симметричные полособульбовые и тавровые профили или использоваться прессованные панели с симметричными ребрами полособульбового и таврового профилей.

В конструкциях с применением клепки, клееклепки, клеесварки могут быть использованы прессованные и гнутые профили других сечений (углобульбы, уголки, зеты).

Для продольных балок днища, бортов, палуб (включая надстройки и рубки), ресивера и скегов допускается применение несимметричных полособульбовых профилей и уголков. При навесной системе набора следует обеспечивать жесткость балок несимметричного профиля на кручение.

Балки рамного набора (рамные шпангоуты, флоры, бракетты скегов, карлингсы, рамные бимсы, стрингеры и т.п.) рекомендуется выполнять из прессованных профилей и панелей. Допускается применение сварных профилей.

При нарезной системе набора для рамных связей должны применяться, главным образом, тавровые, а при навесной системе — двутавровые профили.

2.2.2 Сварные соединения балок набора должны выполняться встык. Соединения внахлестку не допускаются.

2.2.3 В стыковых соединениях сварных профилей расстояние между стыками полков и стыками стенок следует принимать не менее половины высоты балки.

2.2.4 Изменение высоты рамных балок набора должно выполняться на жестких связях (переборках, стрингерах, рамных шпангоутах, бимсах и т.п.) с установкой книц (см. [рис. 2.2.4-1](#)).

Если длина переходного участка $5(H - h) \geq l$ (см. [рис. 2.2.4-2](#)), то допускается выполнять изменение высоты профиля между жесткими связями.

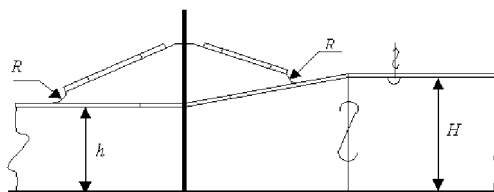
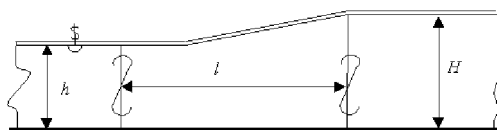


Рис. 2.2.4-1



При $l \geq 5(H - h)$

Рис. 2.2.4-2

2.2.5 Размеры книц, соединяющих балки набора сварных конструкций, принимаются в соответствии с указаниями в рисунках, настоящей части. При этом толщину книц следует выбирать равной наименьшей толщине стенки профиля соединяемой (закрепляемой) балки (балок). Отступления от рекомендуемой толщины должны быть обоснованы в каждом конкретном случае.

Свободные кромки книц в необходимых случаях следует подкреплять поясками, толщина которых должна быть на 1 мм толще кницы. Допускается применение отогнутых фланцев.

Свободные концы поясков или фланцев книц следует срезать «на ус» на длине, равной 1,5 ширины пояска кницы (фланца), размер притупления принимается не более утроенной толщины пояска (фланца). Расстояние между концом пояска и притуплением кницы должно быть не менее двух толщин кницы. Для высоконапряженных конструкций, работающих в условиях переменного нагружения, указанные притупления следует скруглять по радиусу (см. [рис. 2.2.5](#)).

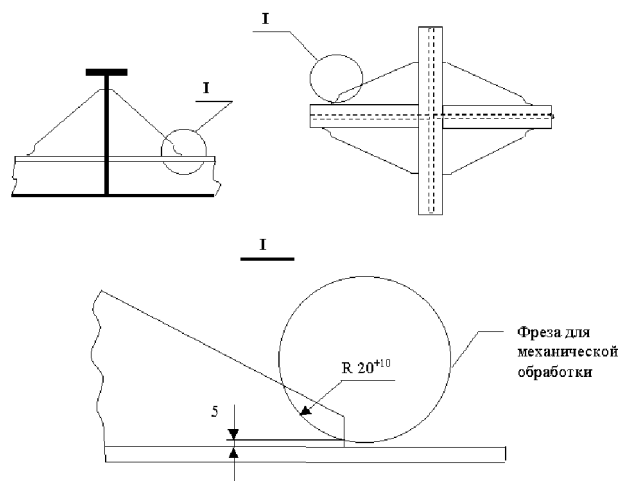


Рис. 2.2.5

2.2.6 Кницы, стенки профилей и других пронизаемых листовых конструкций должны быть срезаны применительно к [рис. 2.2.6](#).

Примечание. Вместо среза для прохода сварных швов по радиусу допускается в неответственных конструкциях выполнить срез с размерами катета $a = r$.

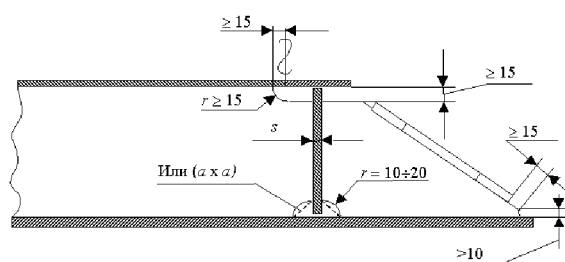
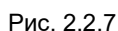
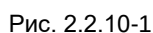


Рис. 2.2.6

2.2.7 В местах окончания балок набора пояски и стенки последних следует срезать «на ус» на длине, равной полуторной ширине пояска и полуторной высоте стенки соответственно, с оставлением на свободном конце нескошенного торцевого участка (притупления), равного: для пояска — утроенной толщине пояска, а для стенки — не менее утроенной толщине стенки. Следует предусматривать расстояние между концом пояска и концом стенки балки, равным не менее двух толщин стенки или 15 мм в зависимости от того, что больше (см. [рис. 2.2.7](#)).



2.2.10 Соединение основных продольных связей корпуса с водонепроницаемыми поперечными переборками и флорами должно выполняться применительно к [рис. 2.2.10-1](#) и [2.2.10-2](#), а для рамных балок, сочетаемых с ребрами панелей, применительно к [рис. 2.2.10-3](#).



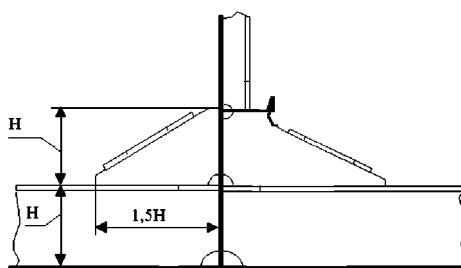


Рис. 2.2.10-2

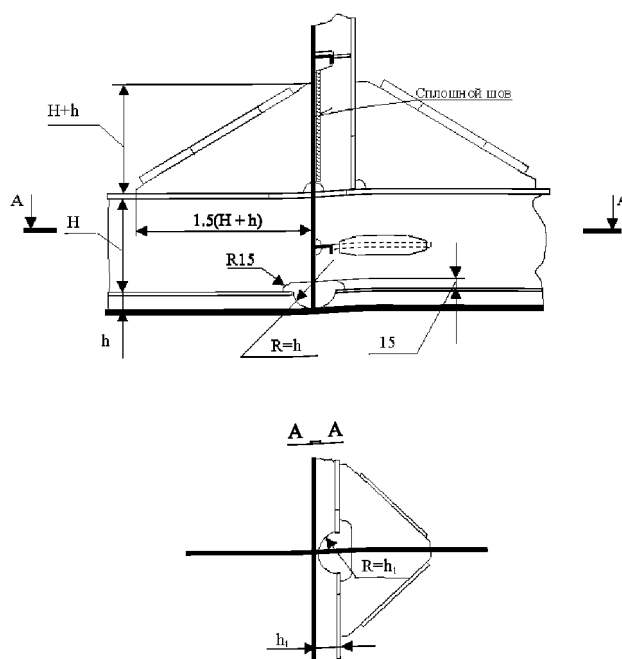


Рис. 2.2.10-3

2.2.11 При навесной системе набора продольные рамные связи корпуса, кроме вертикального кия (см. [2.2.9](#)), имеющие одинаковую высоту с поперечными балками рамного набора, должны выполняться разрезными (интеркостельными). Узлы соединения следует выполнять согласно [рис. 2.2.11-1](#).

Узлы соединения основных продольных рамных связей с меньшими по высоте поперечными балками рамного набора должны выполняться применительно к рис. [2.2.11-2](#) и [2.2.11-3](#). Допускается при незначительной разнице в высотах продольной связи и пересекающей ее балки набора узел соединения выполнить с применением книц (см. [рис. 2.2.11-4](#)) или заделок (см. [рис. 2.2.11-5](#)).

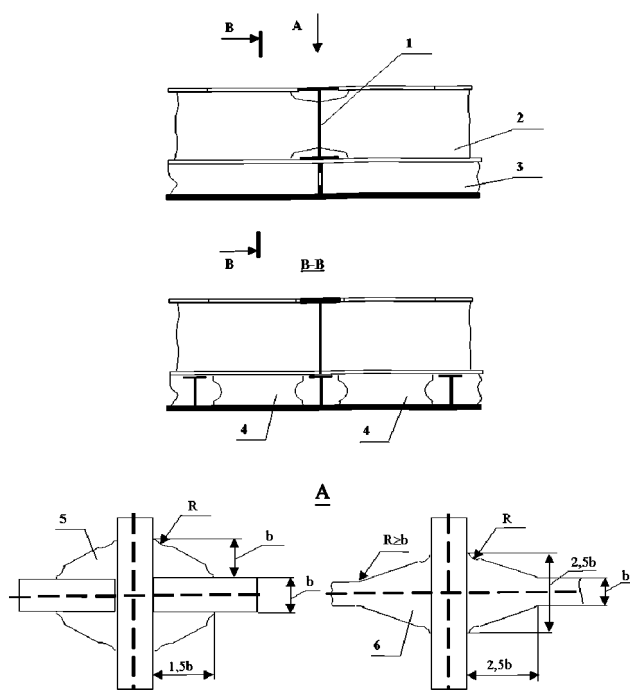


Рис. 2.2.11-1:

- 1 — флор; 2 — днищевой стрингер;
 3 — продольная днищевая балка;
 4 — соединительная планка; 5 — горизонтальная кница;
 6 — расширение пояса

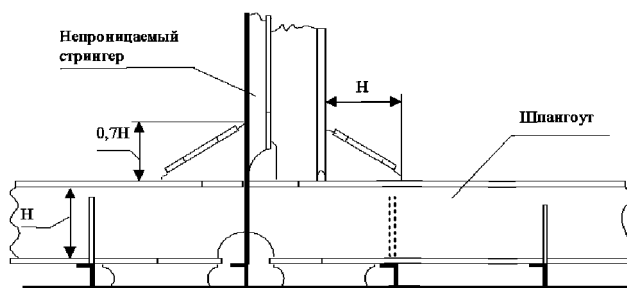


Рис. 2.2.11-2

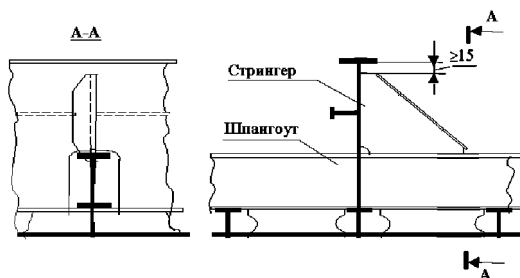


Рис. 2.2.11-3

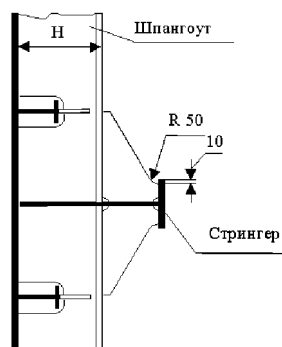


Рис. 2.2.11-4

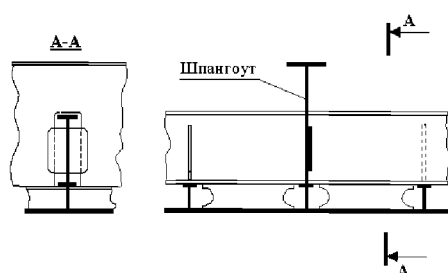


Рис. 2.2.11-5

2.2.12 Соединение флоров с вертикальным килем в зависимости от соотношения их высот при навесной системе набора следует выполнять применительно к [рис. 2.2.12-1](#) и [2.2.12-2](#) (плоская и килеватая форма обводов днища).

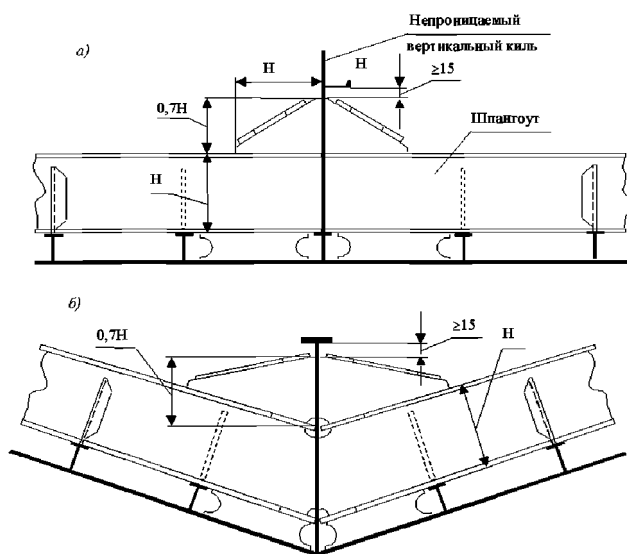


Рис. 2.2.12-1

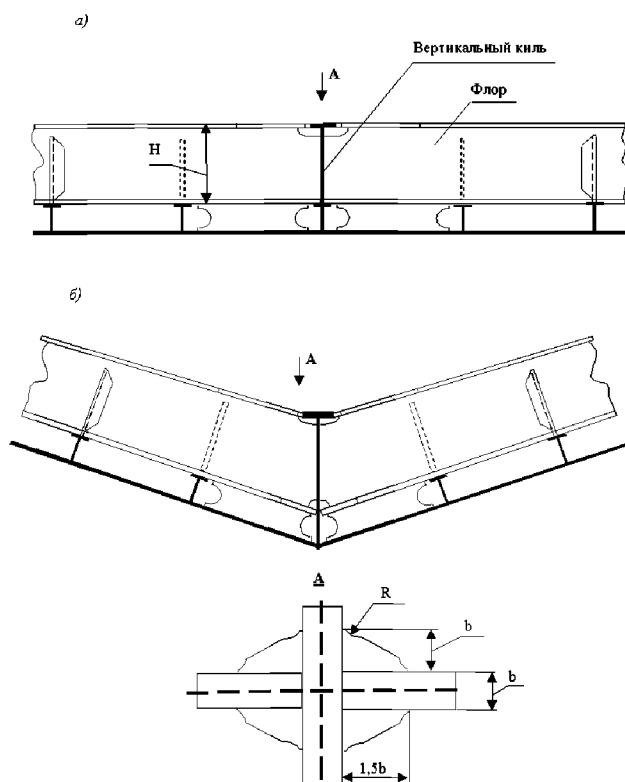


Рис. 2.2.12-2

2.2.13 Соединения рамных шпангоутов с флорами при нарезной системе набора должны выполняться применительно к [рис. 2.2.13-1](#), а при навесной системе набора — применительно к [рис. 2.2.13-2](#). При этом расстояние между стыком стенки связи и вырезом в ней под продольные балки должно быть не менее 100 мм. При малом шаге ребер жесткости панелей (менее 200 мм) допускается уменьшение указанного расстояния (при этом стыки рекомендуется располагать на равном расстоянии от вырезов).

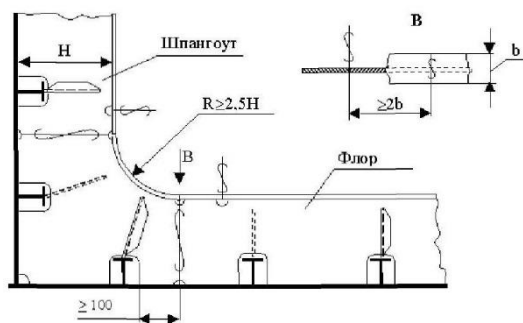


Рис. 2.2.13-1

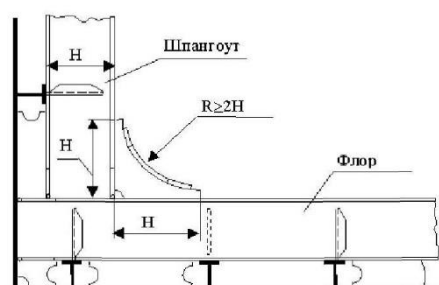


Рис. 2.2.13-2

При высоте флоров менее 200 мм соединение с рамными шпангоутами при нарезной системе набора должно осуществляться согласно [рис. 2.2.13-3](#).

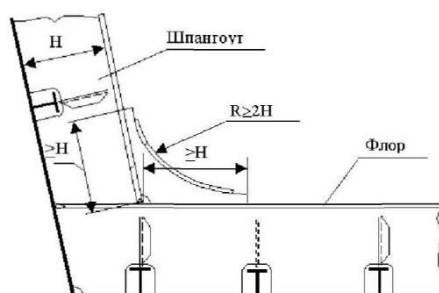


Рис. 2.2.13-3

Узел соединения неразрезных рамных шпангоутов с рамными бимсами палуб или платформ в местах прохода через последние следует выполнять применительно к [рис. 2.2.13-4](#); узел соединения разрезаемых на палубах и платформах рамных шпангоутов с рамными бимсами палуб и платформ — применительно к [рис. 2.2.13-5](#).

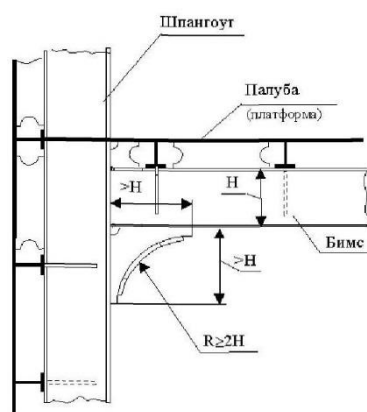


Рис. 2.2.13-4

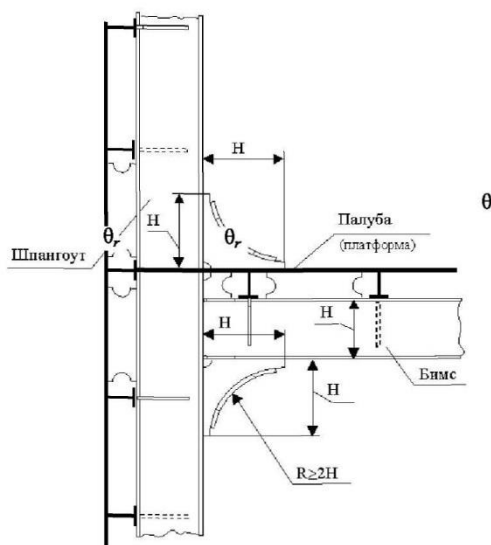


Рис. 2.2.13-5

Узел соединения рамных шпангоутов с рамными бимсами палубы надстройки должен выполняться применительно к [рис. 2.2.13-6](#).

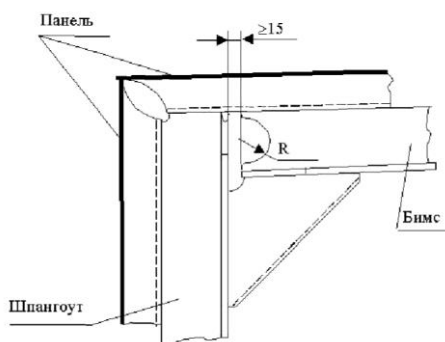
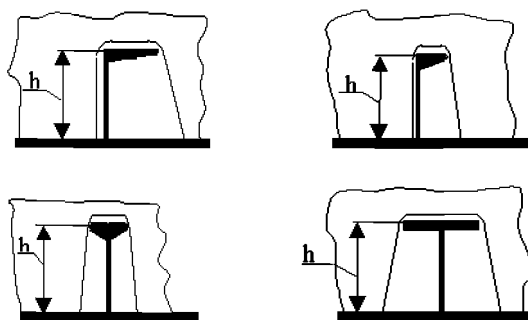


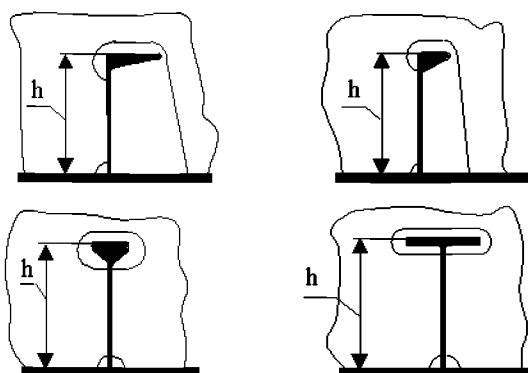
Рис. 2.2.13-6

2.2.14 Для узлов прохода продольных балок через проницаемые конструкции следует применять в зависимости от высоты балки свободные вырезы (см. [рис. 2.2.14-1](#)) или вырезы с непосредственной приваркой двусторонним швом стенки балки к кромке выреза (см. [рис. 2.2.14-2](#)).



При $h < 80$ мм

Рис. 2.2.14-1



При $h \geq 80$ мм

Рис. 2.2.14-2

2.2.15 Приварка свободных поясков балок к кромкам вырезов в проницаемых конструкциях не допускается. Закругление углов вырезов должно быть выполнено радиусом не меньшим трех толщин стенки конструкции, в которой сделан вырез, или 10 мм в зависимости от того, что больше.

2.2.16 Расстояние от кромки любого выреза в рамных связях до кромки выреза для прохода балок набора должно быть не менее высоты этих балок, если по условиям прочности не требуется большая величина.

2.2.17 При навесной системе набора не допускается выполнение вырезов в вертикальном киле и флорах.

В карлингах, стрингерах допускаются вырезы для прохода шпангоутов не более $1/2$ высоты стенки связи в рассматриваемом сечении.

В случае невозможности выполнения этого требования, ослабление стенки должно быть компенсировано ее утолщением, установкой заделок, либо иным способом.

2.2.18 В проницаемых конструкциях при нарезной системе набора в случае высоты балок меньшей 80 мм должна применяться конструкция со свободными вырезами и установкой двух (с каждой стороны от поддерживающей конструкции) книц с размерами не меньшими $2h$ (где h — высота профиля балки). Если высота балки 80 мм и более, а также в случае, когда балки разрезаются на рамных связях и привариваются к стенкам последних, размеры книц должны быть не менее $1,5h$.

Если расстояние между свободным пояском продольной балки и полкой балки рамного набора меньше:

$2,0h$ — при высоте балки < 80 мм;

или $1,5h$ — при высоте балки ≥ 80 мм,

то кницы должны привариваться к свободному пояску балки рамного набора.

При обеих системах набора допускается выполнять соединения неразрезных балок с балками рамного набора днища, бортов и палуб при помощи книц, установленных в шахматном порядке. При $h < 80$ мм допускается установка книц в соответствии с [рис. 2.2.21](#).

2.2.19 Конструкция соединения продольных балок с поперечными непроницаемыми переборками или флорами должна выполняться применительно к [рис. 2.2.19-1 \(вариант 1\)](#) и [2.2.19-2](#), а при использовании прессованных панелей соединения балок неразрезных панелей — применительно к [рис. 2.2.19-3](#) и [2.2.19-4 \(вариант 1\)](#).

Возможность использования вариантов 2 оформления узла (см. [рис. 2.2.19-1](#) и [2.2.19-4](#)) должна быть обоснована расчетами долговечности узлов.

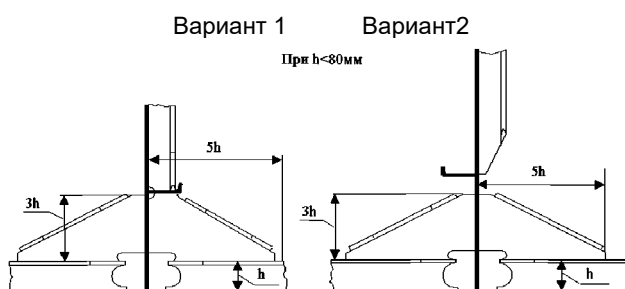


Рис. 2.2.19-1

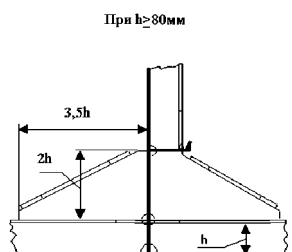


Рис. 2.2.19-2

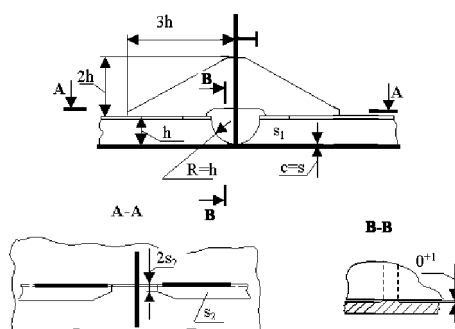


Рис. 2.2.19-3

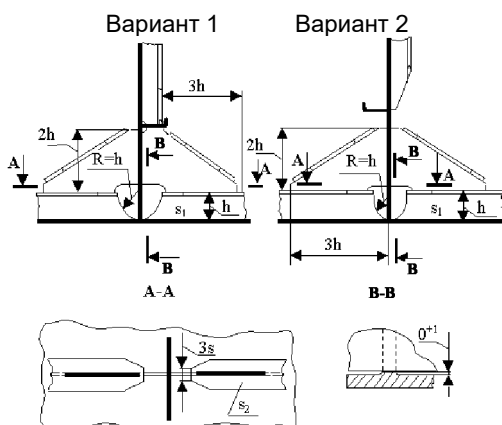


Рис. 2.2.19-4

2.2.20 При использовании для конструкции прессованных панелей основные продольные связи корпуса должны привариваться к поясам продольных балок, а при применении сварных панелей — непосредственно к листам обшивки (настила).

2.2.21 При навесной системе набора в узлах пересечения основных связей (профилей панелей) с перекрестными связями (рамным набором) корпуса (в том числе в районе скулы и пересечения борта с платформами и палубой) в плоскостях стенок перекрестных связей должны устанавливаться соединительные планки (кницы). При высоте профилей панелей, превышающей 70 мм, концы планок следует выполнить по радиусу (см. [рис. 2.2.11-1](#)).

Свободные пояски профилей панелей и рамных связей в местах пересечения балок должны соединяться сваркой с установкой в шахматном порядке книц (см. [рис. 2.2.21](#)). Если ширина свободных поясков профилей панели меньше 50 мм, достаточно лишь установка книц.

2.2.22 При использовании прессованных панелей узлы соединения балок набора с примыкающими конструкциями должны выполняться применительно к рис. [2.2.22-1](#) и [2.2.22-2](#), а узел соединения балок палубы с балками продольной переборки — применительно к [рис. 2.2.22-3](#).

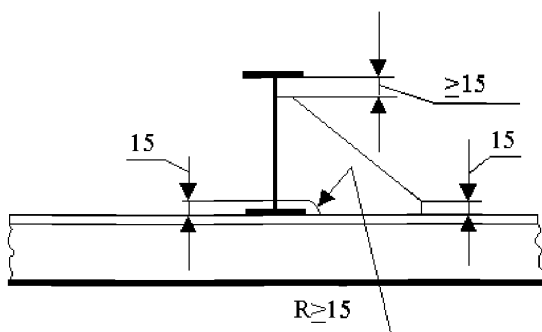


Рис. 2.2.21

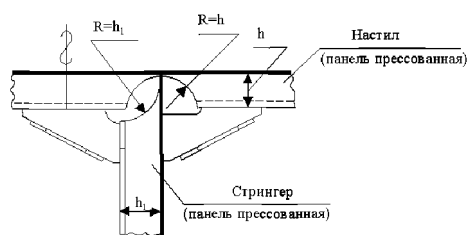


Рис. 2.2.22-1

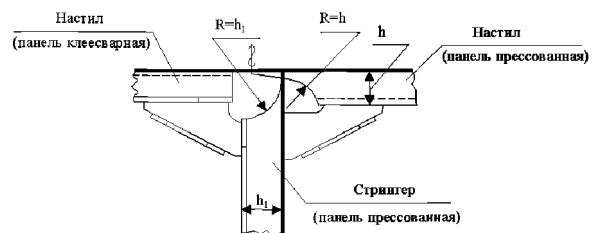


Рис. 2.2.22-2

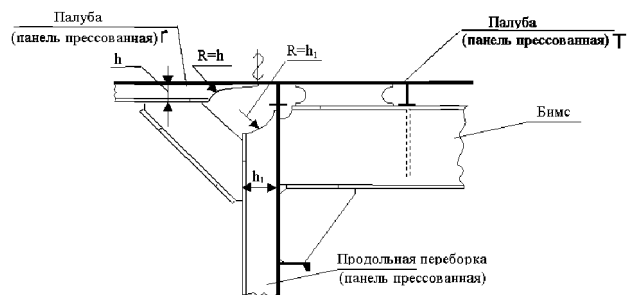


Рис. 2.2.22-3

2.3 ДЕТАЛИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.3.1 Свободные кромки стенок, полок балок, книц и т.п. должны быть механически обработаны и не иметь заусениц. Бракеты, кницы, подкрепляющие ребра жесткости и т.п., в случае их приварки к свободным пояскам подкрепляемых балок, не должны доводиться до кромки свободного пояска на расстояние, равное 15 мм или двух толщин в зависимости от того, что больше. Пояски и фланцы книц и бракет, устанавливаемых для подкрепления рамных балок (в том числе продольных фундаментных балок), должны срезаться «на ус».

2.3.2 Прямой угол книц, подкрепляющих узлы соединения балок набора, должен быть срезан так, чтобы от кромки среза до контура выреза для прохода балки через рамную связь было бы не менее 15 мм (см. [рис. 2.3.2](#)).

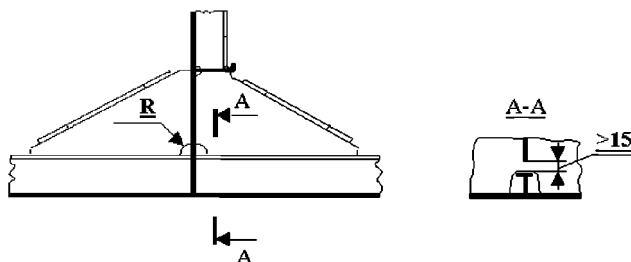


Рис. 2.3.2

2.3.3 Не допускается приваривать пояски фундаментных балок к днищевой обшивке и к настилу поперечных переборок. В указанных районах пояски должны быть срезаны «на ус».

2.4 РАСПОЛОЖЕНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ

2.4.1 Сварные швы должны располагаться в наименее напряженных сечениях конструкции, по возможности, параллельно действующим усилиям, возможно дальше от мест резкого изменения сечения связей, вырезов и других концентраторов напряжений.

2.4.2 Следует избегать скученности сварных швов, пересечений швов под острым углом, а также близкого расположения параллельных стыковых швов или угловых (тавровых) швов со стыковыми.

Стыковые швы листовых конструкций в пределах секций и блоков, если они выполняются до пересекающих их швов, следует разносить по длине корпуса не менее чем на 100 мм.

Для монтажных швов минимальное расстояние между стыковыми сварными швами и параллельными им угловыми швами, не должно быть менее 100 мм или 10 толщин листов (смотря по тому, что больше). При длине указанных швов менее 2 м расстояние между ними должно быть не менее 50 мм.

Угол между двумя стыковыми швами не должен быть менее 45° (см. [рис. 2.4.2](#)).

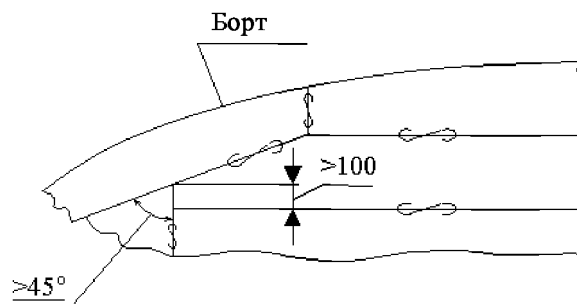


Рис. 2.4.2

2.4.3 Стыки свободных поясков рамных связей набора (стрингеров, карлингсов, флоров, бимсов) рекомендуется располагать под углом 45° к продольной оси связей.

2.5 СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.5.1 Стыковые соединения.

2.5.1.1 Сварные соединения несущих деталей толщиной 4 мм и более рекомендуется выполнять с разделкой кромок.

Допускается выполнять сварные соединения деталей толщиной до 10 мм без разделки кромок при условии применения автоматической односторонней сварки, обеспечивающей обратное формирование сварного шва.

2.5.1.2 При соединении встык листов разной толщины разница толщин, как правило, не должна превышать 40 % толщины более толстого листа. Указанное не относится к утолщенным листам под якорными клюзами, под пилон, днищевые опоры и т.п. Кромка более толстого листа должна быть скошена до толщины более тонкого листа (см. [рис. 2.5.1.2](#)).

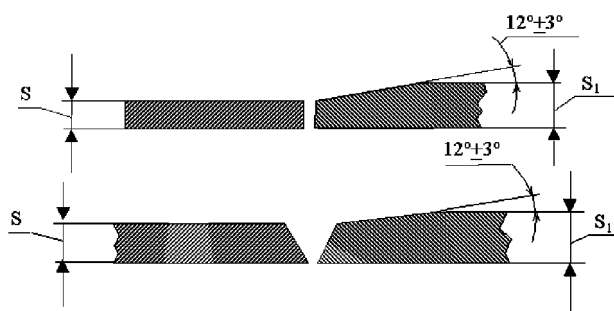


Рис. 2.5.1.2

2.5.1.3 Сварные стыковые соединения балок набора должны выполняться двусторонним швом с использованием выводных планок. Соединения внахлестку и накладными планками не допускаются. В труднодоступных местах допускается выполнение односторонних швов на удаляемой подкладке (также с использованием выводных планок).

2.5.2 Тавровые соединения.

2.5.2.1 Размеры катетов тавровых сварных швов конструкций корпуса определяются на основании расчетов прочности, но должны быть не менее указанных в [табл. 2.5.2.1](#).

Таблица 2.5.2.1

Свариваемые толщины (стенка / поясок), мм	$\frac{3}{3 \div 5}$	$\frac{4}{4 \div 15}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{6}{8 \div 15}$	$\frac{8}{8 \div 15}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{10}{15}$	$\frac{15}{15}$
Минимальный размер катета, мм	3 ⁺¹	3 ⁺¹	4 ⁺¹	5 ⁺¹	5 ⁺¹	6 ⁺¹	6 ⁺¹	7 ⁺¹	7 ⁺¹

2.5.2.2 Двусторонние швы тавровых соединений с разделкой кромок должны применяться при толщине листов (деталей) 4 мм и более:

в узлах соединения основных балок набора корпуса: рамных шпангоутов со стрингерами, флоров с рамными шпангоутами, стрингеров с переборками и тп., а также в кичных соединениях, соединениях поясков и в подкрепляющих балки набора элементах;

в конструкциях и подкреплениях, испытывающих нагрузки динамического и вибрационного характера (фундаментов под пилон, механизмы, днищевые опоры и т.п.).

2.5.2.3 Двухсторонние непрерывные швы тавровых соединений (без разделки кромок) могут применяться в соединениях рамных связей набора (стрингеров, карлингсов, рамных шпангоутах и т.п.) с листами обшивки и настилов, исключая связи, испытывающие воздействие переменных усилий.

2.5.2.4 Односторонние непрерывные швы тавровых соединений, при выполнении с противоположной стороны стенки присоединяемой детали сварных швов длиной не менее 50 мм, расположенных через 150 — 200 мм (см. [рис. 2.5.2.4](#)), допускается применять только при низком уровне напряженности конструкции для приварки продольных балок к наружной обшивке и настилам палуб, платформ; стоек к обшивке переборок; поясков к стенкам сварных профилей набора и т.п., исключая районы пересечения продольных балок с рамным набором и районы интенсивной вибрации.

При использовании таких соединений концы связей должны быть обварены на расстоянии не менее чем 1,5 высоты профиля.

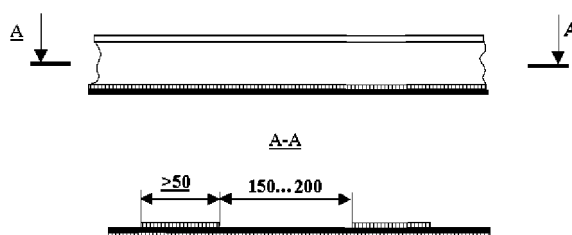


Рис. 2.5.2.4

2.5.2.5 Прерывистые двусторонние швы с перекроем валиков с противоположной стороны не менее чем на 20 мм при длине валиков 150 — 200 мм (см. [рис. 2.5.2.5](#)) допускаются в тавровых соединениях вне районов интенсивной вибрации при толщине — не более 3,0 мм; при неразрушающем к

онтроле соединения (ультразвуковой или рентгенографический методы контроля) — не более 5,0 мм. Во всех случаях приварка балок к листам обшивки или настилов у опор, а также концов балок должна выполняться непрерывными двусторонними швами. Длина шва в каждую сторону от опоры (окончания балки) должна быть не менее чем 1,5 высоты кницы или высоты более высокой из соединяемых балок набора, в зависимости от того, что больше.

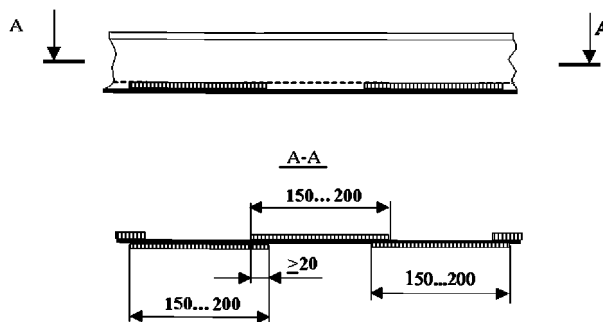


Рис. 2.5.2.5

2.6 СОЕДИНЕНИЯ ЦЕЛЬНОПРЕССОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ

2.6.1 Соединения цельнопрессованных панелей должны выполняться, как правило, сварными.

Для панелей с толщиной полотна менее 3,0 мм рекомендуется применять клепку или клееклепку.

В соединениях панелей стыки по полотну и ребрам следует совмещать в одной плоскости.

2.6.2 Длину панелей рекомендуется принимать равной длине одного или нескольких отсеков.

Следует применять панели с ребрами симметричного полособульбового или таврового профилей.

2.6.3 Для панелей с несимметричными ребрами следует повышать, в необходимых случаях, жесткость ребер на кручение установкой книц в зависимости от толщины стенки ребра согласно [рис. 2.6.3-1](#) (при толщинах не менее 3 мм) или согласно [рис. 2.6.3-2](#) (при толщинах менее 3 мм).

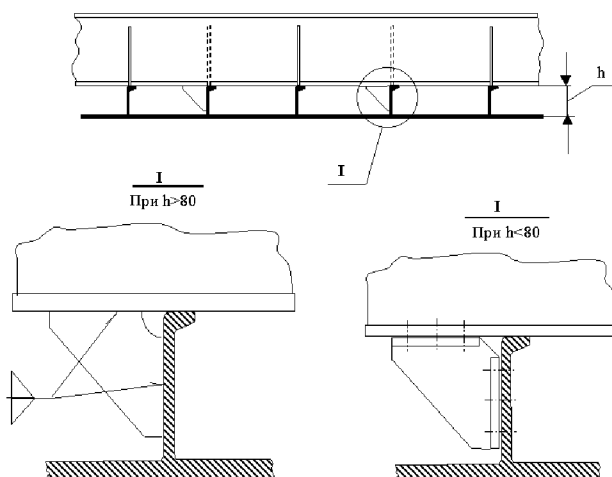


Рис. 2.6.3-1

Рис. 2.6.3-2

2.6.4 Стыковые соединения панелей, исключая малонагруженные конструкции, в которых высота профиля не более 90 мм, должны усиливаться установкой подкрепляющих элементов (см. [рис. 2.6.4-1](#), [2.6.4-2а](#), [2.6.4-2б](#)).

Площадь поперечного сечения подкрепляющего элемента должна быть не менее 0,5 площади поперечного сечения ребра панели. Отступление от этого требования и от рекомендаций по оформлению узлов (см. [рис. 2.6.4-1](#), [2.6.4-2а](#), [2.6.4-2б](#)) допускаются только в случае их обоснования результатами испытаний узлов соединения панелей и расчетами.

Для увеличения, в необходимых случаях, устойчивости плоской формы изгиба узла следует использовать в качестве подкрепляющего элемента тавровые профили.

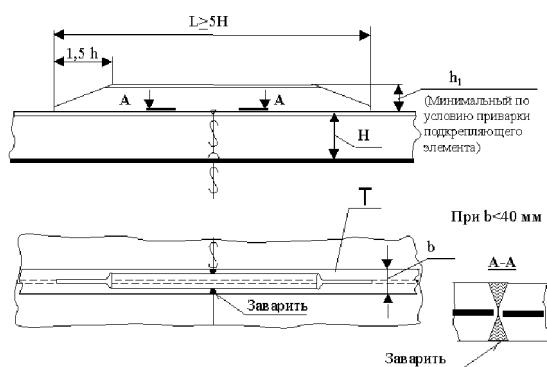


Рис. 2.6.4-1

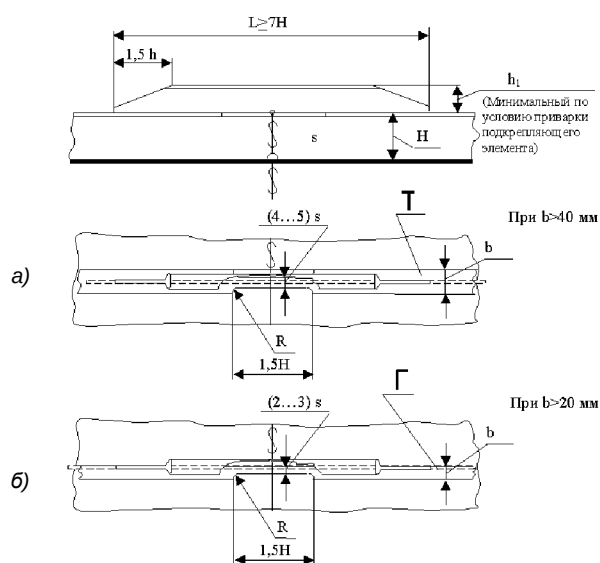


Рис. 2.6.4-2

2.6.5 Соединение неразрезных панелей с водонепроницаемыми переборками, флорами и стрингерами должно выполняться согласно [рис. 2.2.19-3](#) и [2.2.19-4](#).

Конструкцию комбинированных узлов внутриблочных (межсекционных) соединений прессованных панелей следует выполнять применительно к [рис. 2.6.5-1](#), [2.6.5-2](#) и [2.2.22-1](#), [2.2.22-2](#), [2.2.22-3](#), а для комбинированных узлов внутриблочных (межсекционных) соединений прессованных панелей следует выполнять применительно к [рис. 2.6.5-3](#). При этом площадь сечения кницы над стыком панелей должна быть не менее 0,7 площади поперечного сечения ребра. Отступление от этих рекомендаций допускается только в случае их обоснования результатами испытаний узлов и расчетами.

В случае исключения притыкания и приварки кницы к шельфу обоснованность такого решения должна быть подтверждена расчетами долговечности узлов.

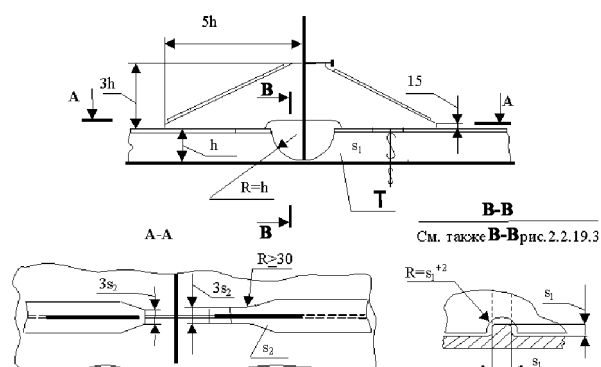


Рис. 2.6.5-1

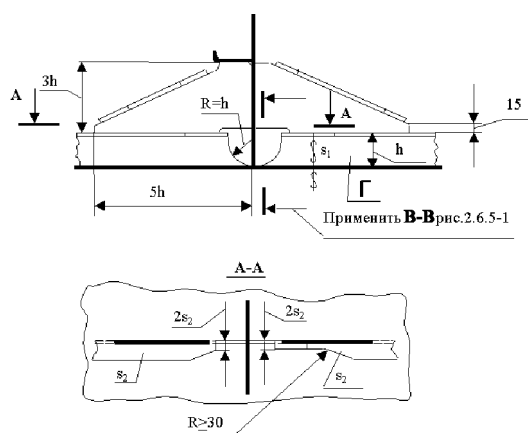


Рис. 2.6.5-2

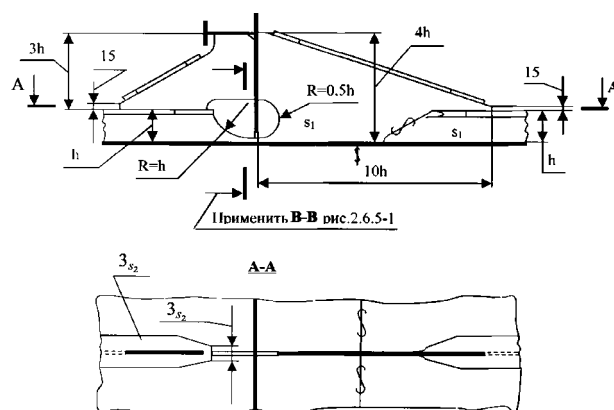


Рис. 2.6.5-3

2.6.6 При оформлении соединений деталей конструкций из цельнопрессованных панелей следует также руководствоваться [2.2.20](#), [2.2.22](#) и [2.12.5](#).

2.7 КЛЕПАНЫЕ И КЛЕЕКЛЕПАНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.7.1 Настоящие требования распространяются на корпусные конструкции, изготавливаемые с применением клепки и клееклепки.

Клееклепанные соединения рекомендуются для конструкций, выполняемых из клеесварных заготовок (панелей), а также конструкций, подверженных вибрации.

2.7.2 Расчетным диаметром заклепки считается номинальный диаметр стержня.

2.7.3 Клепка должна производиться холодными заклепками.

2.7.4 Клепанные и клееклепанные соединения могут быть выполнены внахлестку и встык на планках.

2.7.5 Материал для заклепок должен выбираться в зависимости от категории алюминиевого сплава, из которого изготовлена конструкция.

2.7.6 Применяемые типы заклепок и марки клеев должны соответствовать действующим стандартам.

2.7.7 Диаметр для клепанных и клееклепанных соединений листов следует выбирать в соответствии с [табл. 2.7.7](#).

Минимальная ширина перекрытия листов, соединяемых клепкой: для однорядных швов — $4d$, для двурядных швов — $6d$ и для трехрядных швов — $8d$.

Таблица 2.7.7

Расчетная толщина детали, мм	Диаметр заклепки, мм	
	рекомендуемый	допускаемый
0,5	2	2,6÷3
1,0	2	2,6÷3
1,5	3	2,6÷4
2,0	4	3÷5
2,5	5	4÷6
3,0	6	5÷8

Примечания: 1. За расчетную толщину следует принимать меньшую из толщин соединяемых деталей.
2. Для соединений, выполняемых на планках, толщина последних в расчет не принимается.

2.7.8 Расстояние оси заклепки от кромки листа должно быть не менее $2d$.

2.7.9 Параметры клепанных и клееклепанных соединений, применяемых в стыках, пазах и других конструктивных узлах, должны определяться расчетом прочности в зависимости от действующих усилий и назначения соединения. При расчетах прочности клеевая прослойка не учитывается, т.е. параметры клееклепанных соединений должны находиться как для клепанных.

2.7.10 Рекомендуемые значения шага t заклепок, расстояния между рядами заклепок и количества рядов заклепок приведены в [табл. 2.7.10](#).

Таблица 2.7.10

Тип шва	Параметры шва в зависимости от диаметра заклепки			Расположение заклепок
	шаг заклепочного шва	расстояние между рядами	минимальное количество рядов	
Прочный	$6 \div 7$	$2 \div 5$	1 — по набору; 2 — по стыкам и пазам	шахматное и цепное
Прочно-плотный	$3,5 \div 5,5$	2	$2 \div 3$ — по стыкам и набору	шахматное
Плотный	$3,5 \div 5$	2	2 — по стыкам и набору	шахматное

Примечание. Прочным называется шов, к которому предъявляются требования прочности без обеспечения непроницаемости.

Тип шва	Параметры шва в зависимости от диаметра заклепки			Расположение заклепок
	шаг заклепочного шва	расстояние между рядами	минимальное количество рядов	
Плотным называется шов, к которому предъявляются требования по обеспечению непроницаемости.				
Прочноплотным называется прочный непроницаемый шов.				

2.7.11 Длину стержня заклепок из алюминиевых сплавов диаметром до 8 мм следует выбирать по [табл. 2.7.11](#).

Таблица 2.7.11

Тип замыкающей головки	потайная	полу- потайная	плоская	полукруглая
Длина стержня, мм	$S + 0,9d$	$S + 1,1d$	$S + 1,2d$	$S + 1,3d$
Примечание. S — суммарная толщина соединяемых деталей, включая толщину прокладки, если последняя устанавливается, мм; d — диаметр заклепки, мм.				

2.7.12 Отверстия под заклепки рекомендуется выполнять сверлением.

2.7.13 Диаметры отверстий, в мм, под заклепки должны определяться по формуле:

$$dr = d_0 + \Delta_1, \quad (2.7.13)$$

где d_0 — диаметр заклепки, мм;

$\Delta_1 = 0,1$ при $d_0 = 2 - 5$ мм;

$\Delta_1 = 0,2$ при $d_0 = 6 - 8$ мм.

2.7.14 Все дефектные заклепки (слабые с эксцентрическими и надтреснутыми головками; с головками, отстающими от поверхности листа или полки профиля; с неправильно расклепанными или маломерными головками и тп.) должны быть заменены.

2.8 КЛЕЕСВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

2.8.1 Настоящие требования распространяются на корпусные конструкции, выполняемые с использованием клеесварных соединений.

Клеесварка рекомендуется для присоединения балок набора к обшивке (настилу) ресивера, выгородок и т.п., исключая районы этих конструкций, подверженные усилиям, способным вызвать отрыв набора от обшивки.

2.8.2 Применяемые типы сварных швов и марка клея должны соответствовать действующим стандартам.

2.8.3 Параметры клеесварных швов следует определять расчетом в зависимости от действующих усилий и толщин соединяемых листов.

Оптимальные значения диаметра сварных точек d , расстояния между центрами соседних точек в ряду t , расстояние между осями соседних рядов точек s и ширины привариваемой полки (отбуртовки) a приведены в [табл. 2.8.3](#).

Таблица 2.8.3

Расчетная толщина, детали S , мм	Диаметр сварных точек d , мм	Расстояние между центрами соседних точек в ряду t , мм	Расстояние между осями точек соседних рядов s , мм	Ширина отбуртовки (полки ребра) a , мм
0,5	3,0	10	12	10
0,8	3,5	13	15	12
1,0	4,0	15	18	14
1,2	5,0	17	20	16
1,5	6,0	20	24	18
2,5	8,0	30	36	22
3,0	9,0	35	42	26
2,0	7,5	25	30	20

Примечания: 1. Расчетным диаметром сварных точек следует считать диаметр d .
 2. За расчетную толщину S следует принимать меньшую из толщин соединяемых деталей.
 3. Соотношение свариваемых толщин деталей должно быть не более 2:1 для конструкций II категории и 3:1 для конструкций категории III.

2.8.4 Расстояние оси крайнего ряда от кромки полки (отбуртовки) должно быть не менее 8,0 мм при толщине деталей (0,5 — 1,5) мм и не менее 15 мм при толщине (2,0 — 3,0) мм.

2.8.5 Швы на свободных концах ребер жесткости должны выполняться с расстояниями между центрами соседних точек в ряду $0,5t$ на длину, равную двукратной высоте ребер. Допускается установка на свободных концах заклепок (см. [рис. 2.8.5](#)).

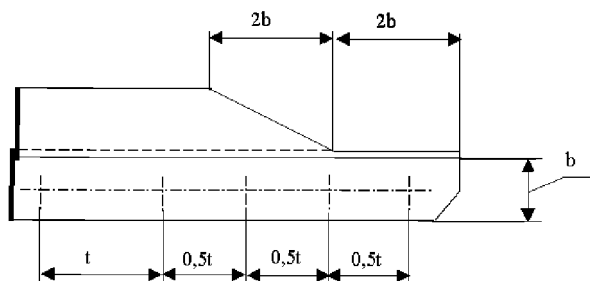


Рис. 2.8.5

2.9 СОЕДИНЕНИЯ КЛЕЕСВАРНЫХ ПАНЕЛЕЙ

2.9.1 Стыковые соединения клеесварных панелей рекомендуется изготавливать клееклепанями. Допускается выполнять стыки клепаными.

В соединениях клеесварных панелей следует совмещать в одной плоскости стыки по полотну и ребрам.

2.9.2 Длину панелей рекомендуется принимать равной длине отсека или секции. Следует применять панели с ребрами упябильбового и зетового профиля.

Для второстепенных конструкций допускается применять другие профили (уголки и т.п.).

2.9.3 Узел соединения клеесварных панелей между собой рекомендуется выполнять применительно к [рис. 2.9.3-1](#).

Рекомендуемая конструкция комбинированного узла соединения панелей между собой и с поперечной переборкой приведена на [рис. 2.9.3-2](#).

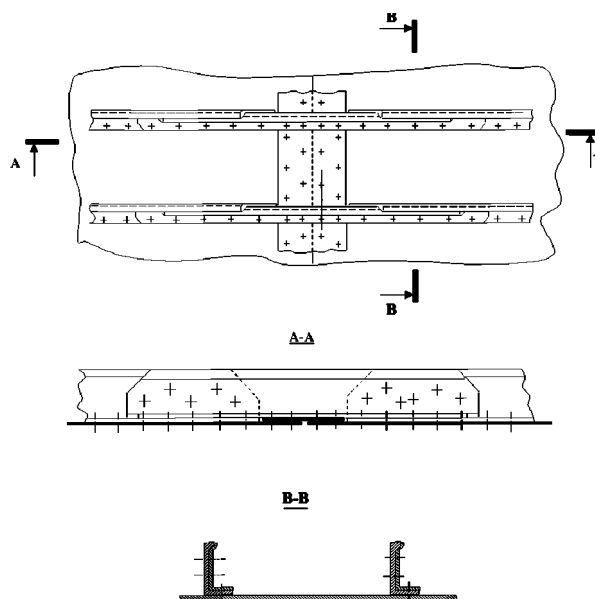


Рис. 2.9.3-1

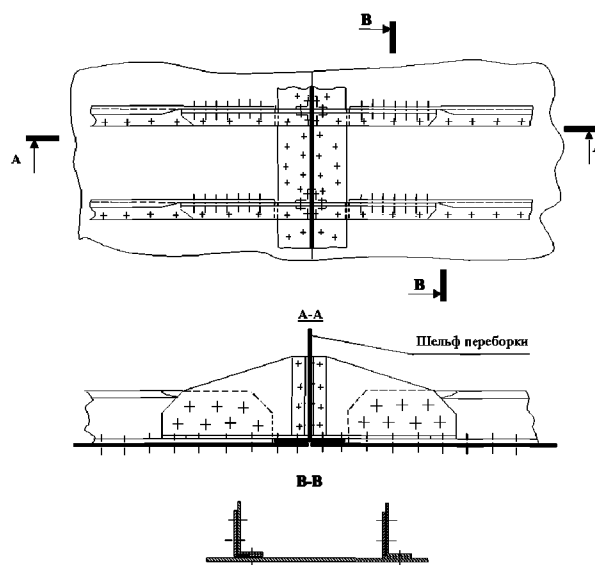


Рис. 2.9.3-2

2.10 ПАЛУБА И НАРУЖНАЯ ОБШИВКА

2.10.1 Толщина палубного стрингера, а при отношении расчетной длины к ширине судна меньше 5,0 также и толщина листов палубы, примыкающих к продольным переборкам, должны быть на 20 % больше толщины настила палубы. Ширина (в метрах) палубного стрингера и утолщенных листов у продольных переборок должна быть не менее определенной по формуле

$$b = 0,014L + 0,1. \quad (2.10.1)$$

В оконечностях, а также для нижних палуб (настила понтонов), увеличение толщины палубного стрингера и листов, примыкавших к продольным переборкам, не требуется.

2.10.2 Соединение ширстрека с палубным стрингером и усиленных листов палубы с продольными переборками должно выполняться двусторонними сварными швами.

Рекомендуется скруглять переход от ширстрека к палубному стрингеру. При этом радиус скругления ширстрека должен быть не менее 20 его толщин.

2.10.3 Если палуба прерывается на протяжении какого-либо отсека (например, машинного отделения), то в плоскости палубы по борту должны быть установлены бортовые стрингеры увеличенной высоты. Соединение бортовых стрингеров с продолжением палубы (и поперечными переборками) следует выполнять применительно к [рис. 2.10.3-1](#) и [2.10.3-2](#).

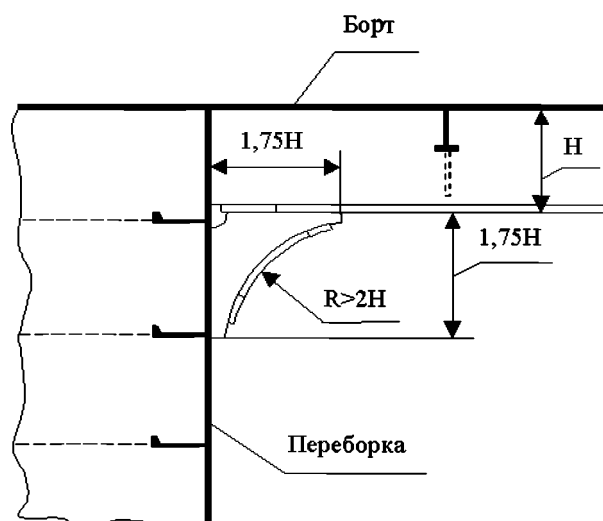


Рис. 2.10.3-1

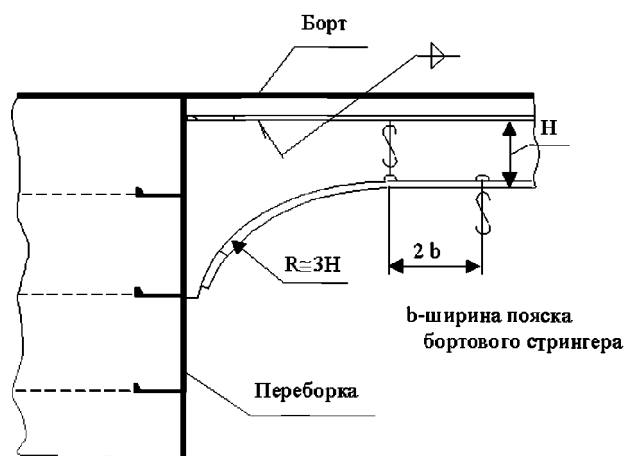


Рис. 2.10.3-2

2.10.4 Листы наружной обшивки и настилы палуб в местах креплений днищевых опор, пилонов, стоек, кронштейнов гребных валов, стабилизаторов и крыльевых устройств должны иметь толщину на 20 %, а листы наружной обшивки, подверженные усиленному механическому износу, на 40 % больше толщин примыкающих листов, находящихся вне района усиленного износа.

При применении для наружной обшивки цельнопрессованных панелей указанное утолщение обшивки допускается производить путем установки накладных листов, предусмотрев обварку по периметру этих листов.

2.11 НАДСТРОЙКИ И РУБКИ

2.11.1 Надстройки протяженностью более трех их высот и рубки, опирающиеся по длине не менее, чем на 3 жесткие поперечные связи (переборки, поперечные рамы, поддерживаемые раскосами и т.п.), считаются прочными.

2.11.2 Уменьшение участия надстройки (рубки) в общем изгибе судна допускается за счет:

введения подвижных (расширительных, гибких или скользящих) соединений по периметру поперечного сечения рубки;

опирания рубки только на две жесткие поперечные связи корпуса (поперечные переборки, рамные бимсы подкрепленные раскосами и т.п.).

2.11.3 Стойки стенок надстроек и рубок следует располагать в плоскостях балок набора палубы и крепить к палубе кницами. При несовпадении стоек с балками набора палубы под кницами должны быть предусмотрены ребра жесткости или иные конструкции, обеспечивающие восприятие опорного момента.

2.11.4 Концевые переборки надстроек и рубок должны опираться на поперечные переборки корпуса. В противном случае под концевыми переборками должны быть предусмотрены скругленные кницы достаточных размеров, обеспечивающие передачу усилий на борта и понтон.

2.11.5 Вырезы для дверей в продольных стенках, включая продольные переборки надстроек и рубок, расположенных в пределах района $0,6L$ средней части судна, должны быть подкреплены утолщенными листами, расположенными сверху и снизу выреза.

При расстоянии между расширительными или скользящими соединениями, меньше трех высот надстройки (рубки), достаточным является скругление углов вырезов.

Вырезы под иллюминаторы по верхней и нижней кромкам должны быть подкреплены усиленными продольными связями, отстоящими от кромок вырезов не менее, чем на $10S$, где S — толщина листов бортовой обшивки надстройки (прочной рубки), при этом в углах вырезов следует предусматривать дополнительные подкрепления (см. [рис. 2.11.5](#)).

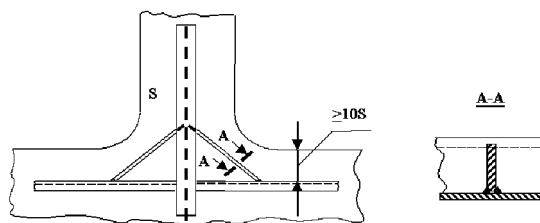


Рис. 2.11.5

2.11.6 При ширине межоконных перемычек в надстройке или рубке меньше половины ширины окна (при наличии двух и более окон) толщина листа в районе окон должна быть увеличена на 40 %, по сравнению с примыкающими листами надстройки.

2.12 ПЕРЕБОРКИ

2.12.1 Расположение продольных и поперечных переборок должно быть согласовано с расположением стрингеров и флоров. Продольные переборки должны быть подкреплены горизонтальными балками.

2.12.2 Стойки поперечных и продольных переборок, а также стенок надстроек и рубок должны располагаться в плоскости балок днищевого и палубного набора.

При навесной системе, а также в случае нарезной системы набора skeгов (имеющих килеватую форму обводов) нижние концы стоек должны закрепляться на горизонтальном ребре жесткости (см. [рис. 2.2.10-2](#) и [2.2.19-2](#)).

В случае симметрии местных эксплуатационных нагрузок относительно переборки и невозможности закрепления нижних концов стоек на горизонтальном ребре, допускается их свободное окончание с обязательной установкой (в районе концов стоек) горизонтального ребра жесткости с противоположной стороны обшивки переборки (варианты 2 на [рис. 2.2.19-1](#) и [2.2.19-4](#)).

2.12.3 Концы стоек продольных переборок над стрингерами должны крепиться в соответствии с [рис. 2.2.10-3](#) и [рис. 2.12.3-1](#).

Концы стоек под карлингсами и бимсами должны крепиться в соответствии с [рис. 2.12.3-2](#).

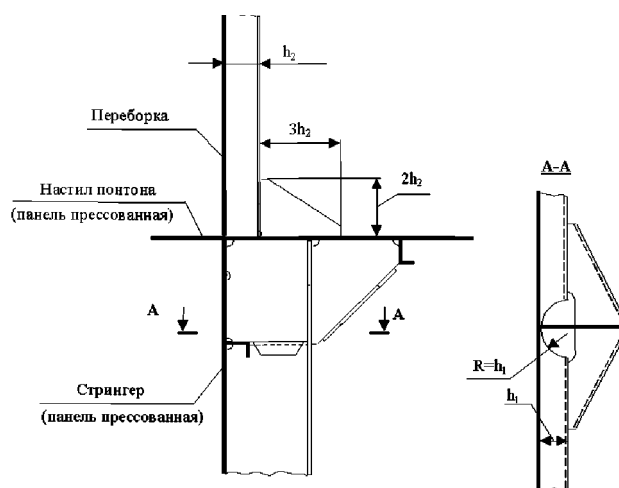


Рис. 2.12.3-1

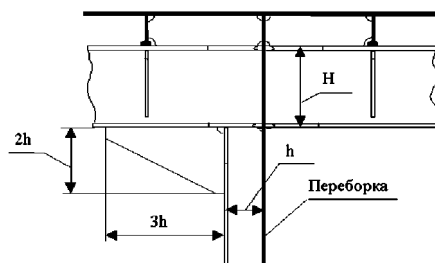


Рис. 2.12.3-2

2.12.4 Верхние концы стоек переборок, расположенных вне районов интенсивной вибрации (исключая переборки цистерн), допускается срезать «на ус».

2.12.5 Стойки поперечных и продольных переборок в узлах прохода через проникаемые палубы и платформы должны быть непрерывными. Эти узлы должны выполняться в соответствии с [рис. 2.12.5-1](#).

На непроницаемых палубах (платформах) вертикальные стойки переборок рекомендуется выполнять разрезными и крепить к палубе (см. [рис. 2.12.5-2](#)).

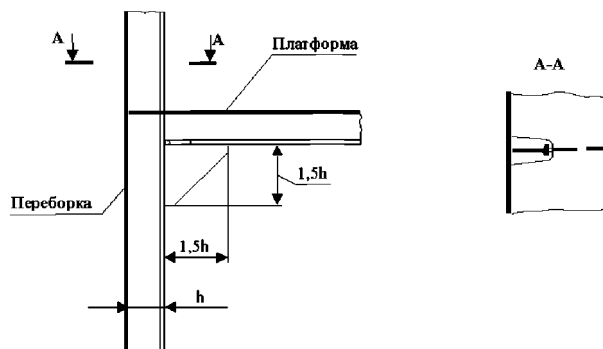


Рис. 2.12.5-1

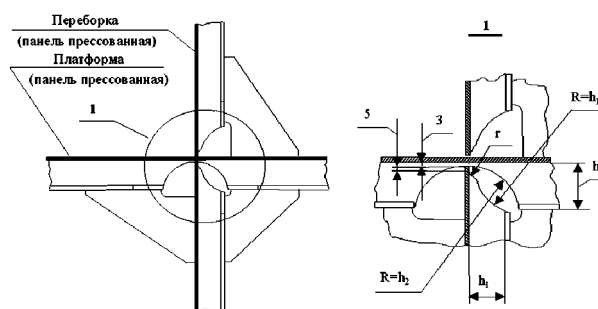


Рис. 2.12.5-2

2.12.6 Толщина листов обшивки переборок, примыкающих к днищу, должна быть увеличена на 1 мм. При применении прессованных панелей допускается эту толщину не увеличивать.

2.12.7 Продольные переборки должны заканчиваться на поперечных переборках. В месте окончания должна быть предусмотрена установка скругленных книц (см. [рис. 2.12.7](#)), соединяющих продольную переборку с установленными в ее плоскости основными продольными связями палубы и днища (днищевыми стрингерами, карлингсами).

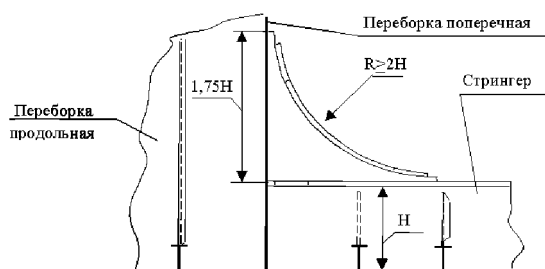


Рис. 2.12.7

2.13 ФАЛЬШБОРТ

2.13.1 Фальшборт должен быть установлен в местах, указанных в разд. 8 части III «Устройства, оборудование и снабжение» настоящих Правил.

Высота фальшборта, измеренная от верхней кромки планширя, должна соответствовать требованиям 8.1 части III «Устройства, оборудование и снабжение» настоящих Правил.

2.13.2 Толщина листов фальшборта, в мм, должна быть не менее величины, определяемой по формуле

$$S = 0,05L + 1,5. \quad (2.13.2)$$

2.13.3 Планширь фальшборта из полосового или профильного материала должен иметь толщину не менее чем на 1,0 мм больше толщины листов фальшборта. Допускается в качестве планширя применять тонкостенные трубы.

2.13.4 Фальшборт должен быть подкреплён стойками, расположенными на расстоянии не более 1,2 м друг от друга.

Толщина стоек должна быть на 1,0 мм больше толщины листов фальшборта. Ширина нижнего конца стойки должна быть не менее ширины планширя.

Ширина фланца стойки должна быть не менее 60 мм.

Если в фальшборте делаются вырезы, то стойки у концов этих вырезов должны быть усилены.

2.13.5 Стойки должны располагаться в плоскости подпалубного набора, переборок или специально устанавливаемых подкреплений и соединяться с палубой, фальшбортом и планширем сваркой или клепкой.

2.14 ФУНДАМЕНТЫ ПОД МЕХАНИЗМЫ

2.14.1 Фундаменты под судовые механизмы должны обеспечивать надежное крепление механизмов к жестким связям корпуса. Жесткость фундаментов под судовые механизмы и перекрытий, на которые они устанавливаются, должны соответствовать требованиям, предъявляемым техническими условиями на монтаж и эксплуатацию этих механизмов.

2.14.2 Конструктивные узлы и связи фундаментов должны быть изготовлены из того же материала, что и основной корпус. Для соединения фундаментов с корпусом должны применяться сварка или клепка (см. [2.5](#) и [2.7](#)).

2.14.3 Продольные фундаментные балки под главные механизмы должны быть совмещены с днищевыми стрингерами или должны быть предусмотрены дополнительные связи, обеспечивающие плавную передачу усилий на корпус.

2.14.4 Концы продольных балок фундамента должны соединяться с поперечными переборками или усиленными флорами и заканчиваться кницами, расположенными в плоскости продольных балок и доведенными до поперечных связей (флоров, рамных шпангоутов).

2.14.5 Стенки продольных фундаментных балок должны быть на 40 % толще стенок днищевых стрингеров. Отступление от этого требования допускается только в случае подтверждения его обоснованности расчетами прочности и жесткости фундамента.

2.14.6 По верхней кромке продольных фундаментных балок должны быть предусмотрены горизонтальные пояски из непрерывных полос толщиной на 40 % больше толщины листов стенок фундамента.

Горизонтальные пояски фундаментных балок в районе расположения крепежных болтов должны быть подкреплены вертикальными кницами. Вертикальный размер этих книц должен быть не менее чем в два раза больше их горизонтального размера, а толщина равной или на 1 мм меньше толщины стенки фундамента.

2.14.7 Продольные балки фундаментов должны быть подкреплены на каждом флоре поперечными бракетами, связывающими продольные балки друг с другом, и кницами, поставленными с наружной стороны балок, считая от осевой линии вала машины. Ширина бракет должна быть не меньше их высоты, а толщина — на 20 % больше толщины стенок флоров. Свободные кромки бракет и книц при длине, превышающей 40 толщин бракет или книц, должны иметь поясok или фланец. Концы поясков должны быть срезаны «на ус».

2.14.8 В бракетах и кницах допускается выполнение облегчающих вырезов.

2.14.9 Допускается выполнять вырезы в стенках продольных балок фундамента. Вырезы должны быть подкреплены.

2.14.10 Фундаменты малых вспомогательных механизмов могут быть выполнены в виде кронштейнов, присоединяемых к набору корпусных конструкций. Фундаменты следует размещать на наименее напряженных участках связей, таким образом, чтобы опорные элементы фундамента были установлены в плоскостях стенок балок набора.

2.15 ПЛАТФОРМЫ

2.15.1 Размеры элементов набора платформы должны назначаться на основании расчетов прочности.

В платформах допускается использование алюминиевых сплавов с пониженными по сравнению с материалом основного корпуса механическими свойствами, а также трехслойных панелей с алюминиевыми и полимерными несущими слоями.

Ребра жесткости платформ рекомендуется совмещать с вертикальным набором корпуса (шпангоутами, стойками переборок).

2.15.2 В качестве ребер жесткости платформ рекомендуется использовать балки зетового, углобульбового или уголкового профилей.

2.16 ВЫГОРОДКИ

2.16.1 Приведенные ниже требования относятся к прочным выгородкам, являющимися опорами для балок набора корпуса.

2.16.2 В нижней и верхней частях выгородок следует предусматривать утолщенные листы обшивки шириной не менее двух высот проходящих через них балок набора и толщиной:

равной толщине стенок, проходящих через низ балок основного набора — для верхней части;

увеличенной на 1 — 2 мм относительно стенок балок основного набора — для нижней части.

2.16.3 Обшивка выгородок должна быть подкреплена стойками зетового, углубульбового или уголкового профилей. Стойки к обшивке допускается крепить с помощью клеесварки, клееклепки, роликовой сварки или клепки.

В качестве стоек вместо профилей допускаются отгибы (отбуртовки) вертикальных кромок листов обшивки. При этом соединение листов по ширине переборок должно выполняться при помощи клепки или контактной сварки отогнутых кромок.

Допускается применение гофрированных переборок с горизонтальным или вертикальным расположением гофров коробчатого, либо волнистого профиля и трехслойных панелей.

2.16.4 Вырезы под двери в выгородках должны быть подкреплены установкой утолщенного листа или дополнительных ребер жесткости.

2.17 ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МОСТОВ СКОРОСТНЫХ КАТАМАРАНОВ И СКЕГОВЫХ СВП

2.17.1 Основные конструкции соединительного моста должны изготавливаться цельносварными из листов, профилей и цельнопрессованных панелей. Панельная часть конструкции должна быть подкреплена рамными поперечными связями (рамными шпангоутами или бракетами).

2.17.2 Конструкции соединительного моста в носовой части судна на длине не менее чем $0,35L$ должны выполняться по нарезной системе набора.

2.17.3 Узлы соединения рамных поперечных балок соединительного моста с рамными шпангоутами корпусов рекомендуется выполнять применительно к [рис. 2.17.3-1](#) и [2.17.3-2](#).

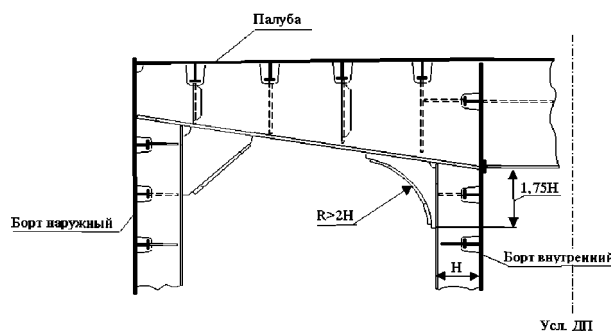


Рис. 2.17.3-1

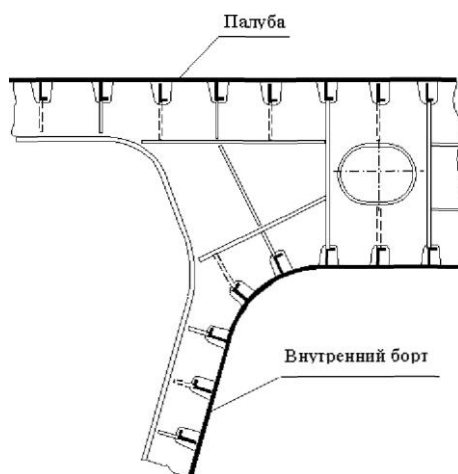


Рис. 2.17.3-2

2.17.4 Узлы соединения конструкций соединительного моста с поперечными переборками корпусов рекомендуется выполнять с использованием утолщенных листов в районах перехода стенок конструкций моста в обшивку переборки или продления усиленной стенки балки моста и плавного перехода ее в обшивку переборки (см. [рис. 2.17.4-1](#) и [2.17.4-2](#)).

В средней части судна (в пределах $0,25L$ в нос и в корму от мидель-шпангоута) допускается использование рамных пронцаемых конструкций моста (см. [рис. 2.17.4-2](#)).

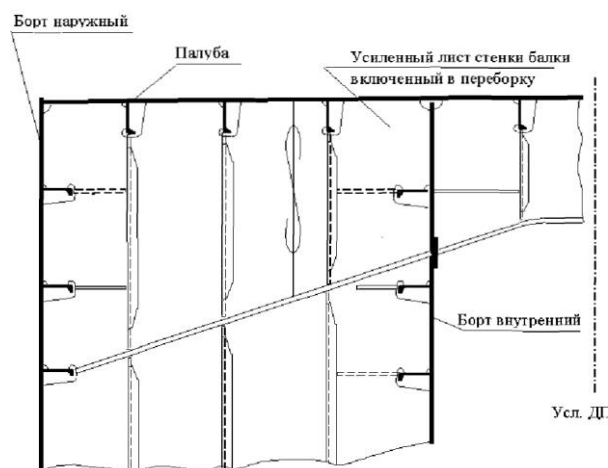


Рис. 2.17.4-1

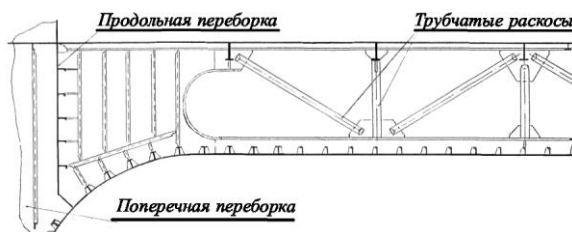


Рис. 2.17.4-2

2.18 ОСОБЕННОСТИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СВП

2.18.1 Аппарель.

2.18.1.1 Аппарель, как правило, должна быть выполнена цельносварной из листов, профилей и прессованных панелей.

2.18.1.2 Толщина настила аппарели выбирается из условий прочности и должна приниматься не меньше толщины палубы, рассчитанной для размещения колесной техники.

2.18.1.3 Размеры связей аппарели назначаются из расчетов прочности.

2.18.2 Ресивер.

2.18.2.1 Ресивер, как правило, должен выполняться клепаным из листов, профилей и панелей.

Допускается выполнять ресивер сварной конструкции или из неметаллических материалов при наличии расчетов прочности, выполненных по методике, согласованной с Регистром.

В качестве продольных балок рекомендуется применять ребра углобугельного и зетового профиля.

2.18.2.2 Толщина листов обшивки ресивера примыкающих к борту, шириной не менее 300 мм, должна быть на 20 % больше толщины обшивки остальной части ресивера.

Соединение усиленного листа ресивера с бортом следует выполнять сварным.

2.18.2.3 Часть ресивера, выполненная из прессованных панелей, должна быть подкреплена рамными бимсами.

2.18.2.4 Конструкция для крепления гибкого ограждения должна быть непрерывной по длине ресивера

2.18.3 Скеги.

2.18.3.1 Скеги должны изготавливаться цельносварными из листов, профилей и цельнопрессованных панелей.

Участки скегов, подверженные гидродинамическим ударам, должны выполняться по нарезной системе набора.

2.18.3.2 Панельная часть (сварные, прессованные панели) скегов должна быть подкреплена бракетами или рамными шпангоутами.

2.18.3.3 Соединение в скегах днищевой части обшивки с бортовой должно выполняться двусторонними сварными швами.

2.18.4 Пилоны.

2.18.4.1 Пилоны должны выполняться клепаными (клееклепаными) из листов, профилей и цельнопрессованных панелей.

2.18.4.2 Панельные части пилонов (клепаные панели с ребрами углобугельного или зетового профиля) должны быть подкреплены горизонтальными (нервюры) и вертикальными (лонжероны) бракетами.

Вертикальные бракеты должны выполняться неразрезными.

2.18.4.3 Толщина листов обшивки пилон, примыкающих к фундаменту под пилон, должна быть не менее чем на 40 % больше толщины обшивки пилон.

Соединение пилон с гондолой двигателя и фундаментом на корпусе следует выполнять заклепками (болтами).

2.18.5 Шахты вентиляторные.

2.18.5.1 Шахты вентиляторные рекомендуется выполнять клееклепаными из листов, профилей и цельнопрессованных панелей. Допускается изготовление шахты сварной или клепаной конструкции.

В качестве вертикальных стоек рекомендуется применять ребра углобугельного и зетового профиля.

2.18.5.2 Толщина листов обечайки шахты, примыкающих непосредственно к настилам, должна быть на 10 — 20 % больше толщины листов обечайки.

2.18.5.3 Рекомендуемая конструктивная схема вентиляторной шахты приведена на [рис. 2.18.5.3](#).

Обечайка шахты должна быть подкреплена горизонтальным набором (ободами), расположенным с внешней стороны обечайки.

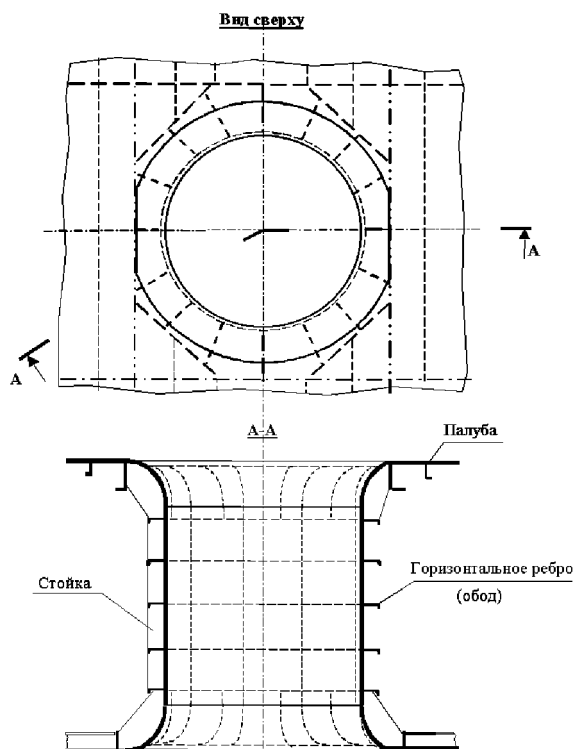


Рис. 2.18.5.3

2.19 ОСОБЕННОСТИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПК И ГЛИССИРУЮЩИХ СУДОВ**2.19.1 Форштевень.**

2.19.1.1 Форштевни, как правило, следует выполнять сварной конструкции из листов.

2.19.1.2 Толщина листов сварного форштевня (в мм) должна быть не менее определяемой по формуле

$$S = 1,2 (0,05L + 3). \quad (2.19.1.2)$$

Принятая толщина листов форштевня должна быть не менее толщины горизонтального кия в месте притыкания его к форштевню.

ширина поперечного сечения форштевня (в мм), измеренная на уровне ватерлинии в водоизмещающем режиме, должна быть не менее, чем $(2,5L + 200)$.

2.19.1.3 Листы форштевня следует подкреплять горизонтальными бракетами, установленными не реже чем через 0,5 м. Расположение бракет по высоте форштевня должно быть согласовано с набором корпуса. При уменьшении расстояния между бракетами до 0,3 м допускается уменьшение толщины листов форштевня по сравнению с указанным в [2.19.1.2](#) на 20 %. Во всех случаях толщина листов форштевня должна быть не менее толщины примыкающих листов наружной обшивки.

2.19.1.4 Толщина бракет должна приниматься равной толщине листов наружной обшивки, примыкающих к форштевню.

2.19.1.5 Бракеги должны перекрывать стыковое соединение форштевня с наружной обшивкой на величину не менее, чем 10 толщин последней и, по возможности, доводится до близлежащих шпангоутов и привариваться к ним. Бракеги, которые не могут быть доведены до набора, должны иметь кромку, оканчивающуюся на наружной обшивке, образованную по плавной кривой.

2.19.1.6 В диаметральной плоскости от кия до палубы должно устанавливаться ребро жесткости (лист) с пояском по свободной кромке. Толщина стенки и полки ребра должна быть не меньше принятых для поперечных бракет.

2.19.2 Подкрепления корпуса в районах установки стоек и кронштейнов крыльевых устройств и гребных валов.

2.19.2.1 Под каждой стойкой или кронштейном крыльевых устройств и гребных валов должно быть, как правило, не менее одной продольной и двух поперечных связей (стрингеров, рамных шпангоутов или флоров, переборок).

В отдельных случаях может быть потребована установка дополнительных связей под стойками и кронштейнами.

2.19.2.2 Наружная обшивка в районах размещения стоек и кронштейнов крыльевых устройств и гребных валов должна иметь увеличенную толщину в соответствии с [2.10.4](#).

2.19.2.3 В конструкциях подкреплений допускается выполнение вырезов, с обязательным их подкреплением, для осмотра и окраски трудно-доступных мест

2.19.2.4 При навесной системе набора в районе подкреплений флоры и рамные шпангоуты следует приваривать к наружной обшивке (см. [2.1.14](#)).

2.19.2.5 С внешней стороны наружной обшивки, в местах крепления кронштейнов крыльевых устройств и гребных валов, допускается приварка накладных уравнивающих планок из материала корпуса. Толщину планок следует принимать не менее удвоенной толщины наружной обшивки в месте их установки.

Размеры планок выбираются из условия удаления швов их приварки к обшивке на расстояние не менее трех толщин планки от фланца.

Соединения стальных кронштейнов с планками, при выполнении кронштейнов из стали, должно выполняться с применением изолирующих прокладок.

3 ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ КРЫЛЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ

3.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

3.1.1 Выбор общей схемы крыльевого устройства, расположения и размеров несущих и вспомогательных плоскостей, стабилизаторов, кронштейнов, стоек, а также формы поперечного сечения элементов крыльевого устройства должен производиться из условий обеспечения необходимых гидродинамических характеристик, при этом должна быть принята наиболее целесообразная конструктивная схема крыльевого устройства, позволяющая обеспечить его прочность.

3.1.2 Основная несущая плоскость, нижние части стоек и стабилизаторов, примыкающие к ней, должны выполняться, как правило, сплошными.

В полях проницаемых элементов крыльев должны быть просверлены отверстия: одно — в верхней части полости, второе — в нижней.

В полых непроницаемых элементах крыльевых устройств должны быть предусмотрены спускные пробки для слива воды.

3.1.3 Элементы крыльевых устройств сплошной конструкции следует выполнять из одного листа (плиты). Допускается изготавливать вспомогательные (стартовые) элементы КУ из алюминийево-магниевых сплавов, при этом эти элементы должны быть сплошными.

3.1.4 Полые элементы крыльевых устройств, конструкции которых выполнены непроницаемыми, должны быть испытаны на непроницаемость наливом воды с напором 50 кПа или надувом воздуха с избыточным давлением 20 кПа.

3.2 НЕСУЩАЯ ПЛОСКОСТЬ

3.2.1 Несущая плоскость должна быть непрерывной вдоль размаха и не разрезаться на стойках. При изменении угла килеватости несущей плоскости и установочных углов ее элементов допускается расчленение плоскости на стойках (см. [рис. 3.2.1](#)).

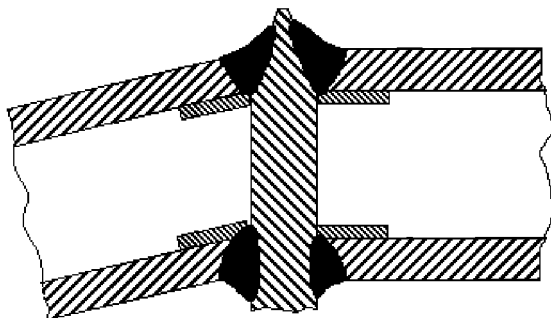


Рис. 3.2.1

3.2.2 При полый конструкции крыла ребра жесткости должны располагаться вдоль размаха крыла (см. [рис. 3.2.2-1](#)).

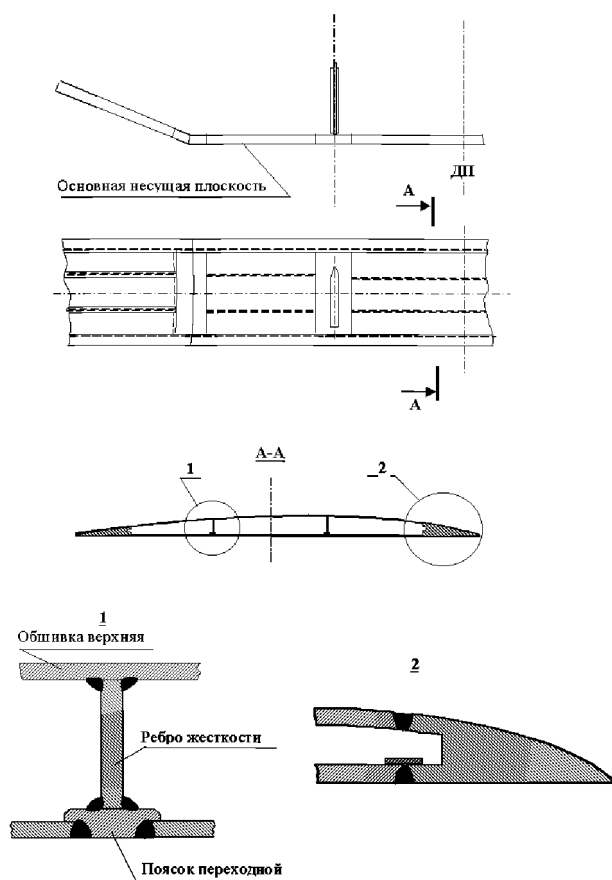


Рис. 3.2.2-1

Допускается применение ребер жесткости, устанавливаемых вдоль хорды крыла (см. [рис. 3.2.2-2](#)).

Каждое ребро жесткости должно привариваться к верхней или нижней части обшивки крыла.

Соединение ребер жесткости, установленных вдоль размаха, с верхней обшивкой основной несущей плоскости и с нижней обшивкой стартовой плоскости должно выполняться без переходного пояса (см. [рис. 3.2.2-1](#)).

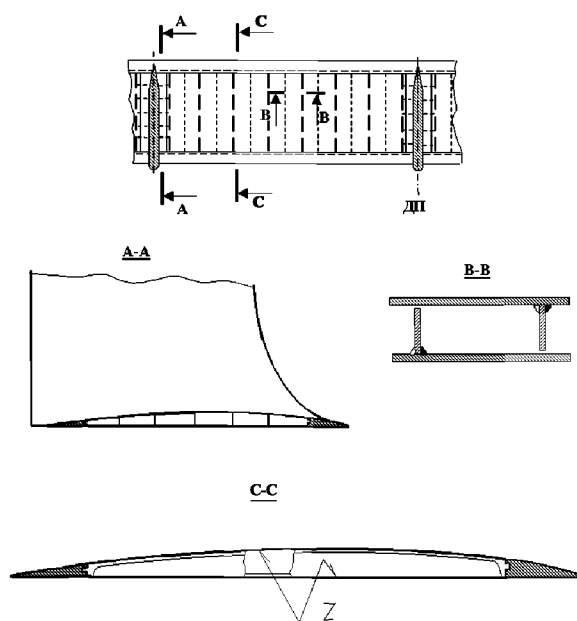


Рис. 3.2.2-2

3.2.3 В местах присоединения к полуму крылу примыкающих конструкций (стоек, стабилизаторов) в крыле должны быть предусмотрены сплошные вставки, изготавливаемые из толстых листов или поволоков (см. [рис. 3.2.3-1](#)), а в примыкающих конструкциях — утолщенные листы (см. [рис. 3.2.3-2](#)).

Вместо сплошных вставок могут быть использованы утолщенные листы, подкрепленные дополнительными ребрами жесткости или бракетами (см. [рис. 3.2.3-3](#)).

Утолщение листов должно быть симметричным относительно нейтральной оси обшивки полого элемента.

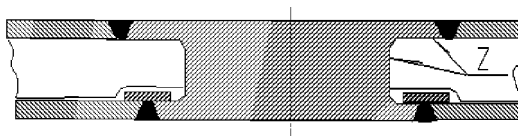


Рис. 3.2.3-1

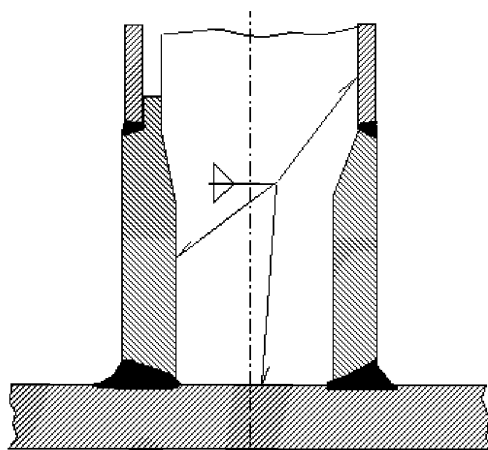


Рис. 3.2.3-2

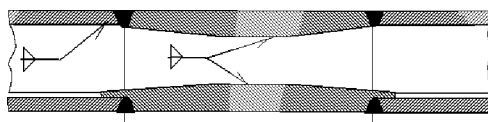


Рис. 3.2.3-3

3.3 СТАБИЛИЗАТОРЫ, СТОЙКИ, КРОНШТЕЙНЫ

3.3.1 На конструкции стабилизаторов и стоек распространяются все требования [3.2](#).

Нижние части полых конструкций стабилизаторов и стоек, примыкающих к основной несущей плоскости, должны усиливаться введением сплошных вставок или путем установки утолщенных листов, подкрепленных дополнительными ребрами жесткости или бракетами.

3.3.2 Ребра жесткости полого стабилизатора должны располагаться вдоль его размаха. Если между несущей плоскостью и стабилизатором нет сплошной вставки, то ребра жесткости стабилизаторов должны располагаться так, чтобы они являлись продолжением ребер жесткости несущей плоскости аналогично [рис. 3.3.2](#).

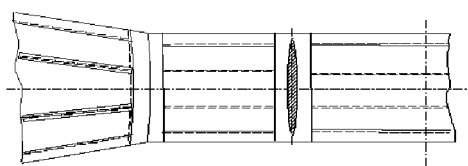


Рис. 3.3.2

3.3.3 Ребра жесткости полрой части стойки должны располагаться вдоль стойки. Крепления ребер жесткости к обшивке осуществляются согласно требованиям [3.2.2](#).

3.3.4 Крепление стойки к корпусу судна должно осуществляться с помощью вертикального, горизонтального или наклонного фланца. Стойка в местах крепления к несущей плоскости и фланцу должна иметь скругление входящей кромки для обеспечения плавного перехода в местах притыкания (см. [рис. 3.3.4](#)).

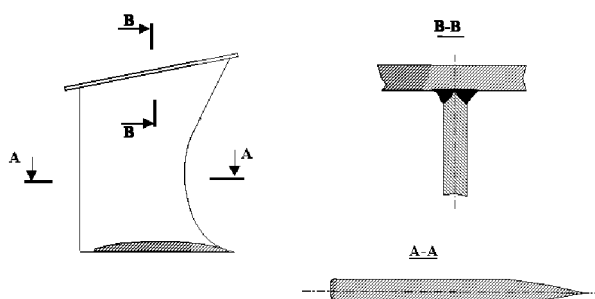


Рис. 3.3.4

3.3.5 Боковые кронштейны допускается выполнять полыми.

Ребра жесткости боковых кронштейнов должны быть расположены вдоль их длины. Крепление ребер жесткости к обшивке должно осуществляться согласно указанному в [3.2.3](#). По входящей и выходящей кромкам кронштейна должны быть установлены соединительные элементы сплошного сечения.

3.4 СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

3.4.1 Общие указания.

3.4.1.1 Узлы сварных соединений крыльевых устройств должны располагаться в наименее напряженных местах.

3.4.1.2 Типы сварных швов и конструктивные элементы подготовки кромок под сварку должны соответствовать стандартам, согласованным Регистром.

3.4.1.3 Усиления стыковых швов на поверхностях, омываемых водой, должны быть сняты заподлицо с основным металлом и зашлифованы.

3.4.1.4 Угловые швы на поверхностях, омываемых водой, должны быть зашлифованы так, чтобы был обеспечен плавный переход к основному металлу.

3.4.2 Стыковые соединения.

3.4.2.1 Сварные стыковые соединения деталей сплошных крыльев должны выполняться двусторонним швом с X-образной разделкой кромок.

3.4.2.2 Соединения листов обшивки полых крыльев между собой и с другими элементами, являющимися частью наружной поверхности крыла, должны выполняться стыковыми швами с разделкой кромок (двусторонними или односторонними с подваркой). При недоступности для сварки с противоположной стороны стыковые швы должны выполняться на остающейся подкладке или «в замок» (см. [рис. 3.4.2.2](#)). Материал подкладки должен быть той же марки, что и основной материал.

Верхняя обшивка основной несущей плоскости и нижняя обшивка стартовой плоскости крыла должны соединяться с концевыми соединительными элементами (заполнителями) двусторонним стыковым швом.

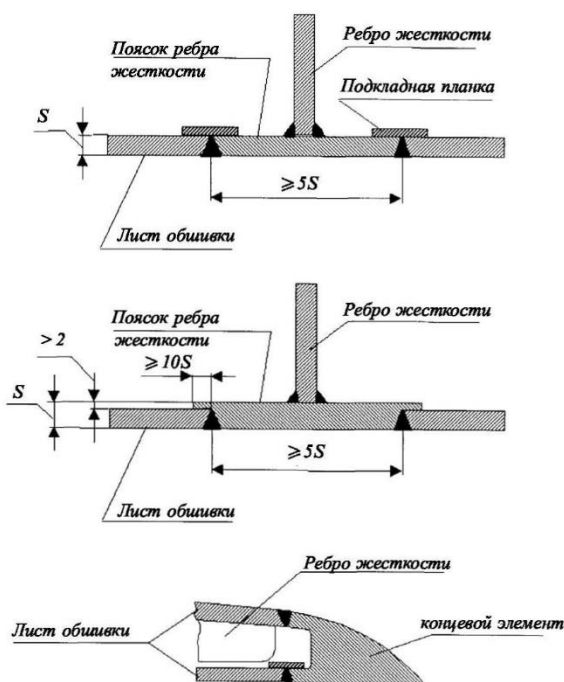


Рис. 3.4.2.2

3.4.2.3 Пояски ребер жесткости, являющиеся частью наружной обшивки полого крыла, должны соединяться с наружной обшивкой в соответствии с [рис. 3.4.2.2](#).

3.4.3 Тавровые соединения.

3.4.3.1 Тавровые и угловые соединения деталей сплошных крыльев должны выполняться швами с двусторонней разделкой кромок и сплошным проваром. Если в тавровом соединении притыкаемый лист более чем в 1,5 раза толще основного листа и если при этом толщина его равна или превышает 40 мм, допускается применение шва с двусторонней разделкой кромок без сплошного провара. Расчетное сечение шва при этом не должно быть меньше 0,7 толщины более тонкого листа.

3.4.3.2 Тавровые соединения внутренних ребер жесткости с обшивкой крыльев, боковых кронштейнов и с поясками должны выполняться сплошным двусторонним швом. В конструкциях боковых кронштейнов допускается соединение ребер жесткости с обшивкой прорезных швом «в шип» применительно к [рис. 3.4.3.2](#).

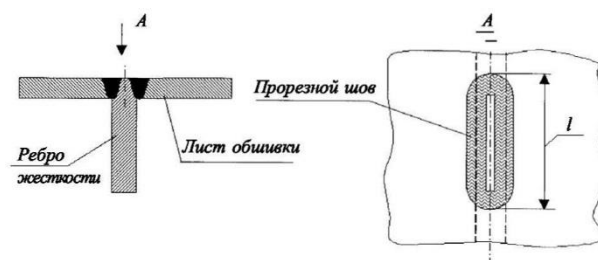


Рис. 3.4.3.2

4 ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ГИБКИХ ОГРАЖДЕНИЙ

4.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

4.1.1 Приведенные ниже требования относятся к гибким ограждениям (ГО) амфибийных и скеговых судов на воздушной подушке, изготовленным из резинотканевых или других одобренных Регистром материалов толщиной ($s \leq 6$ мм) применением клеевых, клеепрошивных, болтовых и других соединений.

4.1.2 Тип ГО и его конструктивная схема должны определяться на начальных стадиях проектирования, исходя из условий обеспечения необходимых ходовых, мореходных и прочих эксплуатационных качеств СВП.

4.1.3 Выбор размеров, конструкции, типа основных соединений и узлов ГО должен производиться с учетом опыта проектирования и эксплуатации аналогичных судов и на основании анализа результатов лабораторных испытаний прочности опытных образцов, изготовленных по технологии и в условиях предприятия-изготовителя под техническим наблюдением Регистра. Перечень узлов, подлежащих лабораторным испытаниям, и виды необходимых испытаний согласовываются Регистром.

4.1.4 При отсутствии прототипа размеры соединений и узлов ГО должны назначаться из условия обеспечения их равнопрочности основному материалу при статическом растяжении.

4.1.5 Результаты лабораторных испытаний прочности узлов должны быть представлены Регистру.

4.1.6 При наличии положительного опыта эксплуатации близкого прототипа допускается частичное или полное исключение лабораторных испытаний материалов, соединений и узлов ГО. Решение об исключении или сокращении объема лабораторных испытаний должно быть согласовано с Регистром.

4.1.7 Общие объемы испытаний должны устанавливаться с учетом степени новизны и уровня конструктивной преемственности, разрабатываемых ГО по отношению к существующим. Для конструкций ГО, отличающихся принципиальной новизной технических решений, конструкционными материалами или предполагаемыми условиями эксплуатации должно быть предусмотрено изготовление и испытание опытного комплекта ограждения.

4.1.8 Опытный комплект ГО должен быть испытан в эксплуатационных условиях в пределах предусмотренного срока службы по программе, согласованной Регистром. В обоснованных случаях целесообразно изготовление и испытание двух и более опытных комплектов ГО или опытных секций для выбора лучшего варианта конструкции.

4.1.9 Результаты периодических осмотров технического состояния комплектов ГО, находящихся в опытной эксплуатации, должны оформляться соответствующими актами, содержащими рекомендации по их текущему ремонту и дальнейшему совершенствованию конструкции. Периодичность осмотров согласовывается с Регистром. Отчет по результатам испытаний опытного комплекта ГО, содержащий данные о фактических эксплуатационных характеристиках конструкции, должен быть представлен Регистру.

4.1.10 С целью увеличения надежности ГО при выборе марки материала следует отдавать предпочтение материалам, обладающим стабильными свойствами в эксплуатационных условиях (при длительном нахождении в воде, воздействии нефтепродуктов, солнечной радиации, низких температур и т. д.). Снижение прочности материала при длительном намокании не должно превышать 20 %.

4.2 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ УЗЛОВ И СОЕДИНЕНИЙ ГИБКОГО ОГРАЖДЕНИЯ

4.2.1 Основными конструктивными узлами ГО (см. [рис. 4.2.1](#)) являются:
узел монтажного стыка (соединение секций);
узел крепления ГО к корпусу СВП;
узел соединения полотнищ (соединительные швы);
прочие узлы (присоединение оттяжки, диафрагмы и комингса к полотнищу;
полотнища с отверстиями; узел крепления съемного элемента).

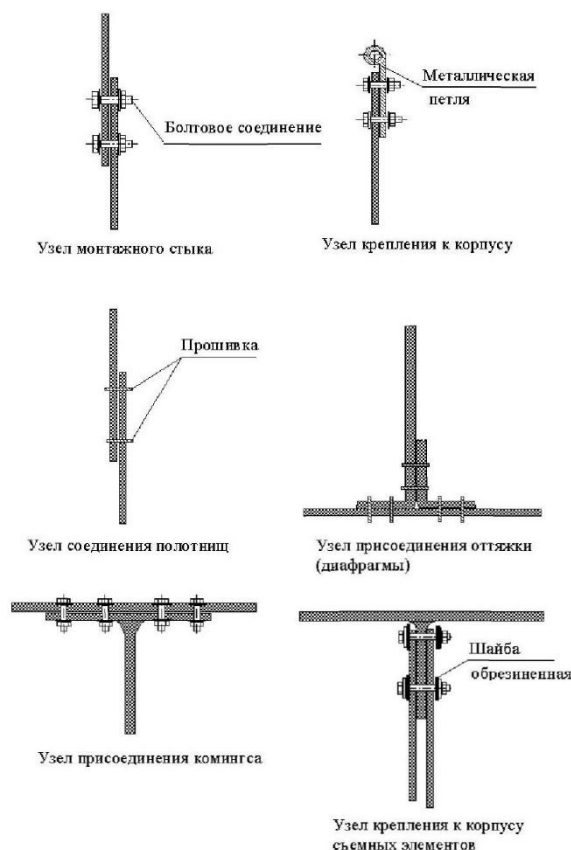


Рис. 4.2.1

4.2.2 Конструктивное оформление узлов ГО выбирается из условия обеспечения его работоспособности в пределах предусмотренного срока службы, в соответствии с требованиями [4.1.3](#) и [4.1.4](#).

4.2.3 В высоконагруженных узлах ГО из высокопрочных материалов (с прочностью при разрыве 4000 Н/м и выше) рекомендуется использование соединений на алюминиевых заклепках взамен соединений с прошивкой.

4.3 КОНСТРУКЦИЯ ГИБКОГО ОГРАЖДЕНИЯ

4.3.1 Конструкция ГО должна обеспечивать его надежную работу во всех условиях эксплуатации при действии эксплуатационных факторов, определяемых техническим заданием на проектирование.

4.3.2 Для обеспечения работоспособности и ремонтпригодности ГО в пределах установленного срока службы конструкция должна предусматривать возможность замены элементов, подверженных ускоренному износу.

4.3.3 Узлы креплений не должны являться причиной повреждений прилегающих элементов ГО. Металлические элементы креплений ГО должны изготавливаться из антикоррозионных материалов или иметь антикоррозионное покрытие.

4.3.4 Все применяемые в конструкции ГО материалы должны удовлетворять эксплуатационным условиям и нагрузкам, оговоренным техническим заданием, и обеспечивать минимально возможную массу.

4.3.5 Конструкция ГО должна быть, по возможности, простой, технологичной, удобной в эксплуатации, легкодоступной для обслуживания, монтажа, демонтажа, обеспечивать возможность производить снаружи замену износившихся элементов и выполнение ремонтных работ на судне.

В обоснованных случаях для удобства изготовления, монтажа, демонтажа и ремонта ГО в его конструкции должны предусматриваться монтажные стыки. Секции ГО, по возможности, должны быть унифицированы.

4.3.6 Отверстия для подачи воздуха из гибкого ресивера в съемные элементы ГО должны, по возможности, иметь минимально необходимые размеры. Для обеспечения необходимой площади истечения воздуха рекомендуется увеличение числа отверстий.

4.3.7 Технические требования к конструкции ГО, с учетом конструктивных особенностей и предлагаемых условий эксплуатации судна, должны содержаться в техническом задании на его разработку.

5 НОРМЫ ПРОЧНОСТИ

5.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

5.1.1 Настоящие нормы устанавливают требования, предъявляемые Регистром к прочности и надежности конструкций корпуса и специальных устройств высокоскоростных судов (в том числе СДПП), а также к выполнению проверочных расчетов прочности.

Выполнение требований норм прочности обязательно при проектировании, постройке и переоборудовании судов, на которые эти нормы распространяются, и технические проекты которых представляются Регистру.

5.1.2 Расчеты прочности, выполняемые в соответствии с настоящими нормами, должны быть доступны для исчерпывающей проверки всех заключенных в них исходных данных. После согласования проекта Регистром с конструкторских бюро не снимается ответственность за последствия, которые могут произойти в результате допущенных в расчетах ошибок и иных упущений.

Примечание. При выполнении расчетов прочности с использованием ЭВМ применяемые программы численных расчетов должны иметь одобрение Регистра.

5.1.3 Расчеты прочности конструкций корпуса и специальных устройств должны носить проверочный характер для окончательно установленных размеров этих конструкций при номинальных толщинах применяемых листов и панелей и используемого материала.

5.1.4 Расчеты прочности, представляемые Регистру, должны включать:
расчеты внешних сил для общей и местной прочности корпуса;
расчеты внешних сил для прочности специальных устройств;
расчет общей прочности корпуса;
расчет местной прочности корпуса;
расчет прочности специальных устройств;
результаты экспериментальных исследований прочности узлов и соединений корпуса и специальных устройств (если такие исследования предусматривались);
заключение о прочности, составленное по результатам испытаний головного (опытного) судна.

5.1.5 Расчеты общей и местной прочности корпуса, прочности специальных устройств должны подтвердить, что при действии расчетных нагрузок наибольшие нормальные и касательные напряжения, а также наибольшие натяжения в ГО не превосходят допускаемых величин, указанных в [5.2](#), а также наличие достаточных запасов прочности по предельным нагрузкам.

5.1.6 Кроме проверки прочности конструкций по напряжениям, там, где это требуется настоящими нормами или условиями работы конструкции, должна быть произведена проверка устойчивости как всей конструкции в целом, так и ее отдельных элементов.

5.1.7 Устойчивость балок продольного набора палубы надстройки, днища и skeгов, а также карлингсов, днищевых стрингеров и вертикального киля в составе перекрытий должна быть обеспечена не менее чем с 2-х-кратным запасом по отношению к расчетным напряжениям от общего изгиба корпуса, соответствующим рассматриваемому расчетному сечению.

5.1.9 При расчете устойчивости балок набора следует учитывать влияние изменения модуля упругости материала на величину критического напряжения (см. [рис. 5.1.9](#)); для пластин этот учет не производится.

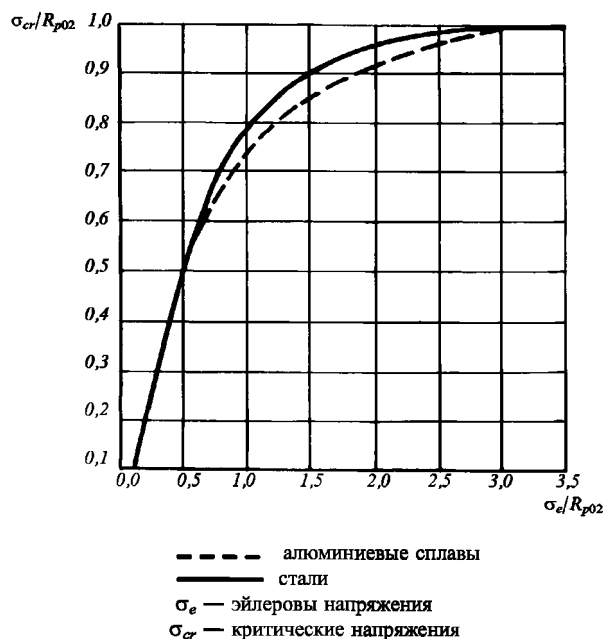


Рис. 5.1.9

При определении касательных напряжений потерявшие устойчивость от сдвига пластины должны вводиться с редуцирующим коэффициентом

$$\varphi = 0,65. \quad (5.1.13)$$

5.1.14 Размеры связей, не рассчитываемых по нормам, должны выбираться в соответствии с указаниями [разд. 2 — 4](#).

5.1.15 Для корпуса и специальных устройств должна быть обеспечена необходимая величина эксплуатационного ресурса основных (типовых) узлов и соединений, определяемая в соответствии с [5.2.18](#).

Ресурс конструкций, отличающихся от типовых и устанавливаемый техническим заданием на проектирование, должен обеспечиваться не только нормами прочности, но и тщательной отработкой узлов этих конструкций, оценкой их ресурса с учетом результатов экспериментальных исследований, а также проведением в процессе эксплуатации периодических осмотров и ремонтов.

5.2 НОРМЫ ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

5.2.1 Значения допускаемых напряжений при расчетах общей и местной прочности корпуса должны приниматься в соответствии с [5.2.8](#) и [5.2.14](#) в долях от опасных напряжений.

5.2.2 Опасным состоянием конструкции при оценке ее прочности считается такое, при котором расчетные напряжения или деформации достигают величин, при которых становится возможным разрушение конструкции, нарушение целостности или появление недопустимых деформаций. Величины опасных напряжений (деформаций) определяются при испытании до разрушения типовых узлов и соединений конструкций.

Достижение опасного состояния при выполнении проверочных расчетов считается недопустимым.

П р и м е ч а н и е . Нормы допустимых деформаций устанавливаются из условий нормальной работы гидродинамического комплекса и механизмов.

5.2.3 Опасные нормальные напряжения для сварных конструкций КУ, выполняемых из сталей, принимаются равными пределу текучести материала $\sigma_0 = R_{eH}$.

5.2.4 Опасные нормальные напряжения для сварных конструкций, выполняемых из алюминиевых сплавов, принимаются в долях от предела текучести материала:

$$\sigma_0 = KR_{p02}, \quad (5.2.4)$$

где K принимается в соответствии с [табл. 5.2.4](#).

Таблица 5.2.4

Категория сплавов	1530, 1550, 1561	1561H, 1575
K	0,90	0,85

Для клепаных конструкций из алюминиевых сплавов опасные напряжения принимаются равными $\sigma_0 = 0,9R_{p02}$.

Используемые при оценке общей прочности опасные нормальные напряжения для сварных и клепаных конструкций, выполняемых из легких сплавов, не должны превышать R_{p02} минимальный для данной категории материала независимо от состояния поставки.

5.2.5 Опасные усилия сдвига T_0 и отрыва Q_0 сварной точки для конструкций, изготовленных точечной сваркой или клеесваркой, должны приниматься по [табл. 5.2.5](#).

Таблица 5.2.5

Категория сплавов (марка сплавов)	Толщина соединяемых листов, мм	Опасные усилия для сварной точки	
		при сдвиге T_0 , кН на св. точку	при отрыве Q_0 , кН на св. точку
1530 1550 1561	2 ÷ 2	4,4	2,2
1561H 1575	3 ÷ 3	7,4	3,7

5.2.6 За опасные касательные напряжения сварных и клепаных конструкций принимаются

$$\tau_0 = 0,57R_{p02}. \quad (5.2.6)$$

5.2.7 Для сжатых районов конструкции за опасные напряжения принимаются: для нормальных напряжений — напряжения потери устойчивости балок набора, определяемые с учетом изменения модуля нормальной упругости (см. [5.1.10.](#)); для касательных ($\tau_{cr} \leq \tau_n$)

$$\tau_0 = K \frac{R_m + \tau_{cr}}{2}, \quad (5.2.7)$$

где K — принимается в соответствии с [табл. 5.2.4.](#)

5.2.8 Допускаемые напряжения σ_{per} при расчете общей продольной (все типы судов) и поперечной (СВП, скоростные катамараны) прочности корпуса при действии изгибающих моментов, возникающих в режиме движения на крыльях (СПК), на воздушной подушке и постановке на опоры (СВП), а также в водоизмещающем режиме принимаются равными

$$\sigma \leq \sigma_{per} = n_s \sigma_0, \quad (5.2.8)$$

где n_s — коэффициент запаса, принимаемый в соответствии с [рис. 5.2.8.](#)



Рис. 5.2.8
Коэффициенты запаса для корпуса (алюминиевые сплавы)

5.2.9 Проверка общей прочности по предельному моменту должна показать, что отношение предельного момента к расчетному изгибающему моменту при движении в условиях волнения и постановки на опоры (СВП) удовлетворяет условию

$$M_{ult} / M_{des} \geq n_s; \quad (5.2.9)$$

$$M_{ult} = \sigma_0 W_0,$$

где σ_0 — величина опасных напряжений, принимаемая в соответствии с [5.2.3 — 5.2.7](#);

W_0 — момент сопротивления поперечного сечения, вычисленный в предположении, что в крайних фибрах эквивалентного бруса действуют напряжения, равные опасным;

n_s — коэффициент запаса, принимаемый в соответствии с [5.3.10.5](#) (для СПК и глиссирующих судов) и [5.3.11.2](#) (для скоростных катамаранов и СВП).

5.2.10 Допускаемые напряжения для конструкций скоростных катамаранов и СВП при действии касательных усилий, возникающих при общем продольном и поперечном изгибе корпуса, а также от действия продольного крутящего момента при движении в условиях волнения и постановке на опоры, принимаются равными

$$\tau_{per} = 0,30R_{p02}. \quad (5.2.10)$$

5.2.11 Допускаемые напряжения при расчетах местной прочности обшивки днища, борта и skeгов (скоростные катамараны и СВП) в опорных сечениях пластин на действие нагрузок, определенных в 5.4, принимаются равными

$$\sigma_{per} = \sigma_0. \quad (5.2.11)$$

5.2.12 Допускаемые напряжения при проверке местной прочности набора днищевых конструкций, борта, настила палуб, палубы надстройки, стенок надстроек, переборок, платформ, а также жесткого ресивера, skeгов (СВП) и пролетных сечений пластин на действие нагрузок, определенных в 5.4, принимаются равными

$$\sigma_{per} = 0,8\sigma_0. \quad (5.2.12)$$

5.2.13 Допускаемые напряжения при действии нормальных напряжений в несущих элементах крыльев, стоек, стабилизаторов, кронштейнов принимаются равными

$$\sigma_{per} = n_s \sigma_0, \quad (5.2.13)$$

где n_s — коэффициент запаса, принимаемый в соответствии с [рис. 5.2.13](#).

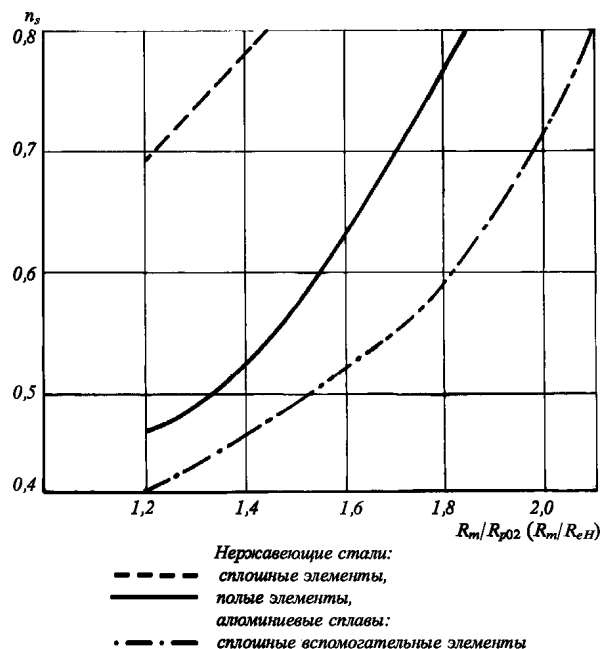


Рис. 5.2.13

5.2.14 Допускаемые напряжения при расчете прочности обшивки и набора полых элементов крыльевых устройств на действие гидродинамических давлений при обтекании крыла принимаются равными

$$\sigma_{per} = 0,5\sigma_0. \quad (5.2.14)$$

5.2.15 Запас устойчивости стоек, набора и обшивки полых элементов по нормальным напряжениям указан в [5.5.1.7](#) и [5.5.1.9](#).

5.2.16 Условие прочности, которому должно удовлетворять ГО,

$$KT \leq R^b, \quad (5.2.16)$$

где K – коэффициент запаса прочности, назначаемый в соответствии с [табл. 5.2.16](#).

Таблица 5.2.16

Расчетный случай	Коэффициент запаса K
1. Общая прочность монолита	
Парение над экраном без хода	14(15) ¹
Движение в условиях спецификационного волнения	7(5)
Движение на волнении, превосходящем спецификационное	3,5
2. Общая прочность съемных элементов	
Движение на спецификационном волнении	10—15
3. Общая прочность оттяжек и диафрагм	
Движение на волнении, превосходящем спецификационное	5 — 7

¹ В скобках указаны величины коэффициента запаса для ГО СВПС.

5.2.17 Уточнение значений коэффициента запаса применительно к конкретному проекту производится на стадии опытной эксплуатации головного комплекса ГО.

5.2.18 Нормы прочности установлены исходя из соответствующих запасов прочности, учитывающих конкретные условия работы и ответственность каждой рассматриваемой конструкции.

Требования к конструкциям в сочетании со специальными мерами по обеспечению усталостного ресурса направлены на предотвращение появления значительного количества усталостных трещин в основных (типовых) соединениях и узлах за весь срок эксплуатации судна.

5.3 РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА

5.3.1 Общие указания.

5.3.1.1 Общая прочность корпуса должна быть проверена при следующих видах напряженно-деформированного состояния:

при общем изгибе в продольном направлении (для всех типов судов);

при общем изгибе в поперечном направлении (для скоростных катамаранов и СВП);

при кручении (для скоростных катамаранов и СВП). При этом должны быть рассмотрены следующие режимы движения:

плавание в водоизмещающем положении на волнении, предусмотренном в проекте;

ход на крыльях (для СПК), ход на воздушной подушке (для СВП), глиссирование (для глиссирующих судов) с расчетной скоростью в условиях расчетного волнения.

5.3.1.2 Объем расчетов общей прочности должен определяться проектантом в зависимости от архитектурных и конструктивных особенностей судна и согласовываться с Регистром.

5.3.1.3 Проверка общей прочности должна выполняться при полном водоизмещении судна для наиболее характерных в отношении прочности поперечных (для всех типов судов) и продольных (для СВП и катамаранов) сечений корпуса: в районах действия максимальных изгибающих, крутящих (для СВП и катамаранов) моментов и перерезывающих сил; в местах больших вырезов в палубе, надстройке и т.п., но не менее, чем в трех поперечных и двух продольных сечениях корпуса (для СВП и катамаранов), в которых можно ожидать наибольшие напряжения.

Число проверяемых сечений по длине и ширине (для СВП и катамаранов) корпуса должно быть обосновано в предъявляемых Регистру расчетах прочности.

5.3.1.4 Построение эпюры распределения сил веса и внешних нагрузок, а также вычисление изгибающих моментов и перерезывающих сил, выполняемых в соответствии с последующими главами настоящих Правил, должно производиться по количеству ординат, не меньшему чем число теоретических шпаций, считая распределение нагрузки равномерным на протяжении каждого участка между этими ординатами, если последнее не оговорено особо.

Вес участков оконечностей судна, выступающих за концевые ординаты, должен учитываться полностью по величине и моменту.

Незамыкание эпюр изгибающих моментов не должно превышать 5 % от максимальных ординат этих эпюр.

5.3.1.5 В средней части судна, на расстоянии 5 % его длины в нос и в корму от сечения, в котором действует наибольший изгибающий момент, за расчетный должен приниматься момент, равный наибольшему.

Для сечений судна, расположенных вне вышеупомянутых 10 % длины судна, за расчетный изгибающий момент принимается наибольший изгибающий момент, действующий в сечении, расположенном на расстоянии 5 % длины судна от проверяемого сечения.

5.3.1.6 Карлингсы, стрингеры и другие несущие продольные балки днища, скегов, палуб, бортов, ресивера и т.п. должны быть включены в расчет эквивалентного бруса полностью. В случае потери пластинами устойчивости при сжатии и сдвиге площадь их сечения должна редуцироваться.

5.3.1.7 Должна быть проверена устойчивость при сжатии и сдвиге перекрытий в целом и отдельных их элементов: балок набора, книц, пластин и т.п. При этом должна быть обеспечена достаточная жесткость связей, служащих опорным контуром для конструкций, воспринимающих сжимающую и сдвигающую нагрузки.

Для вытянутых перекрытий при отсутствии по его длине переборок допускается учитывать переменность сжимающих напряжений по длине.

5.3.1.8 Проверка общей прочности по допускаемым напряжениям должна производиться путем сопоставления расчетных нормальных напряжений в крайних связях эквивалентного бруса с допускаемыми, а также наибольших касательных с соответствующими допускаемыми напряжениями.

5.3.1.9 Величины изгибающих моментов, действующие на элементы КУ усилия, а также перегрузки должны, как правило, определяться по результатам испытаний соответствующих моделей (буксируемых упругоподобных и самоходных).

Экспериментальные данные должны сопоставляться с результатами расчета по аналитическим зависимостям настоящих Правил.

Моделирование должно осуществляться по критерию подобия Фруда.

Корректировка результатов модельных испытаний и расчетов прочности с целью отработки прочности и ресурса конструкций серийных судов должна выполняться по результатам мореходных испытаний прочности головного судна, на основании которых окончательно устанавливаются технико-эксплуатационные характеристики судна.

5.3.1.10 Обработка данных модельных испытаний должна производиться с использованием статистических методов. При этом расчетная величина параметра прочности с вероятностью 0,975 и надежностью 0,950 должна превосходить любое значение параметра прочности 0,5 % обеспеченности, полученное при проведении испытаний.

Примечание. Под параметром прочности в данном случае понимаются пиковые значения характеристики уровня нагруженности конструкций (изгибающего момента, напряжения, усилия, перегрузки и т.п.)

5.3.1.11 Размещения самоходных моделей, их водоизмещение и программа проведения модельных испытаний должны быть согласованы Регистром до начала модельных испытаний.

Примечания: 1. При испытаниях модели на каждом режиме должно быть зарегистрировано прохождение ею не менее 200 волн.

2. Число режимов должно быть не менее 30.

3. При испытаниях упруго-подобных моделей на открытой акватории занегными считаются такие опыты, при реализации которых высота волн 3%-ной обеспеченности была не менее 80 мм.

5.3.2 Определение изгибающих моментов и перерезывающих сил, действующих на корпус СПК в режиме плавания.

5.3.2.1 Под режимом плавания понимается движение СПК со скоростью $V_{hb} \leq V_{lift}$ на волнении в водоизмещающем положении, указанном в техническом проекте.

5.3.2.2 Величины максимального изгибающего момента на миделе при прогибе и перегибе определяются по формулам (величина изгибающего момента принимается положительной при прогибе и отрицательной при перегибе):

$$M_{des}^{sag} = M_w + M_d^{sag}; \quad (5.3.2.2-1)$$

$$M_{des}^{hog} = M_w + M_d^{hog}, \quad (5.3.2.2-2)$$

$$\text{где } M_d^{sag} = 0,01K_{sag}\Delta L;$$

$$M_d^{hog} = 0,01K_{hog}\Delta L.$$

Изгибающий момент M_w определяется путем статической постановки судна на волну; коэффициенты K_{sag} и K_{hog} определяются по [рис. 5.3.2.2](#).

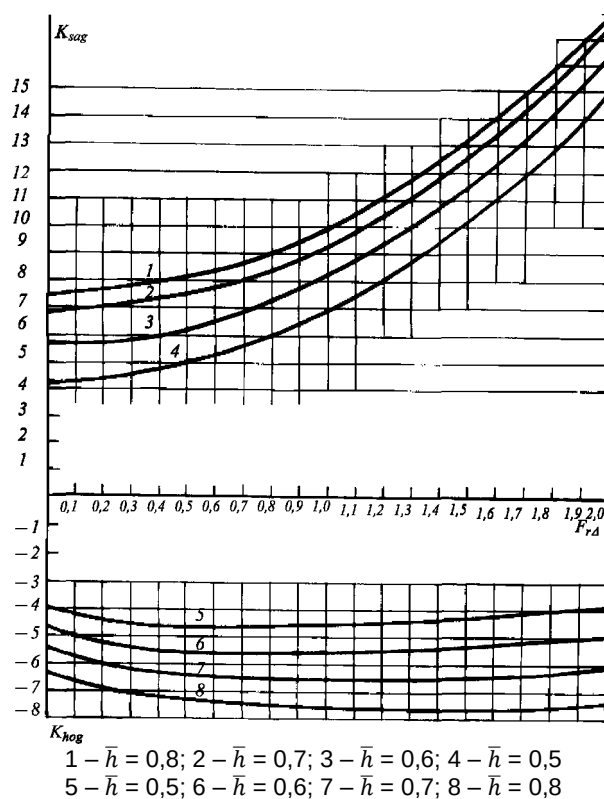


Рис. 5.3.2.2

5.3.2.3 Значения перерезывающих сил определяются по формулам:

$$Q_{des}^{sag} = 4M_c^{sag}/L; Q_{des}^{hog} = 4M_c^{hog}/L. \quad (5.3.2.3)$$

5.3.2.4 Распределение изгибающих моментов и перерезывающих сил по длине корпуса судна определяется в соответствии с [рис. 5.3.2.4](#).

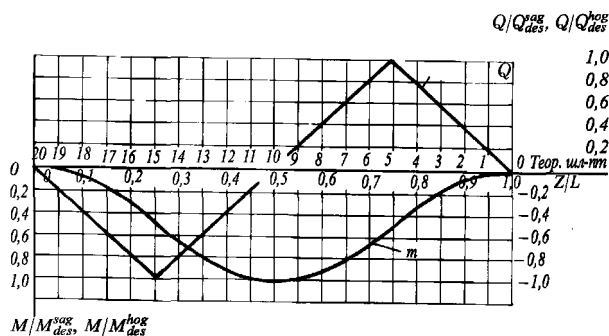


Рис. 5.3.2.4

5.3.3 Определение расчетных усилий в режиме движения СПК на крыльях.

5.3.3.1 Общая прочность корпуса должна быть проверена при полном водоизмещении судна на действие внешних усилий, возникающих в крыльевом режиме на волнении и при скорости движения, оговоренных ТЗ на проектирование.

5.3.3.2 Проверка общей прочности корпуса производится на действие сил веса, сил инерции масс корпуса и оборудования, а также подъемных сил, возникающих на крыльевых устройствах и передающихся на корпус в виде сосредоточенных усилий.

5.3.3.3 Расчетные значения перерезывающих сил и изгибающих моментов определяются по формулам:

$$Q_{des} = \int_0^x m_x g (n_g + 1) dx + \sigma(x_{\otimes} - x_{fr}) R + \sigma(x_{\otimes} - x_{cent}) R_{-p} + \sigma(x_{\otimes} - x_{aft}) R_{aft}; \quad (5.3.3.3-1)$$

$$M_{des} = \int_0^x \int_0^x m_x g (n_g + 1) dx dx + \sigma(x_{\otimes} - x_{fr}) R_{fr} (x + x_{fr} - x_{\otimes}) + \sigma(x_{\otimes} - x_{cent}) R_{fr} (x - x_{cent} - x_{\otimes}) + \sigma(x_{\otimes} - x_{aft}) R_{aft} (x + x_{aft} - x_{\otimes}) \quad (5.3.3.3-2)$$

где $\sigma(x)$ – единичная функция Хевисайда.

5.3.3.4 При определении сил инерции масс корпуса и перевозимых в нем грузов значения ускорений принимаются в соответствии с [рис. 5.3.3.4-1](#).

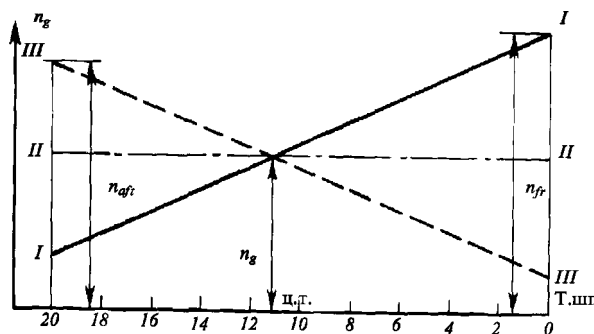


Рис. 5.3.3.4-1

Максимальные расчетные значения перегрузок, определяющих силы инерции, вычисляются для носового перпендикуляра — n_{fr} , центра масс — n_g и 20 теор. шп. — n_{aft} соответственно по формулам:

$$n_{fr} = 1 + 2,7 P_{fr.st.w.} / \Delta; \quad (5.3.3.4-1)$$

$$n_g = 0,55 + 0,57 P_{fr.st.w.} / \Delta + \Delta n_g; \quad (5.3.3.4-2)$$

$$n_{aft} = 1,40, \quad (5.3.3.4-3)$$

где Δn_g — определяется в соответствии с [рис. 5.3.3.4-2](#).

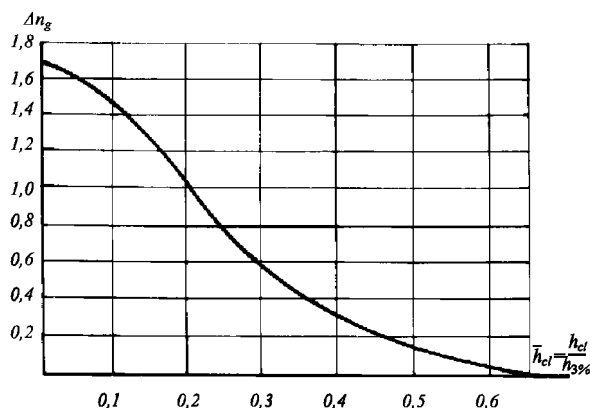


Рис. 5.3.3.4-2

При наличии системы автоматического управления подводными крыльями перегрузки снижаются:

для судов с крыльевыми устройствами, имеющими элементы, пересекающие свободную поверхность — на 10 %;

для судов с полностью погруженными крыльевыми устройствами — на 20 %.

Примечание. Величины относительных ускорений могут быть уточнены по результатам экспериментальных исследований.

5.3.3.5 Подъемные силы, действующие на крылья, при движении судна в условиях тихой воды: для СПК с двухкрылевой компоновочной схемой ($P_{cent.st.w.} = 0$) определяются по формулам:

$$P_{fr.st.w.} = \Delta a_{aft}/l_f; \quad (5.3.3.5-1)$$

$$P_{aft.st.w.} = \Delta a_{fr}/l_f; \quad (5.3.3.5-2)$$

для СПК с трехкрылевой компоновочной схемой определяются по результатам испытаний модели проектируемого судна.

5.3.3.6 Гидродинамические нагрузки, действующие на корпус, определяются с учетом зависимостей:

$$R_{fr} + R_{cent} + R_{aft} = \Delta(n_g + 1); \quad (5.3.3.6-1)$$

$$R_{fr}(x_{fr} - x_0) + R_{cent}(x_{cent} - x_0) + R_{aft}(x_{aft} - x_0) = \frac{I_y}{x_{fr} - x_0} (n_{fr} - n_g). \quad (5.3.3.6-2)$$

5.3.3.7 Проверка общей прочности корпуса на действие перерезывающих сил и изгибающих моментов производится в соответствии с [5.3.3.3 — 5.3.3.6](#). При этом рассматриваются три расчетных случая нагружения:

максимальное ускорение действует в носовой оконечности, а распределение ускорений по длине корпуса принимается в соответствии с линией I-I (см. [рис. 5.3.3.4-1](#)), при этом для двухкрылевой компоновочной схемы $R_{cent} = 0$, а для трехкрылевой схемы принимается $R_{fr} = P_{fr}^{max} + 0,3\Delta$; силы инерции масс корпуса вычисляются согласно принятому для этого случая распределению ускорений;

равномерное распределение ускорений по длине корпуса — линия II-II (см. [рис. 5.3.3.4-1](#)); при этом для двухкрылевой компоновочной схемы $R_{cent} = 0$, а для трехкрылевой компоновочной схемы принимается $R_{cent} = P_{cent}^{max} + 0,3\Delta$; силы инерции масс корпуса вычисляются согласно принятому для этого случая распределению ускорений;

максимальное ускорение действует в кормовой оконечности, а распределение ускорений по длине корпуса принимается в соответствии с линией III-III (см. [рис. 5.3.3.4-1](#)); при этом для двухкрылевой компоновочной схемы $R_{cent} = 0$, а для трехкрылевой компоновочной схемы принимается $R_{aft} = P_{aft}^{max} + 0,3\Delta$;

силы инерции масс корпуса вычисляются согласно принятому для этого случая распределению ускорений.

5.3.3.8 Максимальные значения подъемных сил, действующих на крыльевые устройства, определяются по формулам:

$$R_{fr}^{max} = K_{fr}P_{fr.st.w}; P_{cent}^{max} = K_{cent}P_{cent.st.w}; P_{aft}^{max} = K_{aft}P_{aft.st.w}, \quad (5.3.3.8)$$

где K_{fr} , K_{cent} , K_{aft} — коэффициенты увеличения подъемных сил, определяемые по формулам:

$$\begin{aligned} K_{fr} &= 1,68 + 1,26h_3\%/\sqrt[3]{V} - 0,42P_{fr.st.w.}/\Delta; \\ K_{cent} &= 1,02 + 0,7h_3\%/\sqrt[3]{V} - 0,14I_{fr}/\sqrt[3]{V}; \\ K_{aft} &= 1,20 + 0,56h_3\%/\sqrt[3]{V} + 0,24 \frac{P_{fr.st.w.}}{P_{aft.st.w.}} \times \frac{P_{cent.st.w.}}{\Delta}. \end{aligned}$$

5.3.3.9 По результатам расчетов для каждого случая нагружения строятся эпюры распределения перерезывающих сил и изгибающих моментов по длине корпуса.

Для двухкрылевой компоновочной схемы проверка общей прочности производится для случая прогиба корпуса. При этом в качестве расчетной эпюры принимается огибающая, построенная по максимальным значениям, полученным для всех расчетных случаев нагружения, в соответствии с [5.3.3.7](#).

Дополнительно должна быть выполнена проверка прочности корпуса на случай перегиба при действии изгибающего момента, равного $M_{des}^{hog} = 0,5M_{des}^{sag}$.

Для трехкрылевой компоновочной схемы проверка общей прочности производится для двух случаев:

на прогиб; при этом в качестве расчетных изгибающих моментов принимаются величины, соответствующие огибающей двух эпюр, полученных для первого и третьего расчетных случаев в соответствии с [5.3.3.7](#). Дополнительно выполняется проверка общей прочности на перегиб при действии наибольшего по абсолютной величине изгибающего момента, определяемого из соотношений:

$$M_{des}^{hog} = 0,5M_{des}^{sag}, \quad (5.3.3.9-1)$$

$$M_{des}^{hog} = M_{st.w.} - 0,8(M_{des}^{sag} - M_{st.w.}) \quad (5.3.3.9-2)$$

на перегиб; при этом в качестве расчетной принимается эпюра, полученная для второго расчетного случая в соответствии с [5.3.3.7](#). Дополнительно выполняется проверка общей прочности на прогиб при действии наибольшего по абсолютной величине изгибающего момента, определяемого из соотношений:

$$M_{des}^{sag} = 0,5M_{des}^{hog}; \quad (5.3.3.9-3)$$

$$M_{des}^{sag} = M_{st.w.} - 0,8(M_{des}^{hog} - M_{st.w.}) \quad (5.3.3.9-4)$$

5.3.4 Определение расчетных усилий в водоизмещающем режиме движения СВПа и при постановке на опоры.

5.3.4.1 Общая прочность корпуса должна быть проверена при полном водоизмещении судна на действие внешних усилий, возникающих в водоизмещающем режиме движения на волнении и при скорости движения, оговоренных ТЗ на проектирование.

5.3.4.2 Проверка общей прочности корпуса при изгибе в продольном и поперечном направлениях, а также при кручении производится на действие сил веса, сил упора, вызванных работой движителя; сил поддержания, сил инерции масс корпуса и оборудования, гидродинамических давлений, развивающихся при ударах носовой оконечности судна о волну и аэродинамических давлений в воздушной подушке и полостях ГО, обусловленных взаимодействием ГО с волнами.

5.3.4.3 Расчетное значение изгибающих моментов при продольном изгибе корпуса определяется по формулам:

при прогибе корпуса

$$M_{des}^{sag} = M_{st.w.} + M_w + M_d; \quad (5.3.4.3-1)$$

при перегибе корпуса

$$M_{des}^{hog} = M_{st.w.} - M_w - 0,1M_d, \quad (5.3.4.3-2)$$

$$\text{где } M_w = 1,1 \times 10^{-3} \rho g \alpha B L^3 K_M^w f; \quad (5.3.4.3-3)$$

$$M_d = K_y^{des} (3,04 - 4,25 \bar{x}_g) \times (1 + m_z) \Delta L K_M^d n_g; \quad (5.3.4.3-4)$$

$$f = 1,0 \text{ при } h_{3\%}/L \geq 0,06;$$

$$f = 32,2 h_{3\%}/L - 259 (h_{3\%}/L)^2 - 0,21 \sin(52,36 h_{3\%}/L) \text{ при } h_{3\%}/L < 0,06;$$

$$K_M^w - \text{коэффициент, определяемый в соответствии с } \text{рис. 5.3.4.3-1};$$

$$K_{x,y}^{des} = 0,322 - 0,833 \bar{\rho}_{x,y}; \quad (5.3.4.3-5)$$

$$\bar{\rho}_y = \frac{\rho_y}{L} \sqrt{\frac{1 + m_\psi}{1 + m_z}}; \quad (5.3.4.3-6)$$

$$m_\psi = \frac{\pi}{48} \eta_1^2 \rho g \cdot \frac{B^2 \cdot L^3}{\Delta p_y^2} \cdot \frac{\alpha^2}{(3 - 2\alpha)(3 - \alpha)}; \quad (5.3.4.3-7)$$

$$m_z = \frac{\pi}{4} \eta_1 \rho g \cdot \frac{B^2 \cdot L}{\Delta} \cdot \frac{\alpha^2}{1 + \alpha}; \quad (5.3.4.3-8)$$

$$\eta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (B/L)^2}} \left[1 - \frac{0,425 B/L}{1 + (B/L)^2} \right]; \quad (5.3.4.3-9)$$

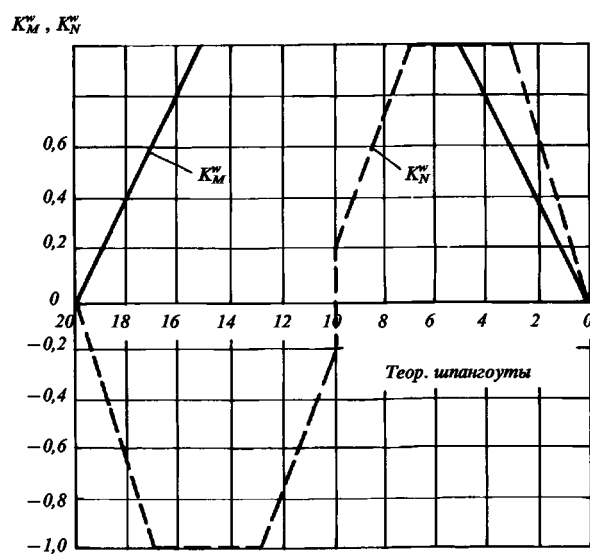


Рис. 5.3.4.3-1

K_M^d — коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.3-2](#);

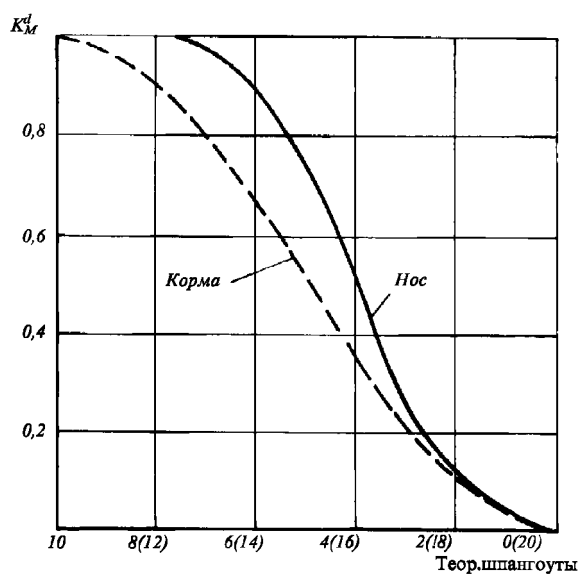


Рис. 5.3.4.3-2

$$n_g = (0,074 + 0,515Fr_L)f^{1,3}. \quad (5.3.4.3-10)$$

При вычислении числа Фруда Fr_L скорость V принимается равной скорости хода судна в режиме плавания при данной $h_{3\%}$, но не менее 3 уз.

5.3.4.4 Расчетные значения перерезывающих сил при продольном изгибе корпуса определяются по формулам:
при прогибе

$$Q_{des}^{sag} = Q_{st.w} + Q_w^{sag} + Q_d^{sag}; \quad (5.3.4.4-1)$$

при перегибе

$$Q_{des}^{hog} = Q_{st.w} - Q_w^{hog} - Q_d^{hog}, \quad (5.3.4.4-2)$$

$$\text{где } Q_w^{sag, hog} = \frac{3,5M_w^{\otimes}}{L} K_N^w; \quad (5.3.4.4-3)$$

$$Q_d^{sag} = \frac{5,8M_d^{\otimes}}{L} K_N^d; \quad (5.3.4.4-4)$$

$$Q_d^{hog} = 0,1Q_d^{sag} \quad (5.3.4.4-5)$$

K_N^w и K_N^d — коэффициенты, определяемые в соответствии с рис. 5.3.4.3-1 и 5.3.4.4.

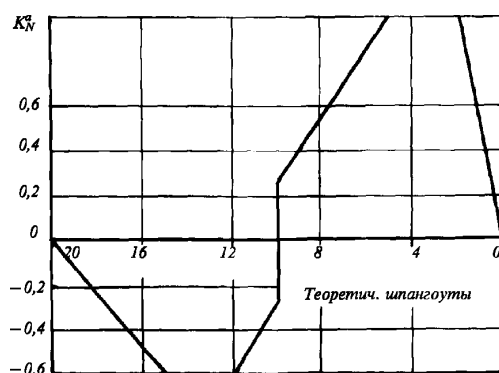


Рис. 5.3.4.4

5.3.4.5 Расчетное значение изгибающего момента при поперечном изгибе корпуса определяется по формуле

$$M_w^{trans} = M_{st.w.}^{trans} + M_w^{trans} + M_d^{trans}, \quad (5.3.4.5-1)$$

$$\text{где } M_w^{trans} = 2,1 \times 10^{-3} \rho g B^3 L K_M^{trans}; \quad (5.3.4.5-2)$$

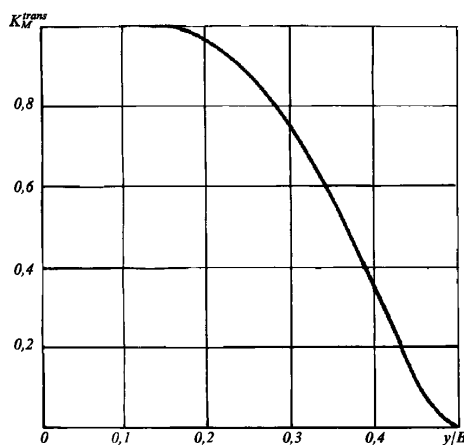
$$M_d^{trans} = 0,6 K_x^p \Delta (1 + m_z) B n_g K_M^{trans}; \quad (5.3.4.5-3)$$

K_M^{trans} — коэффициент, определяемый в соответствии с рис. 5.3.4.5;

K_x^p — коэффициент, определяемый по формуле (5.3.4.3-5);

$$\bar{p}_x = \frac{\rho_x}{B} \sqrt{(1 + m_Q)/(1 + m_z)}; \quad (5.3.4.5-4)$$

$$m_Q = \frac{\pi}{96} \frac{\left[1 - \frac{0,425L/B}{1 + (L/B)^2}\right]^2}{1 + (L/B)^2} \rho g \frac{B^3 L^2}{\Delta \rho_x^2}. \quad (5.3.4.5-5)$$



y — расстояние между сечением и ДП

Рис. 5.3.4.5

5.3.4.6 Расчетное значение перерезывающей силы при поперечном изгибе корпуса определяется по формуле

$$Q_{des}^{trans} = Q_{st.w.}^{trans} + Q_w^{trans} + Q_d^{trans} \quad (5.3.4.6-1)$$

$$\text{where } Q_w^{trans} = \frac{3,5 M_{wCP}^{trans}}{B} K_N^{trans}; \quad (5.3.4.6-2)$$

$$Q_d^{trans} = \frac{5,8 M_{dCP}^{trans}}{B} K_N^{trans}; \quad (5.3.4.6-3)$$

K_N^{trans} – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.6](#) при $y^*/B = 0,4$;
 M_{wCP}^{trans} и M_{dCP}^{trans} – соответственно волновой и динамический изгибающие моменты, действующие в продольном сечении корпуса по ДП.

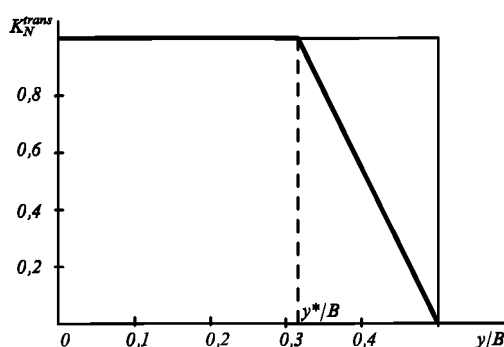


Рис. 5.3.4.6

5.3.4.7 Расчетное значение крутящего момента, действующего в поперечном сечении корпуса судна, определяется по формуле

$$M_{des}^{tor} = M_w^{tor} + M_d^{tor}, \quad (5.3.4.7-1)$$

$$\text{где } M_w^{tor} = (1,8 - 1,5 \varepsilon/D) 10^{-2} \rho g f L B^3 K_w^{tor}; \quad (5.3.4.7-2)$$

$$M_d^{tor} = 3,5 \times 10^{-2} n_g \Delta B f^{1,3} (1 + m_z) K_d^{tor}; \quad (5.3.4.7-3)$$

ε – отстояние центра кручения поперечного сечения от основной плоскости;

f – функция, вычисляемая в соответствии с [5.3.4.3](#);

K_w^{tor} и K_d^{tor} – коэффициенты, определяемые в соответствии с [рис. 5.3.4.7](#).

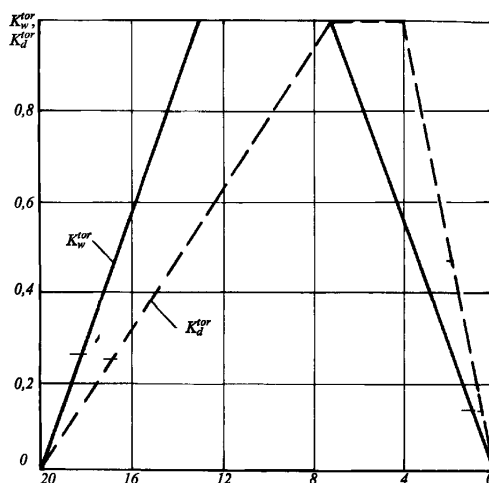


Рис. 5.3.4.7

5.3.4.8 Определение продольных и поперечных изгибающих и крутящих моментов и перерезывающих сил при постановке судна на опоры производится по схеме посадки корпуса на две днищевые опоры, расположенные по диагонали (см. [рис. 5.3.4.8](#)). Расчет выполняется для случая прогиба корпуса.

При определении реакции опор из уравнений статики и величин изгибающих и крутящих моментов весовая нагрузка судна увеличивается пропорционально коэффициенту динамичности, принимаемому во всех случаях равным $K_d = 1,50$.

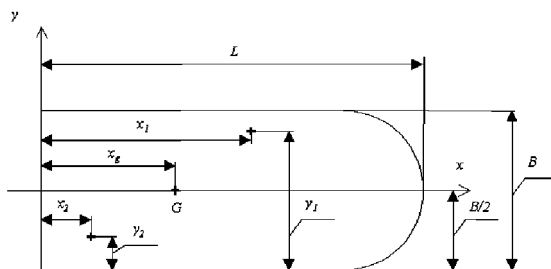


Рис. 5.3.4.8

5.3.4.9 Расчетные величины продольных и поперечных изгибающих моментов, перерезывающих сил и крутящих моментов вычисляются путем интегрирования весовой нагрузки судна, увеличенной пропорционально коэффициенту динамичности, и внешней нагрузки от реакции опор, рассматриваемых как сосредоточенные силы.

5.3.5 Определение расчетных усилий в режиме движения СВПа на воздушной подушке и при аварийной посадке на воду.

5.3.5.1 Расчетное значение изгибающего момента при изгибе корпуса в продольном направлении в режиме движения на воздушной подушке определяется по формулам:

при прогибе

$$M_{des}^{sag} = M_{st.w.} + M_d^{sag}; \quad (5.3.5.1-1)$$

при перегибе

$$M_{des}^{hog} = M_{st.w.} - M_d^{hog}; \quad (5.3.5.1-2)$$

$$\text{где } M_d^{sag,hog} = K_y^\rho (3,04 - 4,25\bar{x}_g) \Delta L K_M^d \times n_g^{sag,hog}; \quad (5.3.5.1-3)$$

$$K_{x,y}^\rho = 0,286 - 0,75\bar{\rho}_{x,y}; \quad (5.3.5.1-4)$$

$\bar{\rho}_y$ — определяется в соответствии с [формулой \(5.3.4.3-6\)](#).

Значение относительного ускорения $n_g^{sag,hog}$ должно быть определено по результатам испытаний динамически подобной модели судна в соответствии с [5.3.1.9](#) и [5.3.1.11](#). При отсутствии таких данных величина может быть определена по формулам:

при прогибе корпуса

$$n_g^{sag} = (0,7Fr_L + 0,21)^{1,3} \frac{0,16 + 0,66h_{3\%}/H_{fs} + 0,08(h_{3\%}/H_{fs})^2}{2,57 + 170h_{3\%}/L + 332(h_{3\%}/L)^2} \frac{L}{H_{fs}}; \quad (5.3.5.1-5)$$

при перегибе корпуса

$$n_g^{hog} = \begin{cases} (0,41Fr_L + 0,23)Fr_L f^{1,3}, & \text{if } n_g^{hog} < 0,8n_g^{sag}; \\ 0,8n_g^{sag}, & \text{if } n_g^{hog} \geq 0,8n_g^{sag}. \end{cases} \quad (5.3.5.1-6)$$

5.3.5.2 Расчетное значение перерезывающих сил при продольном изгибе в режиме движения на воздушной подушке определяется по формулам:

при прогибе

$$Q_{des}^{sag} = Q_{st.w.} + Q_d^{sag}; \quad (5.3.5.2-1)$$

при перегибе

$$Q_{des}^{hog} = Q_{st.w.} + Q_d^{hog}, \quad (5.3.5.2-2)$$

где Q_d^{sag} – вычисляется по [формуле \(5.3.4.4-4\)](#), в которой
 $M_d^{\otimes}$ – момент в миделевом сечении, определяемый по [формуле \(5.3.5.1-3\)](#);
 Q_d^{hog} – определяется по [формуле \(5.3.4.4-5\)](#).

5.3.5.3 Расчетное значение изгибающего момента при поперечном изгибе корпуса в режиме движения на воздушной подушке определяется по формуле

$$M_{des}^{trans} = M_{st.w.}^{trans} + M_d^{trans}, \quad (5.3.5.3-1)$$

где $M_d^{trans} = 0,8K_x^{\rho} \Delta B K_M^{trans} \times n_g^{sag}$; (5.3.5.3-2)
 K_x^{ρ} и K_M^{trans} – определяются согласно [формуле \(5.3.5.1-4\)](#) и [рис. 5.3.4.5](#) соответственно.

5.3.5.4 Расчетное значение перерезывающих сил при поперечном изгибе в режиме движения на воздушной подушке определяется по формуле

$$Q_{des}^{trans} = Q_{st.w.}^{trans} + Q_d^{trans}, \quad (5.3.5.4)$$

где Q_d^{trans} – определяется по [формуле \(5.3.4.6-3\)](#).

5.3.5.5 Расчетное значение крутящего момента в режиме движения на воздушной подушке определяются по формуле

$$M_{des}^{tor} = n_g^{sag} \Delta [0,23B(1 - 0,24Fr_L) f^{1,3} K_d^{tor} - \frac{0,375H_{fs}L}{S_{ac}} (0,5H_{fs} + \varepsilon) K_w^{tor}], \quad (5.3.5.5)$$

где K_d^{tor} , K_w^{tor} – коэффициенты, определяемые в соответствии с [рис. 5.3.4.7](#);
 ε – [см. 5.3.4.7](#).

5.3.5.6 Расчетные значения интегральных характеристик внешних сил, действующих в условиях аварийной посадки на воду, определяются нагрузкой, обусловленной ударом корпуса о воду.

Величина динамической составляющей продольного изгибающего момента, развивающегося при ударе корпуса о воду, для случаев прогиба и перегиба определяются по [формуле \(5.3.5.1-3\)](#). При этом значение коэффициента при прогибе корпуса определяется по [формуле \(5.3.4.3-5\)](#), а при перегибе — по формуле

$$K_{x,y}^p = 0,49\bar{\rho}_{x,y} - 0,017; \quad (5.3.5.6-1)$$

Величина относительного ускорения вычисляется по выражению

$$n = \frac{0, i K_{\psi} v V}{(A/g)(1 + \bar{l}_y^2)} \quad (5.3.5.6-2)$$

где K_{ψ} , $\bar{l}_y$ и v — параметры равные:

а) при прогибе

$$K_{\psi} = 1,4;$$

$$\bar{l}_y = 0,9;$$

$$v = v_o + v_n;$$

$$v_o = 2,5 \frac{h_{3\%}}{h_{3\%} + 1,2}; \quad (5.3.5.6-3)$$

$$v_n = \frac{1}{S_{ac}} (Q_{min} + n_{tr} \varepsilon_{tr} S_{tr} \sqrt{\frac{2\Delta}{\rho_{air} S_{ae}}}) \quad (5.3.5.6-4)$$

где S_{ac} — площадь воздушной подушки, м²;

Q_{min} — минимальный расход воздуха, подаваемого в воздушную подушку вентиляторами, при котором обеспечивается приход в рабочее состояние (раздувание) съемных элементов гибкого ограждения (расход, соответствующий окончанию перехода от режима движения «на пузыре» к движению «на подушке»), м³/с;

n_{tr} — число вентиляторных шахт;

S_{tr} — расчетная (минимальная) площадь поперечного сечения воздуховода вентиляционной шахты, м²;

ε_{tr} — коэффициент расхода воздуха при истечении его в атмосферу через вентиляционную шахту (при отсутствии более точных данных необходимо принимать $\varepsilon_{tr} = 0,5$);

ρ_{air} — плотность воздуха при атмосферном давлении, т/м³;

б) при перегибе

$$K_{\psi} = 1,0;$$

$$\bar{l}_y = 0,5;$$

$$v = v_n;$$

v_n — определяется по [формуле \(5.3.5.6-4\)](#).

5.3.5.7 Расчетные значения поперечного изгибающего момента определяются по [формуле \(5.3.5.3-2\)](#) с использованием значения относительного ускорения, обусловленного ударом носовой оконечности корабля о воду, вычисляемого по [формуле \(5.3.5.6-2\)](#) для прогиба корпуса.

5.3.5.8 Перерезывающие силы при изгибе корпуса в продольном и поперечном направлениях вычисляются по [формулам \(5.3.4.4-1\)](#) и [\(5.3.4.6-3\)](#).

5.3.5.9 Расчетное значение крутящего момента находится по формуле

$$M_d^{tor} = 0,035 D B n K_d^{tor}, \quad (5.3.5.9)$$

где n — относительное ускорение, обусловленное ударом носовой оконечности при аварийной посадке, которое определяется по [формуле \(5.3.5.6.2\)](#) для случая прогиба;

K_d^{tor} — коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.7](#).

5.3.6 Определение расчетных усилий в водоизмещающем режиме движения СВПс.

5.3.6.1 В расчете общей продольной прочности корпуса должны быть рассмотрены два случая (прогиб корпуса и перегиб корпуса).

5.3.6.2 Величина продольного изгибающего момента в миделевом сечении корпуса определяется по формулам:

прогиб

$$M_{des}^{sag} = M_{st.w.} + M_w + M_d; \quad (5.3.6.2-1)$$

перегиб

$$M_{des}^{hog} = M_{st.w.} - M_w - 0,6M_d \quad (5.3.6.2-2)$$

$$\text{где } M_w = 0,0036\alpha\pi g f B_{sw} L^3 K_M^w; \quad (5.3.6.2-3)$$

f – функция, определяемая в соответствии с [рис. 5.3.7.1-1](#);

B_{sw} – наибольшая ширина скега в плоскости ватерлинии в водоизмещающем положении, м;

K_M^w – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.3-1](#);

α – коэффициент полноты площади ватерлинии скега;

$$M_d = K_M^d M_d^{\otimes}; \quad (5.3.6.2-4)$$

K_M^d – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.3-2](#);

$$M_d^{\otimes} = K_y^{\rho} K_{\tau} (3,04 - 4,25\bar{x}_g) \Delta \times (1 + m_z) L n_g; \quad (5.3.6.2-5)$$

$$K_{x,y}^{\rho} = 0,322 - 0,833\bar{\rho}_{x,y}; \quad (5.3.6.2-6)$$

$$\bar{\rho}_y = \frac{\rho_y}{L} \sqrt{(1 + m_{\psi}) / (1 + m_z)}; \quad (5.3.6.2-7)$$

$$m_{\psi} = \frac{\pi}{2} \rho g \frac{\alpha^2}{(3 - 2\alpha)(3 - \alpha)} \times \frac{B_{sw}^2 L^3}{\Delta \rho_y^2}; \quad (5.3.6.2-8)$$

$$m_z = \frac{\pi}{2} \rho g \frac{\alpha^2}{1 + \alpha} \times \frac{B_{sw}^2 L^3}{\Delta}; \quad (5.3.6.2-9)$$

K_{τ} – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.6.2](#);

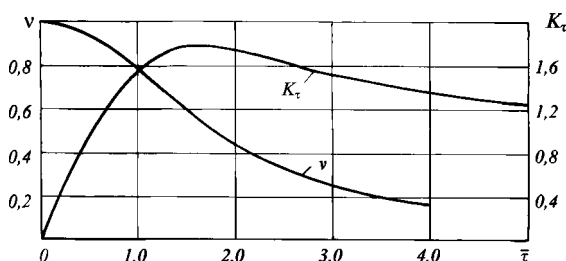


Рис. 5.3.6.2

$$\bar{\tau} = \frac{0,2}{\pi} \omega_1 \sqrt{(\sqrt[3]{\nabla}/g) n_g}; \quad (5.3.6.2-10)$$

$$\omega_1 = \left(\frac{0,43}{\bar{\rho}_y - 0,183} + 16,2 \right) \sqrt{\frac{E J_{\otimes} g}{(1 + m_z) \Delta L^3}}; \quad (5.3.6.2-11)$$

$J_{\otimes}$ – момент инерции площади поперечного сечения судна в районе миделя.

Значения относительного ускорения n_g должны определяться по результатам модельных испытаний проектируемого судна в соответствии с [5.3.1.9](#) и [5.3.1.11](#). При отсутствии таких данных величина относительного ускорения может быть приближенно определена по формуле

$$n_g = [0,5 + (0,31 + 0,72f^2)Fr_L]f^{1,5}. \quad (5.3.6.2-12)$$

5.3.6.3 Значения перерезывающей силы в поперечных сечениях корпуса вычисляются по формулам:

при прогибе

$$Q_{des}^{sag} = Q_{st.w} + Q_w + Q_d^{sag}; \quad (5.3.6.3-1)$$

при перегибе

$$Q_{des}^{hog} = Q_{st.w} - Q_w - Q_d^{hog}, \quad (5.3.6.3-2)$$

где $Q_w = \frac{4M_w^{\otimes}}{L} K_N^w$; (5.3.6.3-3)
 K_N^w – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.3-1](#);

$$Q_w^{sag} = 5,8 \frac{M_d^{\otimes}}{L} K_N^d; \quad (5.3.6.3-4)$$

$$Q_d^{hog} = 0,6Q_d^{sag}; \quad (5.3.6.3-5)$$

K_N^d – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.4](#).

5.3.6.4 При расчете общей поперечной прочности skeговых СВП в режиме плавания изгибающие моменты определяются по формуле

$$M_{des}^{trans} = M_{st.w.}^{trans} + M_d^{trans}, \quad (5.3.6.4-1)$$

где $M_d^{trans} = K_M^{trans} \times M_d^{CP}$ (5.3.6.4-2)
 K_M^{trans} – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.5](#);

$$\overline{M}_d^{CP} = M_{trans} \Delta(1 + m_z) B n_g; \quad (5.3.6.4-3)$$

$$\overline{M}_{trans} = -2/3 \bar{\rho}_x + 0,18 B_{ac}/B + 0,165; \quad (5.3.6.4-4)$$

$$\bar{\rho}_x = \frac{\rho_x}{B} \sqrt{(1 + m_Q)(1 + m_z)}; \quad (5.3.6.4-5)$$

B_{ac} – расстояние между внутренними бортами skeгов в плоскости расчетной ватерлинии, м;

$$m_Q = \frac{1}{16} m_z \left(\frac{B + B_{ac}}{\rho_x} \right)^2. \quad (5.3.6.4-6)$$

5.3.6.5 Перерезывающие силы, действующие в продольных сечениях skeговых СВП, определяются по формуле

$$Q_{des}^{trans} = Q_{st.w.}^{trans} + Q_d^{trans} \quad (5.3.6.5-1)$$

где $Q_d^{trans} = \frac{1,25 B_{ac}/B - 0,155}{\bar{M}_{trans}} \times \frac{M_d^{CP}}{B} K_N^{trans}$; (5.3.6.5-2)
 K_N^{trans} – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.6](#) при значении относительной ординаты точки излома $y^*/B = 0,11 + 0,38 B_{ac}/B$.

5.3.6.6 Расчетные значения крутящих моментов в поперечных сечениях корпуса принимаются равными:

$$M_{des}^{tor} = M_d^{tor} + M_w^{tor} \quad (5.3.6.6-1)$$

Волновая составляющая крутящего момента M_w^{tor} определяется путем косой постановки судна на подошву волны.

Динамическая составляющая крутящего момента M_d^{tor} определяется по следующим формулам:

в пределах от 0 до 2 теоретического шпангоута

$$M_d^{tor} = (-49 + 100\bar{x} - 50\bar{x}^2 + f_m)r, \quad (5.3.6.6-2)$$

где $\bar{x} = 1 - j/20$ — номер теоретического шпангоута;

$$r = \frac{\Delta(1+m_z)n_g y_R}{1+\kappa}; \quad (5.3.6.6-3)$$

y_R — параметр, принимаемый для скеговых СВП равным $0,25(B + B_{ac})$;

$\kappa = 0$ при движении судна в режиме плавания;

$$f_m = -a\bar{x} - b\bar{x}^2/2 + \frac{c}{\pi} \cos \pi\bar{x} - c/\pi; \quad (5.3.6.6-4)$$

$$b = 6(2\bar{x}_g - 1); \quad (5.3.6.6-5)$$

$$c = 43,7 \left(\frac{4+b}{12} - \bar{p}_y^2 - \bar{x}_g^2 \right); \quad (5.3.6.6-6)$$

$$a = 1 - b/2 - 2c/\pi, \quad (5.3.6.6-7)$$

в пределах от 2 до 4 теоретического шпангоута

$$M_d^{tor} = r(32 - 80\bar{x} + 50\bar{x}^2 + f_m); \quad (5.3.6.6-8)$$

в пределах от 4 до 20 теоретического шпангоута

$$M_d^{tor} = r f_m. \quad (5.3.6.6-9)$$

Волновая составляющая определяется по формуле

$$M_w^{tor} = 0,32\Delta B(3\bar{x}_g - 1) \sin \pi\bar{x}. \quad (5.3.6.6-10)$$

5.3.7 Определение расчетных усилий при движении СВПс в эксплуатационном режиме.

5.3.7.1 Расчетное значение продольного изгибающего момента определяется в соответствии с формулами:

при прогибе

$$M_{des}^{sag} = M_{st.w.} + M_w + M_{d1} + 0,8M_{d2}; \quad (5.3.7.1-1)$$

при перегибе

$$M_{des}^{hog} = M_{st.w.} - M_w - 0,6M_{d1} - 0,5M_{d2}, \quad (5.3.7.1-2)$$

где $M_w = 0,0044\alpha(1 + 2,2Fr_L - 0,33Fr_L^3)(0,8 - 4,9B_{sw}/L) \times$

$$\times (1,9 - 0,15L_{ac}/B_{ac}) \rho g B_{sw} L^3 f K_M^w; \quad (5.3.7.1-3)$$

f — функция, определяемая в соответствии с [рис. 5.3.7.1](#);

K_M^w — коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.3-1](#);

B_{sw} — ширина скега в плоскости ватерлинии в режиме движения на воздушной подушке, м;

M_{d1} – динамический изгибающий момент; вызванный ударом соединительного моста (днища в районе воздушной подушки) о волну;

M_{d2} – динамический изгибающий момент, обусловленный ударами скегов о волну.

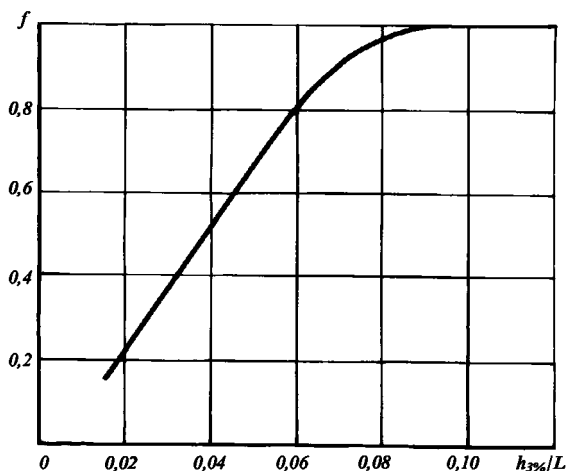


Рис. 5.3.7.1

Величина динамического изгибающего момента M_{d1} определяется по формулам (5.3.6.2-4) и (5.3.6.2-5). При этом значения вертикальных относительных ускорений n_g определяется по формуле

$$n_g = n_1(1 - k_g) + n_2 k_g, \quad (5.3.7.1-4)$$

$$\text{где } k_g = \frac{3\bar{h}_1^2 - 2\bar{h}_1^3}{f}; \quad (5.3.7.1-5)$$

$$\begin{aligned} \bar{h}_1 &= f - 6,5 H_{ac}/L; \\ n_1 &= (0,33 Fr_L^2 + 0,165 Fr_L + 0,05)(5,7 h_2 - 0,81 h_2 + 0,16) + 0,42 h_2; \end{aligned} \quad (5.3.7.1-6)$$

$$\begin{aligned} h_2 &= 0,077 \frac{L}{\sqrt[3]{\Delta}} f; \\ n_2 &= [0,5 + (0,34 + 0,72 f^2) Fr_L] f^{1,5}. \end{aligned} \quad (5.3.7.1-7)$$

Величина динамического изгибающего момента M_{d2} определяется по формуле

$$M_{d2} = 0,052 \rho B_5^2 L^2 \frac{\omega_1}{\rho_y} \left[0,42 a \sqrt{\frac{g}{L}} (2,5 Fr_L + 1) + 0,023 V \right] v K_M^b \quad (5.3.7.1-8)$$

где B_5 – ширина скега в плоскости ватерлинии, соответствующей его погружению по уровень скулы, в районе 5-го теоретического шпангоута, м;

v – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.6.2](#);

$$\begin{aligned} a &= 0,045(3,1 - 0,39 Fr_\Delta - 0,12 L_{ac}/B_{ac} + 0,02 Fr_\Delta L_{ac}/B_{ac} \times \\ &\times (1,17 - 0,66 \rho_y/L)(2,5 - 5,8 B_{sw}/B) f L; \end{aligned} \quad (5.3.7.1-9)$$

$$\bar{\tau} = 0,13 \frac{\omega_1 T_2}{\sqrt[3]{(g/L)(2,5 Fr_L + 1)}}; \quad (5.3.7.1-10)$$

T_2 – осадка скега, погруженного до уровня скулы, в районе 2-го теоретического шпангоута, м.

5.3.7.2 Перерезывающие силы, действующие в поперечных сечениях skeговых СВП, определяются по формулам:

$$Q_{des}^{sg} = Q_{st.w} + \frac{1}{L} [4M_w^{\otimes} K_N^w + 5,8M_{d1}^{\otimes} K_N^d + 3,2M_{d2}^{\otimes} K_N^w];$$

(5.3.7.2-1)

$$Q_{des}^{ng} = Q_{st.w} - \frac{1}{L} [4M_w^{\otimes} K_N^w + 3,5M_{d1}^{\otimes} K_N^d + 1,6M_{d2}^{\otimes} K_N^w].$$

(5.3.7.2-2)

5.3.7.3 При расчете общей поперечной прочности skeговых СВП вычисления поперечных изгибающих моментов и перерезывающих сил следует производить в соответствии с указаниями [5.3.6.4](#) и [5.3.6.5](#). Производя расчет изгибающего момента по [формуле \(5.3.6.4-3\)](#), в качестве расчетного относительного ускорения следует принять величину, равную

$$n_g = 29M_{d2}\bar{\rho}_y / L\bar{\tau}\Delta(1 + m_z). \quad (5.3.7.3)$$

5.3.7.4 Расчетные значения крутящих моментов, действующих в поперечных сечениях skeговых СВП, определяются в соответствии с указаниями [5.3.6.6](#). При этом параметр $k = 0,2$, а значение относительного ускорения определяется по [формуле \(5.3.7.3\)](#).

5.3.8 Расчет нагрузок, определяющих прочность глиссирующих судов.

5.3.8.1 Определение расчетных ускорений.

Вертикальные ускорения a , используемые при оценке инерционных усилий, передаваемых грузами на конструкции корпуса, определяются для двух случаев удара судна о встречные волны: при ударе в носовую оконечность (в районе 3-го теоретического шпангоута) и при ударе в среднюю часть судна (кормовое 3-го теоретического шпангоута) по формуле

$$a/g = \frac{f_h f_v (1 + k_a) (4,83 - 0,176\beta_a + 0,002\beta_a^2) [0,67L/B_{\otimes} - 0,08(L/B_{\otimes})^2 - 0,35]}{k_p(1 + m_z)}, \quad (5.3.8.1)$$

где $f_h = 13\{1 - \exp[-(17h_{3\%}/L - 2,9)^2]\}h_{3\%}/L$, если $h_{3\%}/L \leq 0,095$;

$f_h = 1,0$, если $h_{3\%}/L > 0,095$;

$f_v = [0,96 + 0,48\exp(2,5Fr_c - 2,5)]/[2,27 + 17,7\exp(-1,1Fr_{\Delta})]$;

$Fr_c = 0,514V/\sqrt{gc}$;

$c = B_{\otimes}^4 \ell_G^4 / (\Delta/\gamma)^{7/3}$;

$Fr_{\Delta} = 0,514V/\sqrt{g\nabla^{1/3}}$;

$n = 0,5 + 0,8\phi_v$;

$$\varphi_v = \exp[-0,75(Fr_\Delta - 0,9)^2];$$

$$k_a = \frac{A}{\rho_y^2 L} (x - x_g), \text{ но не менее нуля};$$

$$A = 0,539 + 0,311\varphi_v - x_g/L \text{ — при ударе в носовую оконечность судна},$$

$$A = \varphi_a[3,27 - 0,205\lambda - (0,707 - 0,032\lambda)Fr_\Delta + (0,0707 - 0,003\lambda)Fr_\Delta^2] \rho_y^2 L/B_\otimes,$$

$$\text{но не менее нуля и не более } 0,65l_G/L \text{ — при ударе в среднюю часть судна};$$

$$\varphi_a = [1 + (\beta_\otimes/30 - 0,5)(-0,071 + 0,067Fr_\Delta - 0,002Fr_\Delta^2)]k_T,$$

λ — величина, принимаемая равной отношению L/B (или 5,0 в зависимости от того, что больше);
 $k_T = 1,0$ — для глиссирующих судов с обычной гидродинамической компоновкой,
 1,07 — для судов с воздушной каверной на днище;

$$\rho_y^2 = \frac{I_y(1 + m_\psi)}{\nabla L^2(1 + m_z)};$$

$$m_z = 1,3\gamma B_\otimes^2 l_G(1 - \beta_a/180) \frac{a^2}{1 + a} k\zeta^2/\Delta;$$

$$m_\psi = 0,39\gamma B_\otimes^2 l_G^3 (1 - \beta_a/180) \frac{a^2}{(3 - 2a)(3 - a)} k\zeta^2/I_y;$$

$$a = 0,5(1 + B_{tr}/B_\otimes);$$

$$\zeta = [1 - 0,425\eta/(1 + \eta^2)]\eta/(1 + \eta^2)^{0,5};$$

$$\eta = 3,4l_G/(B_\otimes + B_{tr});$$

$k = 1,0$ — для глиссирующих судов без реданов;

0,85 — для глиссирующих судов с реданами;

0,5 — для судов с воздушной каверной на днище;

$k_p = (0,285 - 0,737\rho_y + 0,047r)/(1 + r)$ — при ударе в носовую оконечность;

0,36exp(-0,168Fr_Δ) — при ударе в среднюю часть судна и числе Фруда $Fr_\Delta < 4,0$;

0,184 — при ударе в среднюю часть судна и числе Фруда $Fr_\Delta \geq 4,0$;

$r = 0,8(1 - \varphi_v)$;

β_a — угол килеватости поперечного сечения судна (при ударе волны в носовую оконечность судна рассматривается сечение по 3-му теоретическому шпангоуту, при ударе в среднюю часть — сечение, расположенное на расстоянии $x = l_G + AL$ от транца).

5.3.8.2 Нагрузки, определяющие общую прочность корпуса.

5.3.8.2.1 К нагрузкам, определяющим общую прочность корпуса глиссирующего судна, относятся изгибающие моменты и перерезывающие силы, действующие в поперечных сечениях корпуса при прогибе и перегибе судна. Распределение изгибающих моментов и перерезывающих сил по длине корпуса принимается в соответствии с [5.3.2.4](#).

5.3.8.2.2 Величины прогибающих и перегибающих моментов в миделевом сечении корпуса определяются по формуле

$$M_{sag(hog)} = M_{st.w.} \pm k_M \Delta L a_G / g \quad (5.3.8.2.2)$$

где $M_{st.w.}$ — изгибающий момент в миделевом сечении корпуса при движении судна на тихой воде;

a_G — величина вертикального ускорения a , вычисленная в центре тяжести судна в соответствии с [5.3.8.1](#) (при значении $k_a = 0$);

$k_M = k_p$ — при ударе волны в носовую оконечность судна и прогибе корпуса;

0,07 — при ударе волны в среднюю часть судна и перегибе корпуса.

5.3.8.2.3 Расчетные величины перерезывающих сил при прогибе и перегибе корпуса определяются по формуле

$$Q_{sag(hog)} = 4,5M_{sag(hog)}/L \quad (5.3.8.2.3)$$

5.3.9 Нагрузки, определяющие прочность скоростных катамаранов.

5.3.9.1 Определение расчетных ускорений.

Расчетные вертикальные ускорения a , используемые при оценке давлений и усилий, передаваемых грузами на конструкции корпуса, определяются по формуле

$$a/g = [1,4 + 3,4Fr_L \exp(-2,7Fr_L)](1 + 2,5Fr_L)^2 \times f \sqrt{1 + 48(x_M/L + 0,075)^2} + F \quad (5.3.9.1)$$

где g — ускорение свободного падения;

x_M — абсцисса рассматриваемой точки, отсчитываемая от миделевого сечения (отрицательная при расположении точки кормее миделя);

$$f = \left(1 - \frac{1}{\exp(17 \frac{h_{3\%}}{L} - 2,9)^2}\right) \frac{h_{3\%}}{L}, \text{ при } \frac{h_{3\%}}{L} \leq 0,095;$$

$$f = 0,077, \text{ при } \frac{h_{3\%}}{L} > 0,095;$$

$$F = \left(1 + \frac{0,9 - l_G/L}{(\bar{\rho}_y)^2 L} x_M\right) n \geq 0;$$

l_G — отстояние центра тяжести судна от транца (от кормового перпендикуляра);

$$(\bar{\rho}_y)^2 = \frac{\rho_y^2}{L^2} \cdot \frac{1 + m_\psi}{1 + m_z};$$

ρ_y — радиус инерции массы корпуса судна относительно поперечной оси, проходящей через центр массы судна, м;

$\bar{\rho}_y$ — безразмерный центральный радиус инерции масс судна;

$$m_z = \frac{\pi}{2} \rho g \cdot \frac{\alpha^2}{1 + \alpha} \cdot \frac{B_{hull}^2 L}{\Delta};$$

$$m_\psi = \frac{\pi}{24} \rho g \cdot \frac{\alpha^2}{(3 - 2\alpha) \cdot (3 - \alpha)} \cdot \frac{B_{hull}^2 L^3}{\Delta \cdot \rho_y^2};$$

L — длина судна между перпендикулярами, м;

I_y — центральный момент инерции массы корпуса судна относительно поперечной оси, кг·м²;

ρ — плотность морской воды, т/м³;

B_{hull} — ширина корпуса на мидель шпангоуте на уровне конструктивной ватерлинии, м;

α — коэффициент полноты площади ватерлинии;

$$n = n_1(1 - k_g) + n_2 k_g,$$

$$\text{где } k_g = 3h_1^2 - 2h_1^3;$$

$$h_1 = 13f - 6,5h_{cl}/L;$$

$$n_1 = (0,33Fr_L^2 + 0,165Fr_L + 0,05) \times (5,7h_2^2 - 0,81h_2 + 0,16) + 0,42h_2;$$

$$n_2 = [24 + (16 + 5700f^2)Fr_L]f^{1,5};$$

$$h_2 = \frac{L}{\sqrt[3]{f}};$$

h_{cl} — вертикальный клиренс (расстояние от невозмущенной поверхности жидкости до соединительного моста в миделевом сечении).

5.3.9.2 Нагрузки, определяющие общую прочность корпуса.

К нагрузкам, определяющим общую прочность корпуса, относятся изгибающие моменты и перерезывающие силы, действующие в поперечных и продольных сечениях корпуса, а также крутящие моменты.

Эти нагрузки определяются по приведенным ниже формулам или по результатам испытаний, упругих динамометрированных моделей (см. [5.3.1.10](#) и [5.3.1.11](#)).

5.3.9.2.1 Величина продольного изгибающего момента в поперечном сечении корпуса определяется по формулам:

прогиб

$$M_{des}^{sag} = M_{st.w.} + M_w + M_d, \text{ Т} \cdot \text{м}, \quad (5.3.9.2.1-1)$$

перегиб

$$M_{des}^{hog} = M_{st.w.} - M_w - 0,6M_d, \text{ Т} \cdot \text{м}, \quad (5.3.9.2.1-2)$$

где $M_w = 0,059\alpha\rho g \left(0,8 - 4,9\frac{B_{hull}}{L}\right) \cdot (1 + 2Fr_L - 0,3Fr_L^3) \cdot B_{hull}L^3fk_M^b$, Т·м;

$M_{st.w.}$ – изгибающий момент, действующий в рассматриваемом поперечном сечении при движении судна на тихой воде (положительный при прогибе);

f – функция, определяемая в соответствии с указаниями [5.3.9.1](#);

k_M^b – коэффициент, характеризующий распределение волновой составляющей момента вдоль судна и определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.3-1](#);

α – waterplane area coefficient;

M_d – динамическая составляющая изгибающего момента. Динамическая составляющая момента определяется по формуле

$$M_d = k_{py} \left(3,04 - 4,25\frac{l_G}{L}\right) \cdot (1 + m_z) \cdot \Delta \cdot L \cdot n \cdot k_M^q, \text{ Т} \cdot \text{м};$$

в которой параметры и определяются по указаниям [5.3.9.1](#), а коэффициент k_M^q , находится в соответствии с [рис. 5.3.4.3-2](#).

Коэффициент k_{py} определяется по формуле:

$$k_{py} = 0,322 - 0,833\bar{\rho}_y,$$

где $\bar{\rho}_y$ – параметр, определяемый по указаниям [5.3.9.1](#).

5.3.9.2.2 Значения перерезывающей силы в поперечных сечениях корпуса определяются по формулам:

при прогибе

$$Q_{des}^{sag} = Q_{st.w.} + Q_w + Q_d^{sag}, \text{ Т}, \quad (5.3.9.2.2-1)$$

при перегибе

$$Q_{des}^{hog} = Q_{st.w.} - Q_w - 0,6Q_d^{hog}, \text{ Т}, \quad (5.3.9.2.2-2)$$

где $Q_w = 4(M_w^\otimes/L)k_N^w$; Т,

$$Q_d^{sag} = 5,8(M_d^\otimes/L)k_N^d, \text{ Т};$$

$M_w^\otimes$ и $M_d^\otimes$ – волновая и динамическая составляющие изгибающего момента, действующего в миделевом сечении корпуса;

k_N^w и k_N^d – коэффициенты, определяемые в соответствии с [рис. 5.3.4.3-1](#) и [5.3.4.4](#).

5.3.9.2.3 Расчетные значения изгибающего момента при симметричном поперечном изгибе корпуса определяются по формулам:

при прогибе

$$M_{trans}^{sag} = M_{st.w.}^{trans} + M_{trans}, \text{ Т} \cdot \text{м}, \quad (5.3.9.2.3-1)$$

при перегибе

$$M_{trans}^{hog} = M_{st.w.}^{trans} - M_{trans}, \text{ Т} \cdot \text{м}, \quad (5.3.9.2.3-2)$$

где $M_{st.w.}^{trans}$ – изгибающий момент; действующий в продольных сечениях корпуса при движении судна на тихой воде (положительный при прогибе корпуса);

$$M_{trans} = [0,12\Delta(1 + m_z)Bn + 0,0021\rho g B^3 L] k_M^{trans}, \text{ Т} \cdot \text{м};$$

B – ширина судна на миделе;

m_z и n – параметры, определяемые по указаниям [5.3.9.1](#);

k_M^{trans} – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.5](#).

5.3.9.2.4 Перерезывающие силы, действующие в продольных сечениях корпуса, определяются по формуле

$$Q_{des}^{trans} = (5,2 M_{trans}^{sag(hog)} / B) k_N^{trans}, \text{ Т}, \quad (5.3.9.2.4)$$

где k_N^{trans} – коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.3.4.6](#) при значении относительной ординаты $y^*/B = 0,11 + 0,38 B_h/B$;

B_h – горизонтальный клиренс — расстояние между корпусами в миделевом сечении, измеренное в плоскости конструктивной ватерлинии).

5.3.9.2.5 Расчетные значения крутящих моментов в поперечных сечениях корпуса принимаются равными:

$$M_{des}^{tor} = \Delta B [0,32(3\bar{l}_G - 1) \sin \pi \bar{x} + \bar{M}_d(\bar{x})], \text{ Т} \cdot \text{м}, \quad (5.3.9.2.5)$$

где $\bar{x} = 1 - j/20$ (j – номер теоретического шпангоута);

$\bar{l}_G = l_G/L$ – относительное отстояние центра тяжести судна от транца (от кормового перпендикуляра).

Функция $\bar{M}_d(\bar{x})$ определяется следующими зависимостями:

в пределах от 0 до 2 теоретического шпангоута

$$\bar{M}_d(\bar{x}) = (-49 + 100\bar{x} - 50\bar{x}^2 + f_m)r,$$

где $r = 0,25\Delta(1 + m_z)(B + B_{hor})n$;

$$f_m = -\bar{a}\bar{x} - b\bar{x}^2/2 + \frac{c}{\pi} \cos \pi \bar{x} - c/\pi;$$

$$b = 6(2\bar{l}_G - 1);$$

$$c = 43,7(\frac{4+b}{12} - \bar{\rho}_y^2 - \bar{l}_G^2);$$

$$\bar{a} = 1 - b/2 - 2c/\pi;$$

в пределах от 2 до 4 теоретического шпангоута

$$\bar{M}_d(\bar{x}) = r(32 - 80\bar{x} + 50\bar{x}^2 + f_m);$$

в пределах от 4 до 20 теоретического шпангоута

$$\bar{M}_d(\bar{x}) = r f_m.$$

5.3.9.2.6 Поперечный крутящий момент (в продольном сечении соединительных конструкций у внутреннего борта корпуса) определяется по формуле

$$M_{trans}^{tor} = (0,1n + 1,2f)\Delta L, \text{ Т} \cdot \text{м}. \quad (5.3.9.2.)$$

5.3.10 Проверка общей прочности СПК и глиссирующего судна.**5.3.10.1** Общая прочность корпуса должна быть проверена:

по допускаемым нормальным и касательным напряжениям;

по предельному состоянию.

5.3.10.2 Расчетные значения нормальных напряжений в крайних связях эквивалентного бруса должны удовлетворять условиям:

$$\sigma_u = \alpha_u M_{des} / W_u \leq \sigma_{per} = n_s \sigma_0; \quad (5.3.10.2-1)$$

$$\sigma_l = \alpha_l M_{des} / W_l \leq \sigma_{per} = n_s \sigma_0; \quad (5.3.10.2-2)$$

где σ_u и σ_l – расчетные напряжения в верхней (надстройке) и нижней (днище) связях эквивалентного бруса соответственно; M_{des} – расчетный изгибающий момент при прогибе или перегибе, действующий в расчетном сечении и вычисляемый в соответствии с [5.3.3.3 — 5.3.3.9](#), [5.3.8.2.2](#); W_u и W_l – моменты сопротивления для верхней и нижней связей эквивалентного бруса соответственно; α_u и α_l – коэффициенты, учитывающие степень участия надстройки в общем изгибе корпуса и принимаемые равными $\alpha_u = 0,85$ и $\alpha_l = 1,4$ (в случае отсутствия в надстройке регулярно расположенных оконных вырезов коэффициенты $\alpha_u = \alpha_l = 1$); n_s – коэффициент запаса, принимаемый в соответствии с [рис. 5.2.8](#).

Распределение нормальных напряжений по высоте сечения корпуса принимается линейным.

5.3.10.3 В случае, когда надстройка простирается практически по всей длине корпуса судна, стенки ее совпадают с бортами и ослаблены большим числом часто расположенных вырезов, нормальные напряжения в корпусе σ_h и тенте (крыше) надстройки σ_s , а также нормальные σ_{ws} и касательные τ_{ws} напряжения в стенке оконной перемишки могут быть вычислены по формулам:

$$\sigma_h = M_{des} y / I - T(1/F + l y / I); \quad (5.3.10.3-1)$$

$$\sigma_s = T / f; \quad (5.3.10.3-2)$$

$$\sigma_{ws} = \pm a b s T / 4 i_0; \tau_{ws} = c T / b t, \quad (5.3.10.3-3)$$

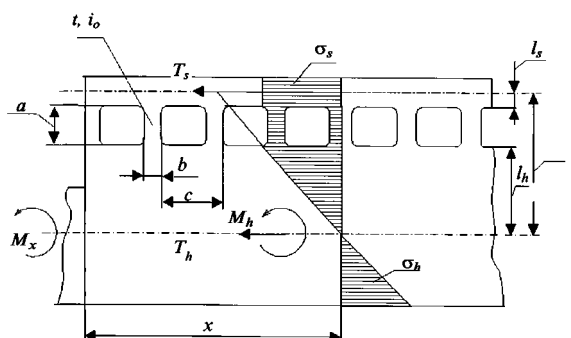
где M_{des} – расчетный изгибающий момент (при прогибе или перегибе) в рассматриваемом сечении, кН/м; y – отстояние рассматриваемой связи от нейтральной оси сечения корпуса, м; I – момент инерции поперечного сечения корпуса, м⁴; F – площадь поперечного сечения корпуса, м²; f – площадь поперечного сечения надстройки, м²; l – отстояние линии центров тяжести сечений корпуса от линии центров тяжести сечений тента надстройки, м (см. [рис. 5.3.10.3](#)); a – высота окон, м (см. [рис. 5.3.10.3](#));

Рис. 5.3.10.3

- b – ширина оконной перемычки, м;
 c – шаг оконных вырезов, м;
 t – толщина перемычки, м;
 i_0 – момент инерции поперечного сечения перемычки, м⁴;
 T – осевое усилие, действующее по линиям центров тяжести сечений корпуса T_h тента надстройки T_s , кН, равное:

$$T_h = -T_N = T = T_0 \left[\frac{\lambda sh\lambda(l-x)}{sh\lambda l} \int_0^l \frac{M_x}{M_0} sh\lambda \xi d\xi + \frac{\lambda sh\lambda x}{sh\lambda l} \int_0^l \frac{M_h}{M_0} sh\lambda(l-\xi) d\xi \right]; \quad (5.3.10.3-4)$$

- T_0 – величина усилия в рассматриваемом сечении при полном участии тента надстройки в общем изгибе корпуса, кН:

$$T_0 = \frac{M_0 l f}{(F+f)I/F + f l^2}; \quad (5.3.10.3-5)$$

- $M_0 = M_h + T l$ – переменный по длине корпуса расчетный изгибающий момент, кН/м;
 M_h – изгибающий момент, действующий в поперечном сечении корпуса, кН/м;

$$\lambda^2 = \frac{K}{E} \left(\frac{F+f}{Ff} + l^2/I \right); \quad (5.3.10.3-6)$$

- E – модуль нормально упругости, кПа;

$$T = K \delta; \quad (5.3.10.3-7)$$

- δ – сдвиг центра тяжести сечений корпуса по отношению к центрам тяжести сечений тента надстройки вдоль оси x , м;

$$\delta' = T/EF + T/ef - M_h l/EI; \quad (5.3.10.3-8)$$

- l – длина надстройки, м;

- K – коэффициент жесткости связей корпуса и надстройки, кН/м²:

$$K = \frac{1}{1/K_0 + 1/K_h + 1/K_s}; \quad (5.3.10.3-9)$$

- K_0 – коэффициент жесткости связей борта надстройки, ослабленного регулярно расположенными оконными вырезами, находящимися на равном расстоянии друг от друга, кН/м²:

$$K_0 = \frac{E}{ac(a^2/12i_0 + 2,6/bt)}; \quad (5.3.10.3-10)$$

- K_h и K_s – коэффициенты жесткости, учитывающие кроме податливости конструкции на уровне оконных вырезов, также податливость на сдвиг стенки тента надстройки и борта корпуса:

$$K_h = \frac{E t_h}{2,6 l_h (1 - t_h l_h / 2F)}; \quad (5.3.10.3-11)$$

$$K_s = \frac{E t_s}{2,6 l_s (1 - t_s l_s / 2F)}; \quad (5.3.10.3-12)$$

- t_h и t_s – средние толщины обшивки, примыкающей к оконным вырезам, района корпуса и тента надстройки соответственно, м;

- l_h – отстояние линии центров тяжести сечений корпуса от нижней кромки оконных вырезов, м;

- l_s – отстояние линии центров тяжести сечений тента надстройки от верхней кромки оконных вырезов, м.

5.3.10.4 Расчетные значения касательных напряжений при прогибе и перегибе корпуса должны удовлетворять условию

$$\tau = \frac{Q_{des} S_x}{I_x \delta} \leq \tau_{per} = 0,3 R_{p02} \quad (5.3.10.4)$$

где Q_{des} – расчетное значение перерезывающей силы, вычисляемое в соответствии с [5.3.3.3 — 5.3.3.9](#);

S_x – статический момент площади расчетного поперечного сечения относительно нейтральной оси, м³;

δ – суммарная толщина борта и продольных переборок на уровне, где определяются касательные напряжения, м;

Суммарная расчетная толщина борта и продольных переборок, в случае недостаточной устойчивости листов переборок по отношению к сдвигающим усилиям, должна вычисляться с учетом редуцированного коэффициента, равного отношению эйлеровых касательных напряжений к расчетным.

Для обшивки борта должен быть обеспечен запас устойчивости при действии касательных напряжений не менее 1,5.

Примечание. В случае, если критические касательные напряжения определены с учетом изменения модуля упругости материала, допускается принимать $\tau \leq \tau_{cr}$.

При проверке прочности на действие касательных напряжений можно ограничиться проверкой лишь двух сечений корпуса в районе действия максимальных перерезывающих сил.

5.3.10.5 Проверка прочности по предельным моментам должна показать, что как при прогибе, так и при перегибе корпуса отношение предельного момента к наибольшему расчетному изгибающему моменту в проверяемом сечении должно удовлетворять условию

$$M_{ult} / M_{des} \geq 0,8 / n_s \quad (5.3.10.5-1)$$

$$\text{где } M_{ult} = \sigma_0 W_0; \quad (5.3.10.5-2)$$

W_0 – минимальный момент сопротивления, м³, проверяемого сечения корпуса, вычисленный с учетом редуцирования площадей связей, теряющий устойчивость, в предположении, что в крайних, наиболее удаленных от нейтральной оси связях корпуса, действуют напряжения, равные опасным;

n_s – коэффициент запаса, принимаемый в соответствии с [рис. 5.2.8](#).

5.3.11 Расчет прочности корпусов СВП и скоростных катамаранов при их изгибе в продольном направлении.

5.3.11.1 Общая прочность корпуса при его изгибе в продольном направлении должна быть проверена для случаев прогиба и перегиба корпуса:

по допускаемым нормальным и касательным напряжениям на действие расчетных изгибающих моментов и перерезывающих сил, определенных для принятых расчетных режимов движения, в соответствии с [5.3.4 — 5.3.7](#) и [5.3.9](#);

по предельным моментам.

5.3.11.2 Определение нормальных и касательных напряжений, действующих в связях корпуса при продольном изгибе, а также предельного момента производится в соответствии с [5.3.8](#). При проверке общей прочности по предельному моменту (см. [5.2.9](#)) коэффициент запаса n_s принимается равным 2,0.

5.3.12 Расчет прочности корпусов СВП и скоростных катамаранов при их изгибе в поперечном направлении.

5.3.12.1 Определение напряжений при проверке поперечной прочности корпуса производится с помощью метода конечных элементов или с помощью изложенного ниже приближенного метода, основанного на балочной схематизации поперечных переборок. Этот метод может использоваться при соотношении $B/D \geq 2$ и наличии поперечных переборок, расположенных по всей ширине корпуса. Поперечная переборка рассчитывается как балка на действие изгибающего момента и перерезывающей силы. Общий поперечный изгибающий момент и перерезывающая сила в продольном сечении корпуса распределяются между отдельными переборками пропорционально их изгибно-сдвиговой жесткости.

В случае посадки судна на днищевые опоры опорные реакции воспринимаются только теми поперечными связями, которые расположены непосредственно над опорами.

Изгибно-сдвиговая жесткость отдельных переборок определяется по формуле

$$I_{bs} = \frac{1}{I_b / KEI_b + 1/h_b \delta_b G} \quad (5.3.12.1)$$

где I_b – момент инерции вертикального сечения переборки с присоединенными поясками палуб и днища, м⁴;

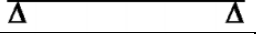
l_b – длина пролета переборки, м;

h_b – средняя высота переборки, м;

δ_b – средняя толщина полотна переборки, м;

K – коэффициент, определяемый по [табл. 5.3.12.1](#), в зависимости от закрепления переборки на бортах.

Таблица 5.3.12.1

Условия закрепления концов поперечных связей		K
Свободная опора		24
Жесткая заделка		96

При определении момента инерции переборки учитываются присоединенные пояски днища, платформ, палуб, ширина которых принимается как меньшая из величин, равных 1/8 части длины пролета, либо расстоянию между соседними переборками.

5.3.12.2 При отсутствии поперечных переборок в средней (по ширине) части корпуса расчет поперечной прочности осуществляется в зависимости от уровня несущей способности связей, подкрепляющих корпус в поперечном направлении. Если у поперечных связей обеспечен двукратный запас по устойчивости (отношение критической сжимающей нагрузки для балки к усилию, соответствующему максимальной величине поперечного изгибающего момента, больше или равно двум), то в расчетах прочности должно приниматься предположение о совместной работе поперечных связей палубы надстройки и балок понтона (бимсов и флоров) в составе единого эквивалентного бруса.

При запасах прочности связей понтонов (флоров), удовлетворяющих условию [\(5.3.12.4-3\)](#), допустимо снижение запасов устойчивости поперечных связей палубы надстройки (верхней палубы) до 1,2. В этом случае в расчетах прочности должно приниматься предположение о том, что бимсы и флоры изгибаются изолированно (не образуя единый эквивалентный брус).

При использовании предположения о совместной работе бимсов и флоров при изгибе корпуса в поперечном направлении расчет производится по обычной схеме эквивалентного бруса.

Напряжения сжатия в бимсах и напряжения растяжения во флорах, найденные в предположении совместной работы поперечных связей в составе идеальной балки, при прогибе ее в поперечном направлении, должны суммироваться с дополнительными нормальными напряжениями, обусловленными изгибом поперечных связей между продольными переборками, вызванным действием в корпусе сдвигающих усилий.

Дополнительные изгибающие моменты в отдельных бимсах и флорах распределяются пропорционально их изгибно-сдвиговой жесткости, оцениваемой по параметру

$$\lambda_{ts} = \frac{1}{F_{ts} / (2EI_{ts}) + 1 / (GF_{ts})} \quad (5.3.12.2-1)$$

где l_{ts} – расстояние между продольными переборками, м;
 F_{ts} и I_{ts} – площадь поперечного сечения стенки рассматриваемой поперечной балки и момента инерции ее поперечного сечения.

Суммарное значение изгибающего момента, распределяемое между отдельными балками, определяется по формуле

$$M_E = 0,33 Q_{el}^{trans} \lambda_{ts}. \quad (5.3.12.2-2)$$

где Q_{el}^{trans} – наибольшее значение перерезывающей силы в продольных сечениях корпуса, определяемое в соответствии с [5.3.4.4](#), [5.3.4.6](#), [5.3.4.8](#), [5.3.6.3](#), [5.3.6.5](#), [5.3.7.3](#) и [5.3.9](#).

Определение нормальных и касательных напряжений в элементах поперечных связей производится по формулам:

$$\sigma = M_{des} y / I; \quad (5.3.12.2-3)$$

$$\tau = Q s / I \delta, \quad (5.3.12.2-4)$$

где M_{des} – расчетный изгибающий момент в рассматриваемом сечении;
 I – момент инерции площади сечения, вычисленный с учетом возможного редуцирования связей;
 y – отстояние рассматриваемой связи от нейтральной оси сечения;
 Q – расчетная перерезывающая сила в сечении;
 s – статический момент относительно нейтральной оси части площади сечения, лежащей выше рассматриваемой оси;
 δ – суммарная толщина стенок сечения на уровне рассматриваемой горизонтали.

В случае, если поперечная связь представляет собой симметричную раскосную плоскую ферму, нормальные напряжения в ее поясках определяются по формуле

$$\sigma = M_{des} / a_h F_{gf}, \quad (5.3.12.2-5)$$

где F_{gf} – площадь пояска фермы;
 a_h – расстояние между поясками (высота фермы).

Перерезывающие силы уравниваются в узлах фермы усилиями в раскосах и стойках, которые определяются методами расчета ферм. Нормальные напряжения в раскосах вычисляются как отношение найденного осевого усилия к площади поперечного сечения соответствующего элемента.

5.3.12.3 При наличии поперечных переборок в среднем отсеке корпуса должна быть выполнена проверка предельной прочности корпуса по условиям:

$$M_{hs}^{trans} / M_{el}^{trans} \geq 2; \quad (5.3.12.3)$$

$$Q_{ult}^{trans} / Q_{el}^{trans} \geq 1,5,$$

где M_{el}^{trans} и Q_{el}^{trans} – наибольшие значения суммарного изгибающего момента и перерезывающей силы в продольном сечении балки-переборки для рассматриваемого режима эксплуатации;

$M_{hs}^{trans} = \sigma_0 W_k^{trans}$ – предельный изгибающий момент для балки-переборки;

$Q_{ult}^{trans} = 0,5 \Omega_b \sigma_{0,2}$ – предельная перерезывающая сила для рассматриваемой поперечной переборки;

W_k^{trans}	– момент сопротивления сечения балки-переборки, вычисленный в предположении, что в ее крайних фибрах действуют напряжения, равные опасным σ_0 , найденным в соответствии с 5.2.3 ;
Ω_b	– площадь сечения поперечной переборки (вертикальной плоскостью).

5.3.12.4 При отсутствии поперечных переборок в среднем отсеке корпуса и использовании в расчете поперечной прочности предположений об изолированной работе бимсов и флоров (см. [5.3.12.2](#)) прочность последних должна быть проверена по величинам предельного момента и предельной перерезывающей силы, определяемым по формулам:

$$M_{hs}^F = \sigma_0 W_e^F; \quad (5.3.12.4-1)$$

$$Q_{hs}^F = 0,5 \Omega_F R_{\rho 0,2}, \quad (5.3.12.4-2)$$

где W_e^F – момент сопротивления сечения флора, вычисленный в предположении, что в его крайних фибрах действуют напряжения, равные опасным (назначаемым в соответствии с [5.2](#)).

Ω_F – площадь сечения стенки флора.

В этом случае должны выполняться условия:

$$W_{hs}^F / M_F \geq 2; Q_{hs}^F / Q_F \geq 1,5, \quad (5.3.12.4-3)$$

где M_F и Q_F – максимальное значение суммарного изгибающего момента и перерезывающей силы в поперечных сечениях флора, найденные с учетом моментов, развивающихся при общем изгибе корпуса в поперечном направлении, местных нагрузок (см. [5.4.6.5](#)), обусловленных наличием грузов (перевозимой техники, топлива, воды и т.д.), и дополнительных изгибающих моментов, определяемых в соответствии с [5.3.10.2](#).

При отсутствии поперечных переборок в среднем отсеке корпуса и использовании предположения о совместной работе бимсов и флоров (см. [5.3.12.2](#)) должна быть выполнена проверка прочности корпуса по предельному моменту в соответствии с условием ([5.3.12.3](#)) и проверка предельной прочности флоров по условиям ([5.3.12.4-3](#)). При этом в расчетную величину суммарного изгибающего момента включается только составляющая, обусловленных наличием грузов (техники, топлива, воды и т.д.), и дополнительный изгибающий момент; определяемый в соответствии с [5.3.12.2](#).

5.3.13 Расчет прочности корпусов СВП и скоростных катамаранов при кручении.

5.3.13.1 В случае наличия в корпусе поперечных переборок, расположенных по всей ширине корпуса, поперечные сечения при кручении считаются недеформируемыми в своей плоскости. Общий крутящий момент, действующий в сечении, распределяется между односвязными контурами (под контуром понимается элемент поперечного сечения корпуса, ограниченный продольными переборками или продольными переборками и бортами, палубой, днищем), составляющими поперечное сечение пропорционально их жесткости на кручение, определяемой по формуле

$$C_i = \omega_c^2 / \sum_{c=1}^n (l_c / \delta_c), \quad (5.3.13.1-1)$$

где l_c – длина стенки контура, м;
 δ_c – толщина стенки контура, м;
 ω_c – удвоенная площадь, ограниченная k -тым контуром, м² (см. [рис. 5.3.13.1](#));
 n – число стенок контура.

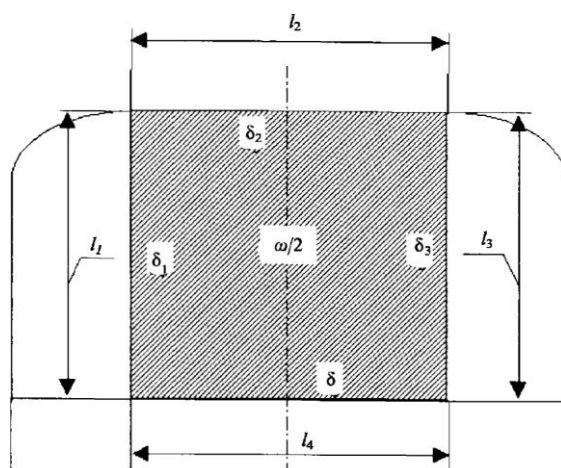


Рис. 5.3.13.1

Касательные напряжения в стенках каждого контура сечения от кручения определяются по формуле

$$\tau_i = M_i / \omega_i \delta_i, \quad (5.3.13.1-2)$$

где M_i — доля крутящего момента, приходящаяся на i -тый контур, кН/м.

В общей стенке двух соседних контуров суммарные касательные напряжения находятся как разность величин напряжений в этой стенке от каждого контура.

5.3.13.2 Для судов со средним грузовым отсеком, в котором на всей длине или большей части длины отсутствуют поперечные переборки, должны быть определены дополнительные нормальные и касательные напряжения в поперечных связях.

Дополнительные касательные напряжения в грузовой палубе и днище определяются по формуле

$$\tau_{db} = \pm G h_d \left\{ \alpha \left[\frac{3}{2} \frac{1}{l/2} - \frac{3}{2} \frac{y^2}{(l/2)^3} \right] + \beta \frac{1}{l/2} \right\}, \quad (5.3.13.2-1)$$

где h_d — высота грузовой палубы над основной, м;

l — ширина грузового отсека (см. [рис. 5.3.13.2](#)), м;

знак (+) — относится к днищу;

знак (−) — к грузовой палубе;

y — отстояние рассматриваемой связи от нейтральной оси сечения корпуса, м (см. [рис. 5.3.13.2](#)).

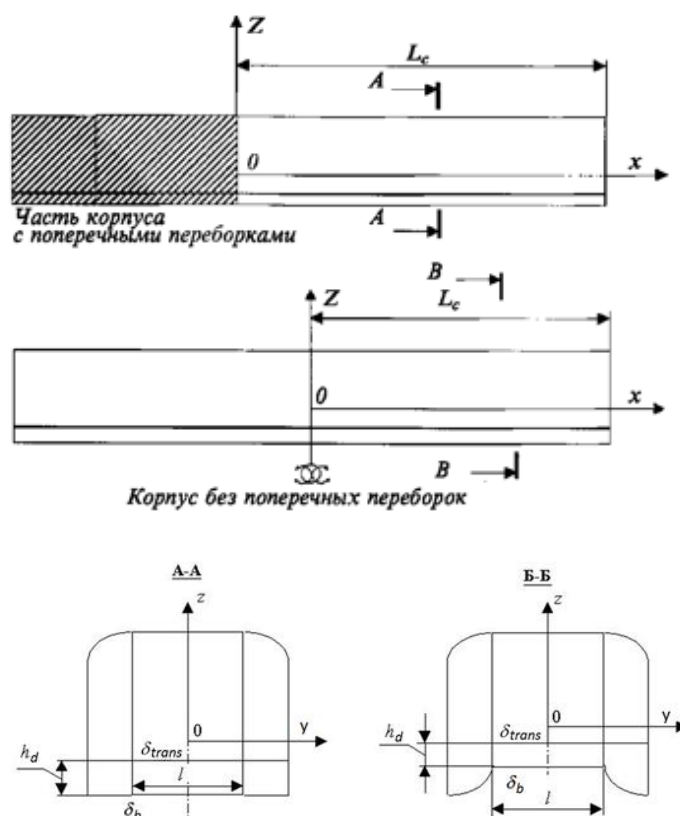


Рис. 5.3.13.2

Параметры α и β определяются по формулам:

$$\alpha = \frac{F(B-D)}{B^2-AD};$$

$$\beta = \frac{F(B-A)}{B^2-AD};$$

$$A = C_g L_c + \frac{E}{G} D_g \frac{L_c^3}{3};$$

$$B = C_\eta L_c + \frac{E}{G} D_{g\eta} \frac{L_c^3}{3};$$

$$D = C_\eta L_c + \frac{E}{G} D_\eta \frac{L_c^3}{3};$$

$$F = \Omega / G L_c$$

Ω — площадь эпюры крутящих моментов на участке длины L_c , $\text{кН} \cdot \text{м}^2$;
 L_c — длина грузового отсека, определяемая в соответствии с [рис. 5.3.13.2](#), м;

$C_g, C_\eta, D_g, D_\eta, D_{g\eta}$ — параметры жесткости, определяемые по формулам:

$$C_g = 4,8 \frac{h_d^2}{l} (\delta_d - \delta_b) ;$$

$$C_\eta = 4 \frac{h_d^2}{l} (\delta_d + \delta_b) ;$$

$$D_g = (I_F/b_F + I_\delta/b_\delta) \frac{6}{(l/2)^3} ;$$

$$D_\eta = \frac{I_\delta}{b_\delta} \frac{6}{(l/2)^3} + \frac{G}{E} \frac{4t_F h_d}{lb_F} ;$$

$$D_{g\eta} = \frac{I_\delta}{b_F} \frac{6}{(l/2)^3} ;$$

I_F и I_δ — моменты инерции флора и бимса, м⁴;
 b_F и b_δ — расстояние между флорами и бимсами, м;
 t_F — толщина стенки флора, м;
 δ_d и δ_b — средние толщины грузовой палубы и днища, м.

Нормальные напряжения во флорах и бимсах от общего кручения корпуса определяются по формулам:

$$\sigma_F = -E\alpha x \frac{12}{l^2} z_F ; \quad (5.3.13.2-2)$$

$$\sigma_\delta = -E(\alpha + \beta) \cdot x \cdot \frac{12}{l^2} \cdot z_\delta ,$$

где z_F и z_δ — расстояние рассматриваемой точки флора или бимса от нейтральной оси рассчитываемой связи, м;
 x — абсцисса сечения (см. [рис. 5.3.13.2](#)), м;
 α и β — параметры, определяемые в аннотации к [формуле \(5.3.13.2-1\)](#).

Касательные напряжения в стенке флоров определяются по формуле

$$\tau_F = G\beta x \frac{1}{l/2} . \quad (5.3.13.2-3)$$

Максимум напряжений $\sigma_F, \sigma_\delta, \tau_F$ достигается в сечениях при $x = L_c$.

5.4 РАСЧЕТ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

5.4.1 Общие указания.

5.4.1.1 При расчете перекрытий, шпангоутных рам и балок набора должно учитываться следующее:

.1 пролеты балок, составляющие шпангоутную раму, принимаются как расстояния между точками пересечения нейтральных осей соответствующих балок;

.2 допускается не учитывать переменность сечения балок, образуемую кницами, если кницы не превышают 0,1 пролета балки; наличие книц в этом случае должно учитываться в определении моментов сопротивления балки на опорах; если кницы превышают 0,1 пролета балки, допускается учитывать влияние переменности момента инерции на изгибающие моменты;

.3 криволинейные балки со стрелкой прогиба менее 10 % пролета считаются как прямые.

5.4.1.2 Геометрические элементы сечения балок должны определяться с учетом присоединенного пояска обшивки, ширина которого зависит от различных факторов.

5.4.1.2.1 При расчете на изгиб ширина присоединенного пояска принимается равной расстоянию между одноименными балками.

5.4.1.2.2 При расчете на устойчивость ширина присоединенного пояска принимается равной:

при определении площади сечения балки — расстоянию между одноименными балками;

при определении момента инерции поперечного сечения балки:

$$C = \frac{a}{2}(1 + \varphi), \quad (5.4.1.2.2)$$

где C — ширина присоединенного пояска, м;
 a — расстояние между одноименными балками, м;
 $\varphi = \sigma_e / \sigma_s$.

Примечание. При $\sigma_e > \sigma_s$ следует принимать $\varphi = 1$.

5.4.1.2.3 При расчете на изгиб — для поперечных балок, идущих по верху продольных ребер жесткости (навесная система набора), ширина присоединенного пояска принимается равной:

при наличии соединительных деталей (проставок), установленных через одно ребро, — 80 % от нормального пояска, принимаемого в [5.4.1.2.1](#);

при наличии соединительных деталей, установленных через два ребра, — 60 % от нормального пояска, принимаемого в [5.4.1.2.1](#);

при наличии соединительных деталей, установленных только в опорных сечениях — 1/32 пролета балки.

При этом напряжения в присоединенном пояске следует определять по формуле

$$\sigma_{E.F.} = \sigma_{E.F.}^* \times l / 24C, \quad (5.4.1.2.3)$$

где $\sigma_{E.F.}$ — напряжения в присоединенном пояске, кПа;
 $\sigma_{E.F.}^*$ — напряжения в присоединенном пояске, вычисленные в предположении включения в состав сечения балки обшивки шириной $1/32l$, кПа;
 l — пролет балки, м;
 C — ширина нормального присоединенного пояска рассматриваемой балки, принимаемого в соответствии с [5.4.1.2.1](#), м.

При отсутствии деталей соединения поперечных балок с обшивкой или при потере устойчивости обшивки между соединительными деталями присоединенный пояска не учитывается.

5.4.1.2.4 Во всех случаях ширина присоединенного пояска не должна превышать для ребер жесткости $1/6$ длины расчетного пролета, для усиленных балок — $1/12$ длины балки (перекрытия).

5.4.1.2.5 Для стрингеров и карлингсов в состав присоединенного пояска входят продольные ребра жесткости, расположенные на ширине пояска.

5.4.1.3 Расчет пластин наружной обшивки корпуса и skeгов настила палуб, а также обшивки переборок и надстроек должен производиться в предположении жесткой заделки на опорном контуре. Если отношение сторон опорного контура больше 2,5, допускается рассматривать пластину, как гнущуюся по цилиндрической поверхности.

Вопрос об учете цепных напряжений в пластине должен решаться в каждом конкретном случае. Если отношение меньшей стороны пластины к ее толщине равно или меньше 60, пластины, как правило, должны рассматриваться как абсолютно жесткие.

5.4.1.4 При проверке прочности балок днищевых и бортовых перекрытий должна быть проверена также прочность и устойчивость (с обеспечением коэффициента запаса не менее 1,5) опорных конструкций (палуб, платформ, переборок и т.п.) на наибольшие нагрузки, передающиеся на них от указанных перекрытий.

5.4.1.5 При расчете прочности перекрытий должна быть проверена местная устойчивость балок набора по нормальным и касательным напряжениям с обеспечением коэффициента запаса не менее 1,5.

5.4.1.6 Расчет балок набора поперечных переборок на действие аварийного напора допускается выполнять по методу предельных нагрузок с обеспечением коэффициента запаса, не менее 1,5.

5.4.2 Нагрузки, определяющие прочность днищевых конструкций СПК.

5.4.2.1 Прочность днищевых конструкций корпуса должна быть проверена на действие внешних усилий, возникающих при движении судна в крыльевом режиме и режиме выхода на крылья в условиях расчетного (оговоренного ТЗ) волнения и соответствующих этим режимам скоростей хода, а также на действие аварийного набора.

5.4.2.2 Прочность элементов днищевых перекрытий: пластин обшивки, ребер жесткости и участков шпангоутов между стрингерами должна быть проверена на действие равномерно-распределенной нагрузки P_1 , кПа, равной:

$$P_1 = KP_{\max}, \quad (5.4.2.2-1)$$

где $K = P/P_{\max}$ — распределение относительной величины гидродинамических давлений по длине корпуса, определяемое в соответствии с [рис. 5.4.2.2-1](#);

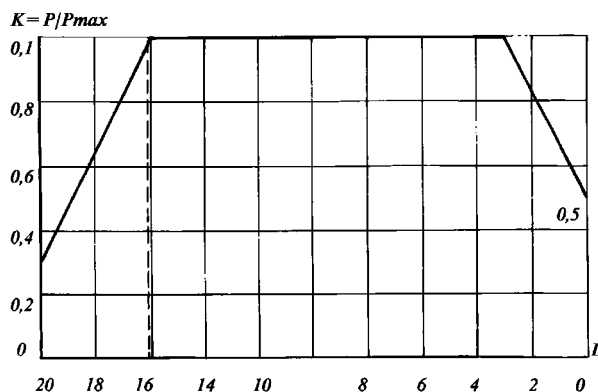


Рис. 5.4.2.2-1

$$P_{\max} = \frac{A \rho (V + aV_w)^2}{2} \quad (5.4.2.2-2)$$

где $P_{\max}$ — максимальная величина гидродинамических давлений, кПа;
 A — коэффициент, определяемый в соответствии с [рис. 5.4.2.2-2](#);

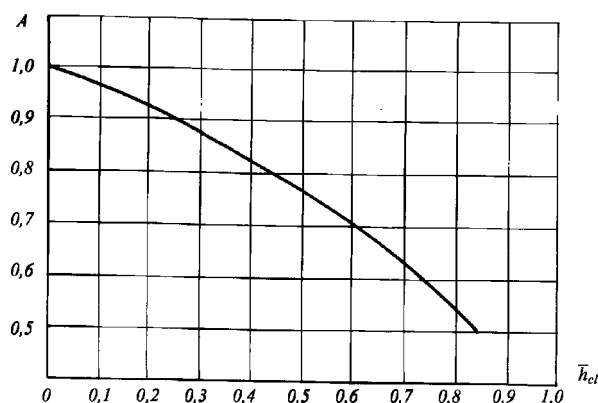


Рис. 5.4.2.2-2

$$V_w = 1,95(h_{3\%} + 1);$$

$$a = (54,7 - 3,4 h_{3\%})10^{-2} \text{ при } h_{3\%} \geq 1 \text{ м};$$

$$a = 51,3 \times 10^{-2} h_{3\%} \text{ при } h_{3\%} \leq 1 \text{ м}.$$

Участки шпангоутов между жесткими продольными связями (между кильсоном — продольной переборкой — бортом) должны быть проверены на действие равномерно распределенного давления, равного $\frac{2}{3}p_1$

5.4.2.3 При наличии реданов давления на первом редане принимаются равными $P_{\max}$. Давления на последующих реданах принимаются равными 0,85 от давления на предыдущем редане.

Непосредственно за реданами давления принимаются равными 0,6 от расчетных для соответствующего редана, но не менее $0,3P_{\max}$. Между реданами давление по длине днища меняется по линейному закону.

5.4.2.4 Прочность днищевых перекрытий, ограниченных поперечными переборками и бортами, проверяется на действие гидродинамических давлений, равных

$$P_2 = P_{\max}K/3, \quad (5.4.2.4)$$

где $K = P/P_{\max}$ принимается в соответствии с [рис. 5.4.2.2-1](#).

5.4.3 Нагрузки, определяющие прочность днищевых конструкций СВП.

5.4.3.1 Прочность днищевых конструкций проверяется на действие внешних усилий, возникающих в условиях расчетного (оговоренного ТЗ) волнения для следующих расчетных случаев:

для амфибийных СВП:

- .1 на действие гидродинамических давлений при плоском ударе днища о волну в режиме плавания при скорости движения, соответствующей допустимой при заданной интенсивности волнения;
- .2 на действие гидродинамических давлений при плоском ударе днища о волну в режиме парения;
- .3 на действие аварийного напора;
- .4 при аварийном приводнении в случае потери воздушной подушки;

для скеговых СВП:

.1 на действие гидродинамических давлений при плоском ударе днища понтона о волну в режиме плавания;

.2 на действие гидродинамических давлений при плоском ударе днища понтона о волну при движении на воздушной подушке;

.3 на действие аварийного напора.

5.4.3.2 При плоском ударе о волну площадь пятна удара и его длина определяются по формулам:

$$F_y = 0,7\sqrt{h_{3\%}}; \quad (5.4.3.2-1)$$

$$L_y = \sqrt{F_y}, \quad (5.4.3.2-2)$$

где F_y — площадь пятна удара, м²;
 L_y — длина пятна удара, м.

5.4.3.3 Давление при плоском ударе днищевых конструкций соединительного моста скегового СВП и понтона амфибийного СВП определяются по формуле

$$q = \frac{133\Delta n_g k_0 k_x}{B_x L}, \text{ кН/м}^2, \quad (5.4.3.3)$$

где B_x — ширина конструкции (ширина соединительного моста для скегового СВП или ширина понтона для амфибийного СВП);

n_g — параметр, определяемый по [формулам \(5.3.6.2\)](#) и [\(5.3.7.1\)](#) — для скегового СВП и по [формулам \(5.3.4.3-10\)](#) и [\(5.3.5.1-5\)](#) — для амфибийного СВП;

k_x — коэффициент, характеризующий распределение давления вдоль судна и принимаемый в соответствии с [рис. 5.4.5.2](#);

k_0 — коэффициент, учитывающий относительные размеры рассматриваемого элемента соединительного моста (пластины, ребра жесткости, стрингера или флора), и определяемый следующим образом:

$k_0 = 1$, если $10S_0/BL \leq 0,00015$;

$k_0 = \exp[-1,9(10S_0/BL - 0,00015)^{0,2}]$, если $10S_0/BL - 0,00015$, но не менее 0,3,

где S_0 — площадь, поддерживаемая элементом (площадь «съема» нагрузки); для пластин поддерживаемая площадь принимается равной произведению расстояния между ребрами жесткости (шпации) на величину, равную длине большей стороны пластины или трехкратной шпации (в зависимости от того, что меньше).

5.4.3.4 Прочность днищевой обшивки проверяется на действие давления, определяемого по [формуле \(5.4.3.3\)](#) для случая хода на ВП и случая плавания в водоизмещающем положении с учетом [5.4.3.2](#).

5.4.3.5 Прочность продольных ребер жесткости проверяется на действие нагрузки интенсивностью bq , где q — определяется в соответствии с [5.4.3.2](#), по [формуле \(5.4.3.3\)](#).

5.4.3.6 Прочность днищевого перекрытия проверяется на действие давления, определяемого в соответствии с [5.4.3.3](#), на пятно площадью F , расположенное самым неблагоприятным образом для прочности перекрытия, при этом:

$F = P/q$ — площадь приложения давления на перекрытие, м²;

$P = \Delta n_g(1 + m_z)$ — сила удара в перекрытие, т;

m_z — параметр, определяемый по [формулам \(5.3.4.3-8\)](#) — для амфибийного СВП или [\(5.3.6.2-9\)](#) — для скегового СВП;

n_g — перегрузка корпуса в центре тяжести при ударе волны в проверяемое перекрытие определяется по данным испытаний моделей или аналогичных судов. При отсутствии таких данных на ранних стадиях проектирования может определяться по приближенным зависимостям (5.3.4.3-10) (СВПа — плавание), (5.3.5.1-5) (СВПа — парение), (5.3.6.2-12) (СВПс — плавание) и (5.3.7.1) (СВПс — на воздушной подушке).

5.4.3.7 Нагрузки, возникающие в результате действия аварийного напора, определяются по формуле

$$P_1 = 10(h_1 + H), \quad (5.4.3.7)$$

где P_1 — давление аварийного напора на днище, кПа;
 h_1 — величина аварийного напора в соответствии с [рис. 5.4.6.1](#);
 H — отстояние настила палубы понтона от обшивки днища, м.

5.4.3.8 При аварийном приводнении (в случае потери воздушной подушки) прочность элементов днищевых перекрытий: пластин обшивки, ребер жесткости и участков шпангоутов между стрингерами должна быть проверена на действие равномерно распределенной нагрузки, кПа, величина которой принимается в соответствии с формулой

$$P_{max} = \rho V^2 / 2, \quad (5.4.3.8-1)$$

где V — скорость судна в рассматриваемом режиме, м/с.

Прочность днищевых перекрытий, ограниченных поперечными переборками и бортами, проверяется на действие гидродинамических давлений, кПа, равных

$$P_{gr} = P_{max} / 3. \quad (5.4.3.8-2)$$

Примечание. В этом случае необходимо обеспечить прочность и устойчивость рамного набора (стрингеры, шпангоуты), при этом величина допускаемых напряжений $\sigma_{per} = \sigma_0$.

5.4.4 Нагрузки, определяющие прочность днищевых конструкций глиссирующего судна.

5.4.4.1 Гидродинамические давления на днищевые перекрытия и их элементы определяются по формуле

$$p = K_\rho \frac{M_{sag}}{B_3 L^2} \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3, \text{ кН/м}^2, \quad (5.4.4.1)$$

где B_3 — ширина корпуса по скуле в сечении по 3-му теоретическому шпангоуту;
 K_ρ — параметр, принимаемый равным 280 для конструкций свода каверны судна с воздушной каверной на днище и равным 370 для всех остальных днищевых конструкций глиссирующих судов;
 $\varphi_1 = 0,4 + 1,2x/L$ при $x/L < 0,5$
 $1,0$ при $0,5 \leq x/L \leq 0,85$
 $3,55 - 3x/L$ при $x/L > 0,85$;
 $\varphi_2 = (70 - \beta_a) / (70 - \beta_\infty)$;
 $\varphi_3 = 0,46 - 0,35(U^{0,75} - 1,7) / (U^{0,75} + 1,7)$, но не менее
 $0,48$ — для пластин и ребер жесткости;
 $0,35$ — для флоров и стрингеров;
 $U = 200s / (B_{tr} L)$,
 где s — площадь съема нагрузки.

Для перекрытия площадь s представляет собой площадь перекрытия; для флоров и стрингеров — произведение расстояния между балками на длину их пролета; для пластин и ребер жесткости площадь принимается равной произведению расстояния между ребрами жесткости (шпации) на величину, равную длине большей стороны пластины или трехкратной шпации (в зависимости от того, что меньше).

5.4.5 Нагрузки, определяющие местную прочность скоростных катамаранов.

5.4.5.1 Местная прочность конструкций проверяется на действие внешних усилий, возникающих в условиях расчетного волнения, для следующих расчетных случаев:

на действие ударных (слеминговых) давлений, действующих в неблагоприятных эксплуатационных условиях (за исключением конструкций наружной стороны борта);

на действие волновых (статических) давлений, реализующихся в неблагоприятных эксплуатационных условиях (за исключением конструкций соединительного моста);

на действие аварийного напора, определяемого в соответствии с указаниями [5.4.6](#).

5.4.5.2 Ударные давления на конструкции соединительного моста определяются по формуле

$$P_{cs} = \frac{133 \Delta n k_0 k_x}{B_{cs} L}, \text{ кН/м}^2, \quad (5.4.5.2)$$

где B_{cs} — ширина соединительного моста (расстояние между корпусами на уровне соединительного моста);

n — параметр, определяемый по [формуле \(5.3.9.1\)](#);

k_x — коэффициент, характеризующий распределение давления вдоль судна и принимаемый в соответствии с [рис. 5.4.5.2](#);

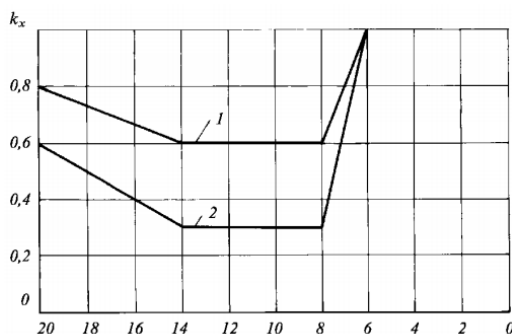


Рис. 5.4.5.2:

1 — соединительный мост;
2 — днище корпуса

k_0 — коэффициент, учитывающий относительные размеры рассматриваемого элемента соединительного моста (пластины, ребра жесткости, стрингера или флора), и определяемый следующим образом:

$k_0 = 1,0$, если $\frac{10S_0}{B_{cs}L} \leq 0,00015$;

$k_0 = \exp \left[-1,9 \cdot \left(\frac{10S_0}{B_{cs}L} - 0,00015 \right)^{0,2} \right]$, если $\frac{10S_0}{B_{cs}L} > 0,00015$,

но не менее 0,3.

Примечания: 1. S_0 — площадь, поддерживаемая элементом (площадь «съема» нагрузки); для пластин поддерживаемая площадь принимается равной произведению расстояния между ребрами жесткости (шпации) на величину, равную длине большей стороны пластины или трехкратной шпации (в зависимости от того, что меньше).

2. B_{cs} — ширина соединительного моста в соответствии с [рис. 1.3](#).

Δ — водоизмещение, кН.

5.4.5.3 Ударные давления для днищевых конструкций корпуса определяются по формуле

$$P_i = \frac{(56Fr_L^2 + 28Fr_L + 70) \cdot n}{B_h \cdot L} \cdot \Delta \cdot k_x k_0^b k_{sh}, \text{ кН/м}^2, \quad (5.4.5.3)$$

где B_h — ширина корпуса на миделе, измеренная по ватерлинии, соответствующей погружению корпуса до уровня скулы;

n — параметр, вычисляемый в соответствии с указаниями [5.3.9.1](#);

k_{sh} — коэффициент, учитывающий форму днища:

$k_{sh} = 1$ — для элементов бортовых конструкций,

$k_{sh} = 0,158/\text{tg}\beta$ — для днищевых конструкций;

β — параметр, принимаемый равным углу килеватости днища, но не менее 10° и не более 30° ;

k_0^b — редуционный коэффициент, принимаемый равным:

$$k_0^b = 0,46 - 0,35(U^{0,75} - 1,7)/(U^{0,75} + 1,7);$$

$$U = 286S_0 T / \Delta;$$

S_0 — площадь, поддерживаемая элементом,

T — осадка судна на тихой воде, но не менее:

0,48 — для пластин и ребер жесткости;

0,35 — для флоров и стрингеров;

k_x — коэффициент, характеризующий распределение давлений вдоль судна и принимаемый в соответствии с [рис. 5.4.5.2](#);

Δ — водоизмещение, кН.

5.4.5.4 Ударные давления на конструкции внутренней стороны борта ([рис. 5.4.5.4](#)) принимаются распределенными по линейному закону от верхней точки, в которой давление определяется по указаниям [5.4.5.2](#), до нижней скуловой точки, в которой давление находится в соответствии с [5.4.5.3](#).

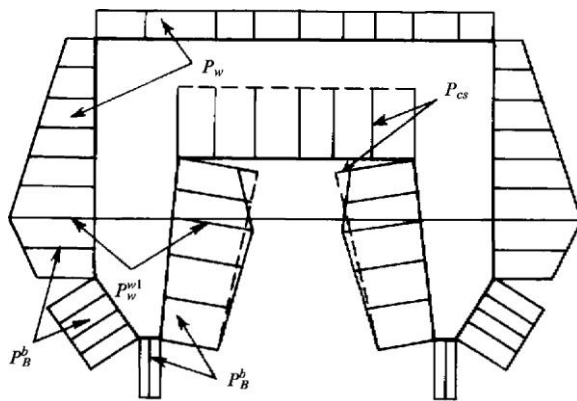


Рис. 5.4.5.4:
Распределение расчетных давлений по контуру поперечного сечения:

— волновые давления,
- - - ударные давления

5.4.5.5 Наибольшие волновые давления принимаются распределенными по поверхностям корпусов в соответствии с [рис. 5.4.5.4](#).

5.4.5.6 Наибольшее волновое давление на уровне расчетной ватерлинии определяется по формуле

$$P_w^l = 0,81 f L \rho g \{ a(x) + 0,25 \exp[-(0,22 \sqrt{L/h_3^{0.4}} - 1,97)^2] \}, \text{ кН/м}^2,$$

(5.4.5.6-1)

где $a(x) = \{ a \exp[-8\bar{x}^2 + 10\bar{x} + 3,29] - 1,05 \} \exp(-2,9 Fr_L) +$
 $+ a \exp[-(1,96 - 4,9\bar{x}) \exp(-2,9 Fr_L)] + 1,05,$
 но не менее 0,62;

$\bar{x} = x/L$ — относительная абсцисса точки, отсчитываемая от миделя;

$$a = (3,1 - 0,39 Fr_\Delta - 0,12 L_i / B_{hor} + 0,02 Fr_\Delta L_i / B_{hor}) \times$$

$$\times (1,1 - 0,63 \bar{\rho}_y)(1,0 - 2,5 B_{hull} / B);$$

$$Fr_\Delta = V / \sqrt{g \nabla^{1/3}};$$

B_{hor} — расстояние между корпусами на миделе, измеренное по расчетной ватерлинии;

$\bar{\rho}_y$ — безразмерный центральный радиус инерции масс судна, определяемый в соответствии с [5.3.9.1](#).

Наибольшие волновые давления выше уровня расчетной ватерлинии:

$$P_w = k_w (P_w^l - \rho g z_i), \text{ кН/м}^2 \quad (5.4.5.6-2)$$

где z_i — отстояние рассматриваемой точки от уровня расчетной ватерлинии;

$k_w = 1$ — для надводного борта (внутренних и наружных стенок);

0,96 — при определении расчетных давлений на конструктивные элементы открытых палуб (пластины, ребра жесткости);

0,67 — при определении расчетных давлений на бимсы, стрингеры и перекрытия открытых палуб;

ρ — плотность морской воды, т/м³.

5.4.5.7 Наибольшие волновые давления на днищевые конструкции корпусов определяются по формуле

$$P_B^b = \rho g [0,81 f L a(x) k_\mu(x) + z_b], \text{ кН/м}^2 \quad (5.4.5.7)$$

где z_b — отстояние точки днища от уровня расчетной ватерлинии;

$$k_\mu(x) = \left(1,0 - \frac{3b(x)}{L}\right) \cdot \left\{1 - \left[2,5 - \left(\frac{1,2 B_{hor}}{T(x)} + 0,63\right) \cdot \exp\left(-21 \left(Fr_L - 0,28 \sqrt{\frac{L}{B_{hor}}}\right)^2\right)\right] \cdot \frac{b(x)}{L} \cdot (1 + 2,5 Fr_L)^2\right\};$$

B_{hor} — расстояние между корпусами на миделе, измеренное по расчетной ватерлинии;

$b(x)$ — ширина корпуса в рассматриваемом поперечном сечении с абсциссой x ;

$T(x)$ — осадка корпуса в рассматриваемом сечении.

5.4.6 **Определение нагрузок при проверке местной прочности элементов прочих конструкций.**

5.4.6.1 Прочность конструкции палубы и бортов должна быть проверена на действие аварийного напора, кПа, определяемого по формуле

$$P = 10(h_1 + D - Z) \quad (5.4.6.1)$$

где h_1 — величина гидростатического напора, определяемого в соответствии с [рис. 5.4.6.1](#), м вод. ст.

D — высота борта в рассматриваемом сечении, м;

Z — отстояние рассматриваемой конструкции от основной плоскости, м.

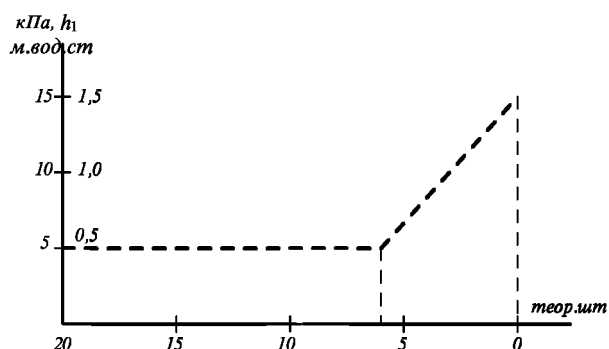


Рис. 5.4.6.1

Для участков палуб, на которых возможно скопление пассажиров или команды — 0,5 м. вод. ст (5 кПа).

Для палуб в районе расположения кресел для пассажиров — 0,4 м. вод. ст. (4 кПа).

5.4.6.2 Прочность конструкций надстроек 1 яруса и рубок проверяется на действие следующих нагрузок:

обшивка и окна лобовой стенки надстроек (рубки) — равномерное давление, соответствующее 2,0 м. вод. ст. (20 кПа);

для пластин и продольных балок палуб, крыши, боковых и задних стенок надстроек (рубки) и окон — давление, определяемое в соответствии с [5.4.6.1](#), но не менее 0,3 м. вод. ст. (3 кПа);

для бимсов палуб надстроек 0,15 м. вод. ст. (1,5 кПа).

Прочность надстроек второго яруса и выше должна быть проверена на действие нагрузок на 50 % меньше, чем нагрузки для соответствующих стенок и окон первого яруса.

В случае заделки лобовых и боковых окон надстройки (рубки) через резиновые профили их прочность в целом должна быть проверена при испытаниях на стенде.

5.4.6.3 Водонепроницаемые переборки проверяются на действие аварийного напора, определяемого в соответствии с [5.4.1.4](#) и [5.4.6.1](#).

5.4.6.4 Форпиковая переборка проверяется на действие аварийного напора (см. [5.4.6.1](#)) плюс 0,5 м. вод. ст., вызываемого напором от хода поврежденного судна в режиме плавания и при его буксировке со скоростью $V \leq 3$ узл. В случае необходимости буксировки судна с большей скоростью к аварийному напору добавляется величина напора, равного $0,5(V_{tow}/3)^2$ (где V_{tow} — скорость буксировки в узлах).

5.4.6.5 Прочность конструкций, ограждающих цистерны с топливом, пресной водой и т.д., должна быть проверена:

на действие гидростатического напора до верха воздушной трубки, распределенного по линейному закону, максимальная величина которого, кПа, равна

$$P = 10h_1, \quad (5.4.6.5-1)$$

где h_1 — высота от днища цистерны до верха воздушной трубки, м;

на действие гидростатического напора, кПа, жидкого груза при заполнении до верха цистерны с учетом действия сил инерции по формуле

$$P_2 = 10h_2(1 + n), \quad (5.4.6.5-2)$$

где h_2 — отстояние рассматриваемой связи до верха цистерны, м;

n — избыточное ускорение в долях от ускорения силы тяжести в районе расположения цистерны, возникающее при ударах или качке судна на волнении.

5.4.6.6 Прочность конструкций посадочных площадок, кринолинов ограждений спасательных средств, привальных брусьев и т.п. должна быть проверена на действие следующих нагрузок:

равномерно распределенного давления равного 0,5 м. вод. ст. (5 кПа); при этом подкосы кринолина (или других конструкций), работающие на сжатие, должны быть проверены на устойчивость в соответствии с [5.1.8](#);

гидродинамическое давление, действующее на кринолин (или другие конструкции) снизу, возникающее при движении судна на всех режимах эксплуатации и определяемое в соответствии с [5.4.2.2](#) с учетом относительного клиренса кринолина (или других конструкций);

сил инерции, действующих на конструкции кринолина от расположенных на нем масс в виде спасательных средств (плотиков) вследствие качки судна или ударов волн как в корму, так и непосредственно в конструкции кринолина. Возникающие при этом перегрузки должны приниматься в соответствии с [5.3](#).

5.4.6.7 Конструкции, ограждающие ресивер СВПа, проверяются на действие равномерного давления интенсивностью:

$$q_{rec} = q_{ac}(1 + n_g), \quad (5.4.6.7)$$

где q_{ac} – нормальное давление в воздушной подушке, кПа.

5.4.6.8 Прочность пластин, ребер жесткости, участков шпангоутов, ограниченных стрингерами, для скегов СВПс, а также прочность днищевых перекрытий скегов должна быть проверена на действие гидродинамических давлений, определяемых по формуле

$$P_{sw} = 4 \frac{f(v, h_{3\%})}{\text{tg}^2 \beta_{sw}}, \text{ кПа}, \quad (5.4.6.8)$$

где $f(v, h_{3\%})$ – величина, определяется в соответствии с [рис. 5.4.6.8](#);
 β – средний угол килеватости скега, град.

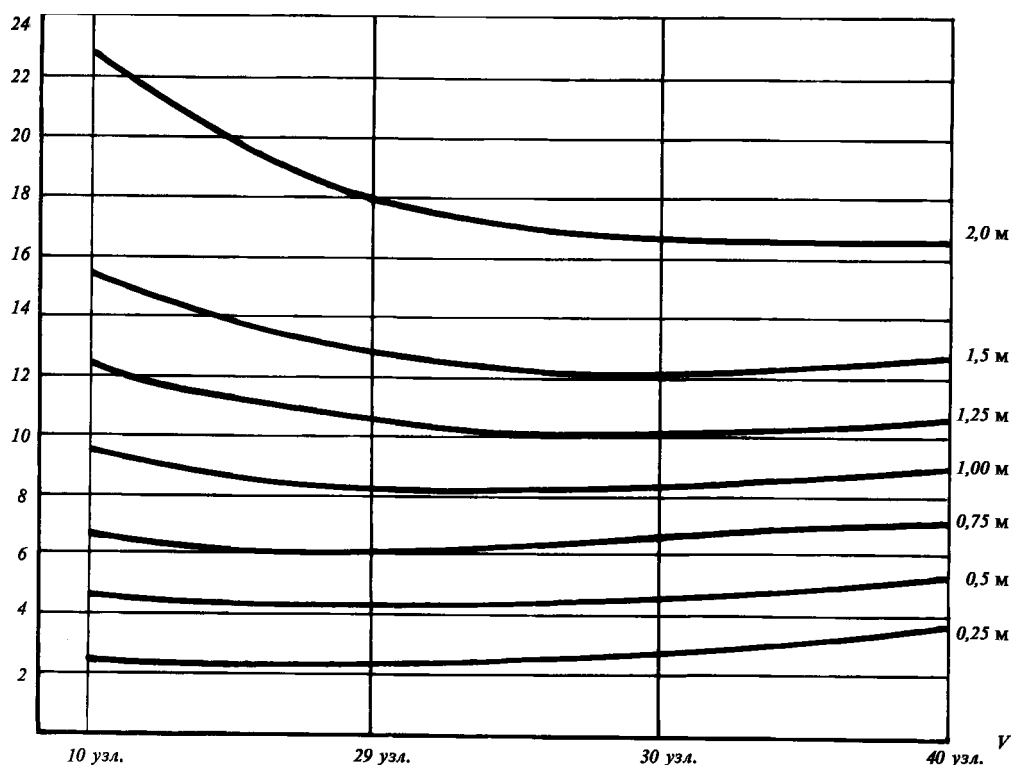


Рис. 5.4.6.8

5.4.7 Определение напряжений при проверке местной прочности.

5.4.7.1 Напряжение, действующее в пластине, рассматриваемой обычно как балка-полоска, должно быть вычислено по формуле

$$\sigma = \frac{P}{2} (a/\delta)^2, \text{ кПа}, \quad (5.4.7.1)$$

где δ — толщина пластины, м;
 a — длина короткой стороны пластины — расстояние между ребрами, м;
 P — расчетное давление на пластину, кПа.

Примечание. Учет цепных напряжений в пластинах и нормирование их прочности производится в соответствии с [5.4.1.3](#) и [5.4.8.2](#).

5.4.7.2 Продольные ребра жесткости днища и борта должны быть рассчитаны как балки, жестко заделанные на шпангоутах, а действующие в них напряжения определены по формуле

$$\sigma = \frac{Pal^2}{12W}, \text{ кПа}, \quad (5.4.7.2)$$

где P — расчетное давление, действующее на ребро жесткости, кПа;
 W — момент сопротивления поперечного сечения ребра с присоединенным пояском обшивки, м³;
 l — длина ребра жесткости (шпангоута), м.

5.4.7.3 Продольные ребра жесткости палубы должны быть рассчитаны как балки, жестко заделанные на бимсах. Давления при этом принимаются в соответствии с [5.4.6.1](#), а напряжения определяются по [формуле \(5.4.7.2\)](#).

5.4.7.4 Карлингсы, стрингеры и вертикальный киль должны быть рассчитаны как балки, жестко заделанные на переборках.

Шпангоуты днищевых перекрытий СПК в зависимости от конструкции должны быть рассчитаны как балки, жестко заделанные на вертикальном киле и скуле или как балки, жестко заделанные на киле, но свободно опертые на скуле. Для бортовых перекрытий шпангоуты должны быть рассчитаны как балки, упруго заделанные у палубы и днища.

5.4.7.5 Условия закрепления шпангоутов днища и борта СВП, а также бимсов палуб должны определяться в каждом конкретном случае в зависимости от их конструкции и конструкции опорных связей.

5.4.7.6 Бимсы должны быть рассчитаны как неразрезные балки, свободно опертые на карлингсы и упруго заделанные на бортах. В районе вырезов полубимсы считаются свободно опертыми на комингсы.

5.4.7.7 Условия закрепления вертикальных стоек поперечных переборок должны определяться в зависимости от их конструктивного оформления.

5.4.7.8 При расчете напряженного состояния бортового ресивера следует отдельно рассматривать бортовой и горизонтальный участки, исходя из условия жесткого защемления по линии их соединения.

Расчет каждого участка производится в соответствии с методами расчета плоских перекрытий. В качестве длины перекрытия принимается расстояние между сечениями, в которых установлены ферменные конструкции, на этих кромках перекрытия следует считать жестко защемленными. Одна из продольных кромок (по линии соединения участков) также принимается жестко защемленной. Граничные условия на другой продольной кромке принимаются в зависимости от конструктивного оформления.

5.4.7.9 Расчет ферменных конструкций бортового ресивера выполняется методами расчета ферм на действие сосредоточенного усилия, передаваемого гибким ограждением. Величина этого усилия вычисляется как произведение распределенной по длине нагрузки от гибкого ограждения, определяемой согласно рекомендациям [5.7](#), на расстояние между ферменными конструкциями.

5.4.7.10 При отсутствии поперечных переборок в средней (по ширине) части корпуса двухкорпусных судов (скоростных катамаранов), напряжения от изгиба поперечных балок (флоров) соединительного моста необходимо суммировать с напряжениями от кручения. При выполнении суммирования значение крутящего момента должно быть принято в соответствии с [5.3.9.2.5](#).

5.4.8 Проверка местной прочности конструкций скоростных судов.

5.4.8.1 Проверка местной прочности элементов конструкций производится по допускаемым напряжениям:

$$\sigma > \sigma_{per}; \tau \leq \tau_{per} = 0,57\sigma_{per}, \quad (5.4.8.1)$$

где σ и τ – расчетные нормальные и касательные напряжения в элементах конструкций.

5.4.8.2 При проверке прочности наружной обшивки (нормальные напряжения в опорных сечениях пластин) допускаемые напряжения принимаются

$$\sigma_{per} = \sigma_0. \quad (5.4.8.2)$$

5.4.8.3 При проверке прочности продольных ребер жесткости, шпангоутов, стрингеров и вертикального киля допускаемые напряжения принимаются

$$\sigma_{per} = 0,8\sigma_0. \quad (5.4.8.3)$$

5.4.8.4 При проверке прочности конструкций по [5.4.6](#) для балок набора (за исключением балок набора, рассчитываемых в соответствии с [5.4.1.4](#)) и для пластин обшивки посередине пролета допускаемые напряжения принимаются

$$\sigma_{per} = 0,8\sigma_0; \tau_{per} = 0,40R_{p0,2}. \quad (5.4.8.4)$$

При расчете пластин перекрытий на аварийный напор расчетные напряжения в пролете не должны превышать $\sigma_{per} = 0,8\sigma_0$. Напряжения в опорных сечениях не регламентируются.

Балки набора перекрытий рассчитываются на аварийный напор по предельному состоянию с обеспечением коэффициента запаса, равного 1,5.

П р и м е ч а н и е . Для цистерн с топливом, пресной водой и т.п. дополнительно проверяется прочность обшивки в опорных сечениях. Допускаемые напряжения в этом случае принимаются равными: $\sigma_{per} = 0,8\sigma_0; \tau_{per} = 0,40R_{p0,2}$.

5.5 РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КРЫЛЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ

5.5.1 Общие указания.

5.5.1.1 Прочность КУ должна быть проверена на действие максимальных для рассматриваемого устройства нагрузок при движении судна в крыльевом режиме на тихой воде и волнении при скоростях хода, оговоренных ТЗ.

5.5.1.2 Проверка прочности КУ производится для опорных и пролетных сечений каждого элемента при деформации крыла в целом на действие расчетной внешней нагрузки.

5.5.1.3 Расчет напряжений и деформаций КУ, возникающих под действием внешних нагрузок, производится с учетом пространственности конструкций. При этом методы расчета и проверки прочности КУ должны быть обоснованы и согласованы с Регистром.

Примечание. При углах стреловидности несущей плоскости менее 200, установке стоек более, чем на 2/3 хорды и т.п. допускается использование балочной схемы расчета.

5.5.1.4 В расчетную схему КУ должна вводиться податливость днищевого набора (перекрытия, кроме бортов, продольных и поперечных переборок), на который опираются стойки КУ.

5.5.1.5 При расчете КУ в целом с использованием стержневой схемы (при вычислении изгибающих моментов) для элементов, имеющих переменную по размаху жесткость, допускается принимать среднее ее значение по длине рассматриваемого элемента.

При определении напряжений следует принимать значение жесткостных характеристик, соответствующих рассматриваемому расчетному сечению.

5.5.1.6 Стойки КУ, подверженные осевому сжатию, должны быть проверены на устойчивость при действии сжимающих усилий, определенных из расчета согласно [5.5.1.4 — 5.5.1.6](#). При этом должен быть обеспечен запас по устойчивости не менее двух.

5.5.1.7 Для кормового КУ, оборудованного трансмиссиями, приводами и т.п., должна быть определена величина горизонтального (траверсного) перемещения несущей плоскости. Стойки при этом должны рассматриваться как консольные балки переменной по длине жесткости, нагруженные боковой нагрузкой, а также усилиями и моментами в месте закрепления стойки к основной несущей плоскости.

5.5.1.8 Обшивка и набор КУ должны быть проверены на устойчивость при изгибе их элементов с обеспечением полуторакратного запаса. При этом в качестве расчетных принимаются средние по толщине листа напряжения сжатия с учетом их изменения относительно нейтральной оси профиля.

5.5.1.9 В случае, когда закрылок на каком-либо участке элемента КУ соединен с задней кромкой крыла тремя и более петлями, необходимо проверить прочность петель на усилия, возникающие при совместном изгибе элемента КУ и отклоненного на предельный угол закрылка.

5.5.1.10 Напряжения в обшивке КУ при проверке местной прочности определяются при условии жесткого защемления кромок.

5.5.2 Определение расчетных усилий.

5.5.2.1 Величины расчетных усилий, действующих на несущую плоскость КУ при движении судна на волнении, определяются в соответствии с [5.3.3.5](#) и [5.3.3.8](#).

5.5.2.2 При распределении расчетных усилий по размаху несущей плоскости должны быть рассмотрены следующие случаи:

- .1 при ватерлинии, соответствующей погружению КУ при движении на тихой воде;
- .2 при ватерлинии, соответствующей полностью погруженной несущей плоскости;

- .3 при ватерлинии на $(h_{3\%}/4)$ ниже ватерлинии на тихой воде;
 .4 несимметричный случай нагружения КУ, при котором ватерлиния должна приниматься в соответствии с [рис. 5.5.2.2](#). Для этого случая допускаемые напряжения могут быть повышены на 10 %.

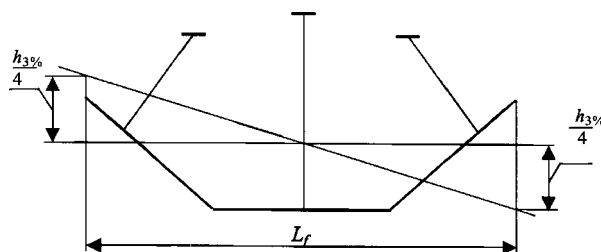


Рис. 5.5.2.2

5.5.2.3 Распределение расчетных усилий по размаху несущей плоскости для каждого расчетного случая должно производиться с учетом влияния свободной поверхности, неравномерности распределения нагрузки и переменности эффективных углов атаки по размаху несущей плоскости:

$$q = P_{des} \frac{bf(\bar{h})f(\lambda)}{F_f} \alpha_{ef} \quad (5.5.2.3-1)$$

где P_{des} – расчетное усилие, действующее на КУ (см. [5.5.2.1](#)), кН;
 f – функция, учитывающая влияние свободной поверхности, равная

$$f(\bar{h}) = \frac{1+(2\bar{h})^2}{2+(2\bar{h})^2}, \quad (5.5.2.3-2)$$

где $\bar{h} = h/b$ – относительное погружение сечения крыла;

h – текущее значение погружения сечения крыла, м;

b – текущее значение хорды крыла, м;

$f(\lambda)$ – функция, учитывающая неравномерность распределения усилий по размаху несущей плоскости, определяемая в соответствии с [рис. 5.5.2.3](#);

λ – относительное сужение крыла (см. [рис. 5.5.2.3](#));

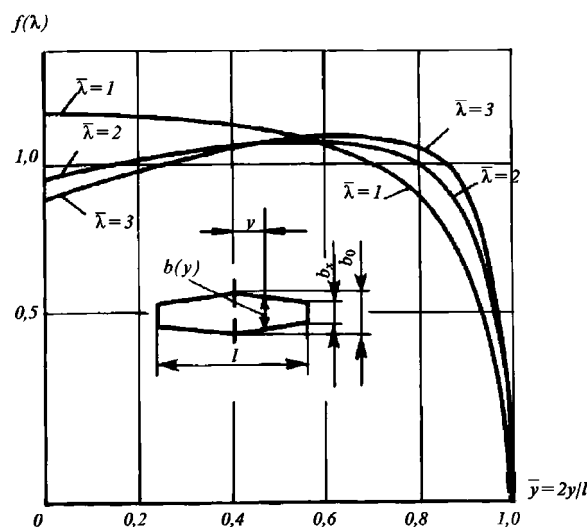


Рис. 5.5.2.3

$\alpha_{ef} = \alpha_0 + \alpha_{mt} + \alpha_{adj}$ – эффективный угол атаки крыла;
 α_0 – угол нулевой подъемной силы;
 α_{mt} – угол атаки, обусловленный ходовым дифферентом на тихой воде;
 α_{adj} – текущее значение установочного угла атаки;

$$F_f = \int_{-l/2}^{l/2} b f(\bar{h}) f(\lambda) \alpha_{ef} dl \quad (5.5.2.3-3)$$

где l – размах погруженной части несущей плоскости, м.

5.5.2.4 Для наклонных элементов КУ должна учитываться горизонтальная (траверзная) составляющая усилий, равная

$$q' = qtq\beta, \quad (5.5.2.4)$$

где β – угол килеватости наклонного элемента.

5.5.2.5 Дополнительно прочность КУ должна быть проверена на действие следующих усилий (ход косыми курсами, циркуляция):

усилий $P_{i.st.w.}$, определяемых в соответствии с [5.3.3.5](#);
 боковой нагрузки, действующей на стойки и наклонные элементы, кН:

$$P_\delta = 0,15 \frac{\rho V^2}{2} S_{st}, \quad (5.5.2.5-1)$$

где S_{st} – проекция погруженных частей стоек и наклонных элементов на диаметральную плоскость, м².

Для кормовых КУ учитываются боковые усилия на стойках, вызываемые отклонением рулей. Усилия на руле принимаются равными:

$$P_r = 0,054 V^2 F_r, \quad (5.5.2.5-2)$$

где F_r – площадь погруженной части пера руля с учетом заглубления его на волнении на величину $0,7h_{3\%}$ по сравнению с тихой водой, м².

Распределение усилий P_δ между стойками и наклонными элементами КУ производится пропорционально проекциям смоченных площадей на диаметральную плоскость при погружениях КУ, указанных в [5.5.2.2](#).

$$P_{sti} = \frac{P_\delta}{S_{st}} S_{sti}, \quad (5.5.2.5-3)$$

где P_{sti} – расчетное усилие на i -тую стойку или наклонный элемент, кН;
 S_{sti} – проекция на ДП погруженной части i -той стойки или наклонного элемента, м².

Распределение нагрузки P_{sti} по высоте стойки или по размаху наклонного элемента несущей плоскости производится пропорционально их хордам:

$$q_{st} = \frac{P_{sti} b_{st}}{h_{st} b_{st.av.}}, \quad (5.5.2.5-4)$$

где h_{st} , b_{st} и $b_{st.av.}$ – погружение, текущее значение хорды и средняя хорда рассматриваемой стойки соответственно, м.

5.5.2.6 Для автоматически управляемых подводных крыльев распределение нагрузки между элементами несущей плоскости производится следующим образом: нагрузка на элементы, оборудованные закрылками увеличивается пропорционально коэффициенту K (см. [рис. 5.5.2.6](#)).

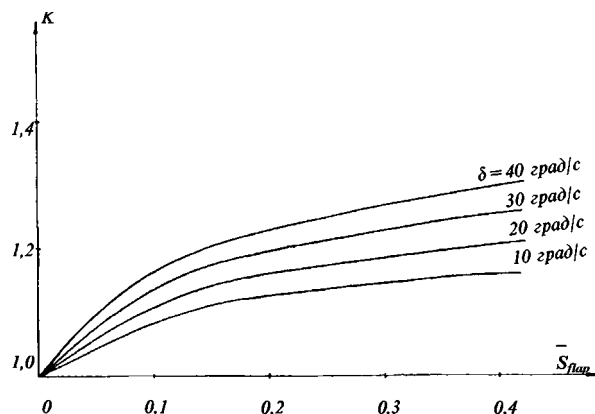


Рис. 5.5.2.6

На этом рисунке использованы следующие обозначения:
 δ , [град./с] — скорость перекадки закрылка;

$$\bar{S}_{flap} = S_{flap} / S_{comp.flap}, \quad (5.5.2.6)$$

где $\bar{S}_{flap}$ — относительная площадь закрылка, м²;
 S_{flap} — площадь закрылка, м²;
 $S_{comp.flap}$ — площадь элемента, оборудованного закрылком, м².

Нагрузки на остальные элементы снижаются, исходя из условия сохранения полной величины усилия, действующего на несущую плоскость.

5.5.2.7 Распределение нагрузки по хорде рассматриваемого элемента принимается по результатам продувок профиля или расчетным путем. При отсутствии таких данных распределение принимается по треугольнику с максимальной ординатой у носовой кромки профиля согласно [рис. 5.5.2.7](#).

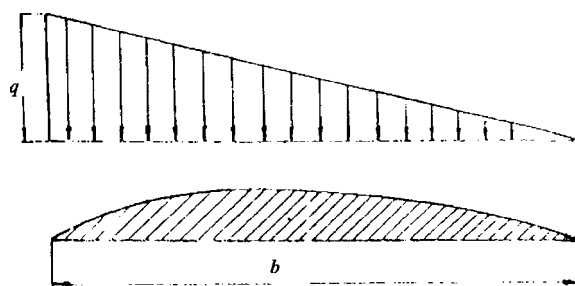


Рис. 5.5.2.7

5.5.2.8 Для элементов КУ, оборудованных закрылками, распределение нагрузки по хорде основного крыла должно быть принято в соответствии с [рис. 5.5.2.8-1а](#).

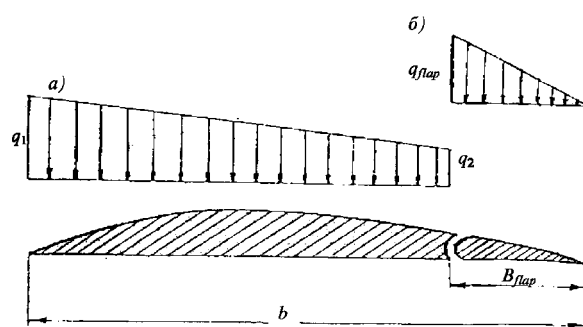


Рис. 5.5.2.8-1

При этом ординаты интенсивности нагрузки q_1 и q_2 вычисляются по формулам:

$$q_1 = 2 \frac{P_{comp} - P_{flap}}{S_{comp.flap}}, \quad (5.5.2.8-1)$$

$$q_2 = \bar{b}_{flap} q_1, \quad (5.5.2.8-2)$$

где P_{flap} — усилие, передаваемое закрылком соответствующему элементу крыла, кН;

$$P_{flap} = C_y^\delta \frac{\rho V^2}{2} S_{comp.flap} \delta_{max}, \quad (5.5.2.8-3)$$

где C_y^δ — коэффициент подъемной силы закрылка, определяемый в соответствии с [рис. 5.5.2.8-2](#);

$\lambda_{flap} = l_{flap}^2 / S_{flap}$ — относительное удлинение закрылка;

l_{flap} — размах закрылка, м;

$b_{flap} = b_{flap} / b$ — относительная хорда закрылка (см. [рис. 5.5.2.8-1](#));

δ_{max} — максимальный угол отклонения закрылка, град.

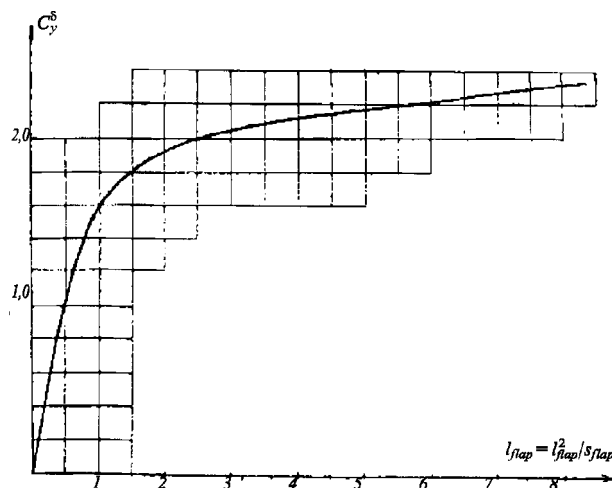


Рис. 5.5.2.8-2

Усилие P_{max} распределяется равномерно между петлями, крепящими закрылок к основному крылу.

5.5.2.9 Расчет прочности закрылка должен выполняться на действие усилия, определяемого по формуле (5.5.2.8-3). Распределение нагрузки по хорде закрылка принимается по треугольнику (рис. 5.5.2.8-16), с ординатой, равной

$$q_{flap} = 2P_{flap}/S_{flap}. \quad (5.5.2.9)$$

По размаху закрылка распределение нагрузки принимается пропорционально хордам закрылка.

5.5.2.10 Прочность стартовых элементов КУ, служащих для обеспечения выхода судна на крылья, должна быть проверена на действие нагрузки, кН, определяемой по формуле

$$P_{af} = C_{af}^{max} \frac{\rho V_{lift}^2}{2} S_{af} \quad (5.5.2.10)$$

где C_{af}^{max} – максимальный коэффициент подъемной силы профиля стартового элемента, определяемый по продувкам профилей;
 S_{af} – площадь стартового элемента, м².

Распределение внешней нагрузки между элементами несущей плоскости и элементами стартовой плоскости производится согласно 5.5.2.2, 5.5.2.4 и 5.5.2.5.

5.5.2.11 Прочность полностью погруженных поворотных управляемых плоскостей должна быть проверена на действие нагрузки, кН, определяемой по формуле

$$P_{t.f.} = C_{t.f.}^{max} \frac{\rho V_{des}^2}{2} S_{t.f.} \quad (5.5.2.11)$$

где $S_{t.f.}$ – площадь поворотной плоскости, м².

5.5.2.12 Пластины обшивки КУ проверяются на действие гидродинамических давлений при эксплуатационной скорости для подъемной силы, соответствующей C_y^{max} . Эпюра распределения давлений по поверхности профиля определяется по данным продувок конкретного профиля крыла. При отсутствии продувок распределение нагрузок по хорде крыла принимается в соответствии с 5.5.2.7 и 5.5.2.8; при этом на верхнюю поверхность действует 60 %, а на нижнюю — 40 % общей нагрузки.

Примечание. При отсутствии дренажных отверстий пластины обшивки КУ дополнительно проверяются на действие внутренних давлений.

5.5.3 Проверка прочности КУ.

5.5.3.1 Проверка прочности КУ производится по допускаемым напряжениям:

$$\sigma \leq \sigma_{per}; \quad (5.5.3.1-1)$$

$$\tau \leq \tau_{per} = 0,57\sigma_{per}, \quad (5.5.3.1-2)$$

где σ и τ – расчетные нормальные и касательные напряжения в элементах крыльевых устройств.

5.5.3.2 Допускаемые напряжения при проверке прочности элементов КУ на действие расчетных нагрузок, определяемых в соответствии с [5.5.2](#), принимаются равными

$$\sigma_{per} = n\sigma_0, \quad (5.5.3.2)$$

где n – коэффициент запаса, принимаемый в соответствии с [рис. 5.2.13](#).

П р и м е ч а н и е . Допускаемые напряжения при проверке прочности пластин обшивки КУ на нагрузки, определенные в соответствии с [5.5.2.12](#), принимаются равными $\sigma_{per} = 0,5\sigma_0$.

5.6 ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ КЛЕЕСВАРНЫХ И ТОЧЕЧНО-СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

5.6.1 При расчете прочности клеесварного (точечносварного) соединения набора с настилом точечный шов следует заменить сплошным швом с приведенным калибром K_{ad} (наличие клея в расчете не учитывается)

$$K_{ad} = Zf/t, \quad (5.6.1-1)$$

где Z – число рядов сварных точек в соединении связи набора с настилом;

$f = \pi d^2/4$ – площадь сварной точки;

d – диаметр сварной точки, принимаемый по нормали;

t – шаг сварных точек.

Величины усилий сдвига T_{shear} и Q_{det} отрыва сварных точек должны определяться по формулам:

$$T_{shear} = \tau K_{ad} t / Z; \quad (5.6.1-2)$$

$$Q_{det} = \sigma_{det} K_{ad} t / Z, \quad (5.6.1-3)$$

где τ и σ – касательные напряжения сдвига и нормальные напряжения отрыва в сплошном шве, определенные по результатам расчета монолитной (со сплошным швом) конструкции.

5.6.2 Прочность клеесварных (точечно-сварных) соединений должна быть проверена по допускаемым для сварных точек усилиям сдвига T_{per} и отрыва Q_{per} :

$$T_{shear} \leq T_{per} = nT_0; \quad (5.6.2-1)$$

$$Q_{det} \leq Q_{per} = nQ_0, \quad (5.6.2-2)$$

где n – коэффициент запаса прочности, принимается в соответствии с [5.2.5](#);

T_0 и Q_0 – опасные усилия сдвига и отрыва сварных точек, определяемые в соответствии с [табл. 5.2.5](#).

5.7 РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ГИБКИХ ОГРАЖДЕНИЙ

5.7.1 Общие указания.

5.7.1.1 Общая прочность основных элементов конструкции ГО должна быть проверена в соответствии с принятыми для мягких оболочек методами на действие усилий, возникающих в основных расчетных случаях.

5.7.1.2 Геометрические характеристики рассматриваемого элемента конструкции ГО в каждом характерном сечении должны определяться путем нахождения его равновесной формы.

5.7.1.3 В качестве внешней нагрузки принимается избыточное нормальное давление в гибком ресивере и воздушной подушке, соответствующее основным расчетным случаям. Действие гидродинамических нагрузок учитывается коэффициентами запаса прочности, назначаемыми в соответствии с [5.2.16](#) и [5.2.17](#).

5.7.2 Проверка общей прочности монолита.

5.7.2.1 При проверке общей прочности монолита должны быть рассмотрены следующие расчетные случаи:

- .1 парение судна над экраном без хода;
- .2 движение на воздушной подушке в условиях спецификационного волнения;
- .3 движение судна в условиях волнения, превосходящего спецификационное (потеря подушки при падении судна с вершины волны на ее подошву).

В качестве расчетного должен приниматься случай, приводящий к наибольшим значениям действующих в материале усилий.

5.7.2.2 Натяжения во внутренней и наружной ветвях монолита в режиме парения без хода определяются по формулам:

$$T_0 = n_{des} P_r r_0; \quad (5.7.2.2-1)$$

$$T_i = (P_r - P_c) r_i, \quad (5.7.2.2-2)$$

где T_0 и T_i – расчетные натяжения в материале наружной и внутренней ветвей оболочки монолита, кН/м;

P_r и P_c – избыточные нормальные давления в ресивере и воздушной подушке, кПа;

r_0 и r_i – радиусы кривизны наружной и внутренней ветвей оболочки монолита, м.

5.7.2.3 Максимальные натяжения в оболочке цилиндрических участков монолита при движении судна в условиях волнения определяются по формулам:

$$T_0 = n_{des} P_r r_0; \quad (5.7.2.3-1)$$

$$T_i = n_{des} (P_r - P_i) r_i, \quad (5.7.2.3-2)$$

где n_{des} – коэффициент увеличения давления, определяемый для каждого расчетного случая по результатам испытаний близкого прототипа;

при отсутствии прототипа величина коэффициента определяется в соответствии с [табл. 5.7.2.3](#).

Таблица 5.7.2.3

Расчетный случай	Значение перегрузки по давлению n_{des}		Примечание
	СВПа	СВПс	
Движение в условиях спецификационного волнения	2,0	3,5	
Движение на волнении, превышающем спецификационное	4,0	5,0	Потеря давления в подушке при движении судна на волнении

5.7.2.4 Максимальные натяжения материала торообразных участков оболочки монолита СВПа (нос, угол) должны определяться как для кругового тора по формуле

$$T = \gamma T_i, \quad (5.7.2.4)$$

где $\gamma = \frac{1-0,5\alpha\sin\theta}{1-\alpha\sin\theta};$

T_i –напряжение материал внутренней ветви монолита в расчетном сечении, определенное как для цилиндрического участка оболочки, кН/м;

θ –центральный угол, соответствующий внутренней ветви оболочки монолита в расчетном сечении, град.;

$$\alpha = r_i/R;$$

R –радиус рассматриваемого участка оболочки по осевой линии к внутренней поверхности ГО, м.

Основные обозначения, приведенные в настоящем разделе, показаны на [рис. 5.7.2.4](#).

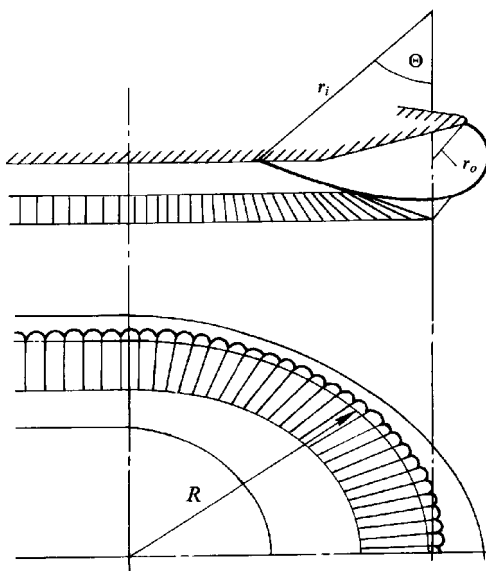


Рис. 5.7.2.4

5.7.3 Проверка общей прочности съемных элементов.

5.7.3.1 Натяжения в материале съемного элемента открытого типа определяются по формуле

$$T = n_{des} P_r r, \quad (5.7.3.1)$$

где r – радиус кривизны наружной стенки съемного элемента, м

5.7.3.2 Для съемных элементов закрытого типа натяжения в наружной и внутренней ветвях определяются по [формулам \(5.7.2.2-1\)](#) и [\(5.7.2.2-2\)](#).

Российский морской регистр судоходства

Правила классификации и постройки высокоскоростных судов

Часть II

Конструкция и прочность корпуса

ФАУ «Российский морской регистр судоходства»
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8
www.rs-class.org/ru/