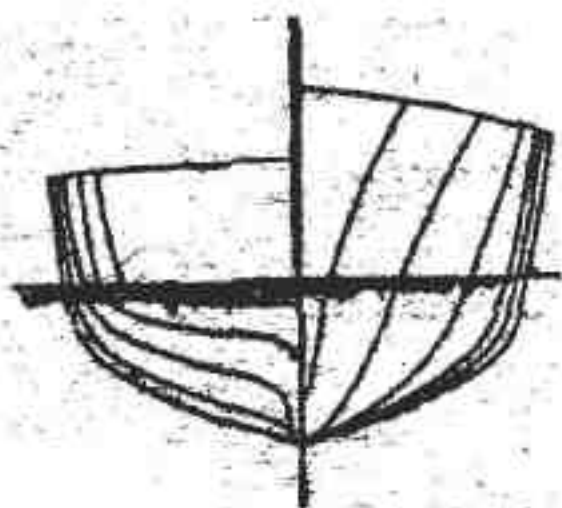


МЫТНИК Н.А.

*Проектирование*  
ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА  
КОРПУСА СУДНА



КОМСОМОЛЬСК - НА - АМУРЕ

1992 г.

Мытник Н.А. Проектирование теоретического чертежа корпуса судна: Учеб. пособи. - Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре политехн. ин-т, 1992. - 86 с  
ISBN 5 - 230 - 21409 - 0

Рассматриваются вопросы проектирования теоретического чертежа корпуса судна, касающиеся классификации и анализа форм обводов корпуса судна, выбора форм оконечностей и подготовительных работ.

Приведены особенности проектирования теоретического чертежа корпуса с различными обводами.

Ил 39, табл. 6, библиогр. ф. 12 наз.

Рецензенты: кафедра теории и проектирования корабля Дальневосточного политехнического института, зав. каф. Восковщук И.И., доц.

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие является развитием и дополнением методического материала для курсового и дипломного проектирования надводных судов по разра<sup>т</sup>тке теоретического чертежа (ТЧ).

От формы корпуса судна зависят многие его мореходные и эксплуатационные качества: ходкость, остойчивость, мореходность, управляемость, вместимость, прочность, которые, в конечном счете, оказывают определенное влияние на эксплуатационную экономичность судна. Кроме того, форма корпуса в некоторых случаях может значительно влиять и на строительную стоимость судна.

Теоретический чертеж является основой для выполнения многих корабельных расчетов. По нему определяются элементы ТЧ судна, проверяется остойчивость и посадка, производятся расчеты ходкости, непотопляемости и вместимости. Выбор формы корпуса и неразрывно связанное с ним проектирование ТЧ является очень сложным процессом, требующим от проектанта большого опыта. Данное учебное пособие содержит обобщенный материал по проектированию теоретического чертежа судна и способно облегчить выбор формы корпуса, а также процедуру определения основных параметров, необходимых для построения ТЧ.

Как известно, непосредственными исходными данными для построения ТЧ корпуса судна являются:

- 1) водоизмещение веровое ( $\Delta$ ) или объемное ( $V$ );
- 2) главные размерения: длина между перпендикулярами ( $L$ ), ширина по грузовой ватерлинии (ГВЛ) ( $B$ ), осадка ( $T$ ) и высота борта ( $H$ ) на миделе;
- 3) коэффициенты формы корпуса ( $\delta, \psi, \alpha, \beta$ ) и абсцисса центра величины ( $X_G$ ).

Построению теоретического чертежа корпуса судна должен предшествовать определенный объем проектных работ, проводимых в соответствии с заданной проектной концепцией судна (основными технико-эксплуатационными идеями, заложенными в проект).

Наиболее важным результатом таких работ является проработка чертежа общего расположения на основе выработанного

архитектурно-конструктивного типа (АКТ) судна, отраженного полностью или частично в его проектной концепции, и полученных главных размеров и элементов судна. Описание АКТ судна должно содержать следующую информацию по его надводной и подводной частям, необходимую для проектирования теоретического чертежа корпуса:

- расположение и габариты надстроек;
- форму палуб корпуса в плане;
- тип, расположение и количество двигателей;
- форму корпуса, включающую формы его мидельшпангоута и оконечностей.

Таким образом, форма корпуса судна во многом будет определяться его подводной частью, содержащей судовые помещения, двигатели и рулевые устройства судна.

В соответствии с общей методикой проектирования судна настоящее пособие разбито на две части. В первой части (разделы 1, 2) рассмотрены вопросы выбора формы корпуса винтовых судов - обводов, оконечностей и штевей. Вторая часть (разделы 3, 4) посвящена собственно проектированию теоретического чертежа корпуса судна. В ней рассмотрены вопросы проектирования ТЧ корпусов судов, имеющих как традиционные заостренные обводы, так и новые типы обводов, достаточно часто используемых на морских судах в последнее время, таких как цилиндрические в носу и заостренно-усеченные или санообразные в корме.

Посредственно проектирование ТЧ принято разбивать на два этапа: проведение подготовительных работ для построения ТЧ и построение самого теоретического чертежа.

Первому этапу следует уделять очень серьезное внимание, так как от качества его проведения зависит трудоемкость построения ТЧ. Подготовительные работы в зависимости от конкретной формы корпуса могут быть весьма трудоемки и занимать основную долю времени проектирования теоретического чертежа.

При построении теоретического чертежа допускается применение самых различных методов в зависимости от особенностей формы корпуса, наличия вспомогательных материалов и опыта проектанта. В курсовом проекте для усвоения в полной



специфики проектирования ТЧ в качестве метода его построения рекомендуется использовать метод художественного рисования, который и приводится в качестве примера в настоящем учебном пособии. В дипломном проекте допускается использование любых существующих методов построения ТЧ, если они применимы для каждого конкретного случая. Для контроля полученных на начальной стадии проектирования судна параметров формы корпуса (перед построением его ТЧ) в приложении к пособию изложены общие вопросы выбора коэффициентов полноты и абсциссы центра тяжести корпуса судна с учетом особенностей его обводов.

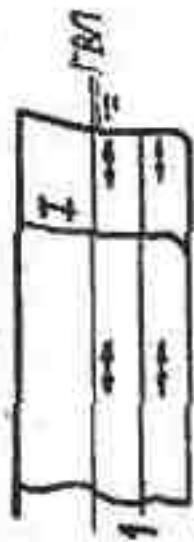
В качестве основного учебного материала по проектированию теоретического чертежа корпуса судна рекомендуются источники /1, 2/, и вспомогательного - /3 - 7, 9, 11, 12/.

## 1. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ОБВОДОВ КОРПУСА СУДНА

Принципиальная форма обводов подводной части корпуса в процессе проектирования судна определяется, главным образом, функциональным назначением судна, но обязательно при условии выполнения заданных мореходных качеств. В соответствии с гидромеханикой минимум волнового и вихревого сопротивления корпуса при движении его в воде достигается при трех видах обтекания в оконечностях: обтекании по ватерлиниям, по батокам и комбинированном (рис. 1.1). При этом для кормовых обводов возможно допущение срыва части потока, обтекающего кормовую оконечность, что несколько изменяет ее форму.

Форма подводной части корпуса формируется из трех частей: носовой, центральной и кормовой. Так как наибольшую сложность представляет выбор формы обводов в оконечностях, в табл. 1.1 и 1.2 представлено описание основных форм носовых и кормовых обводов корпусов для водонемцающих морских и речных судов, различаемых по внешнему виду и характеру обтекания.

а)



б)



в)



б

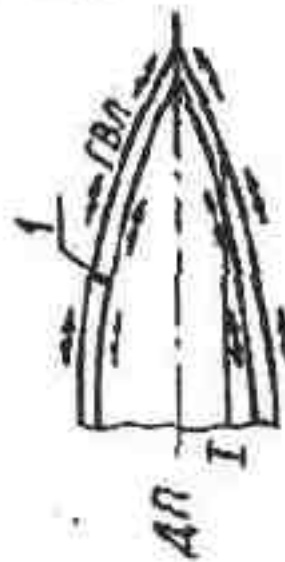
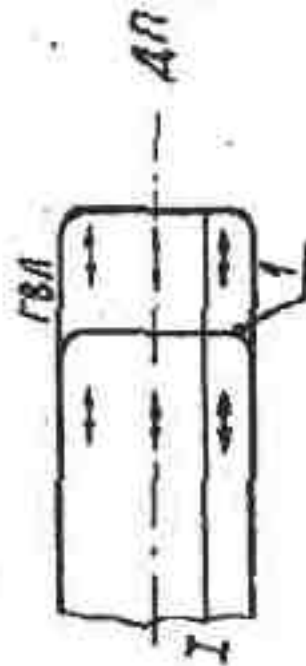
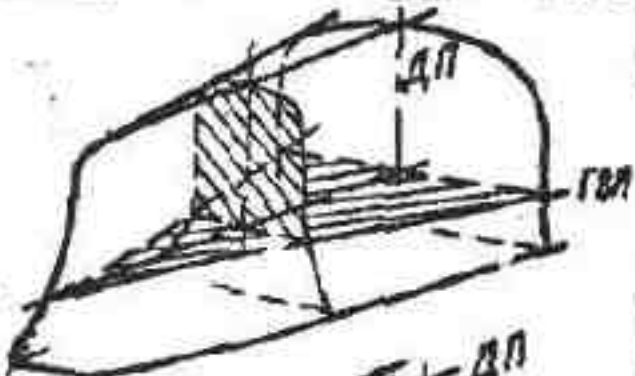

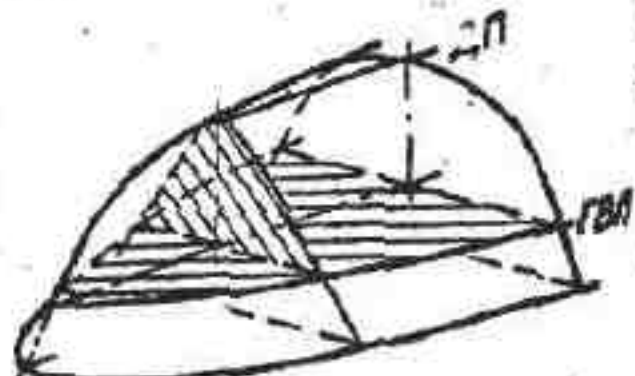
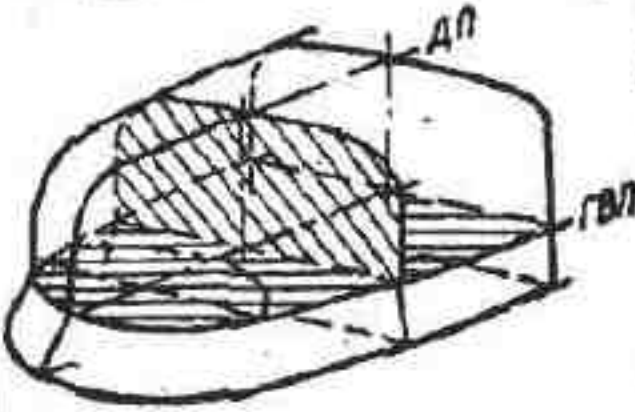
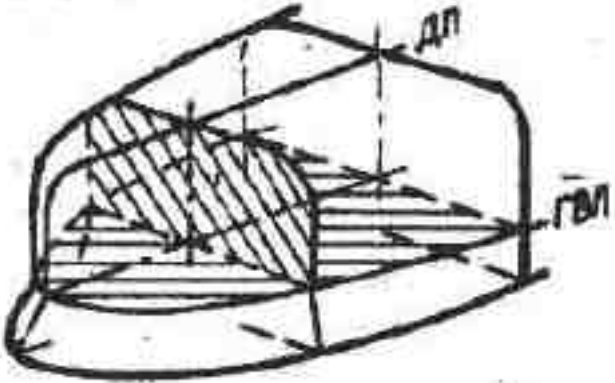
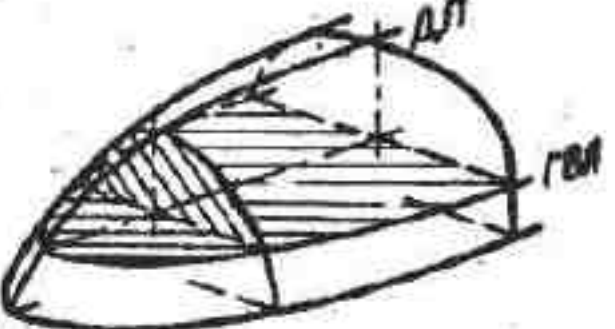
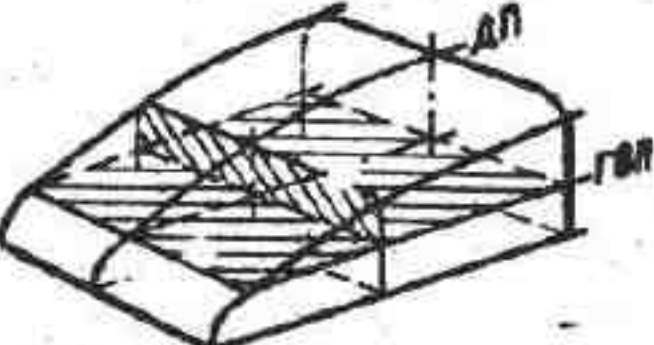
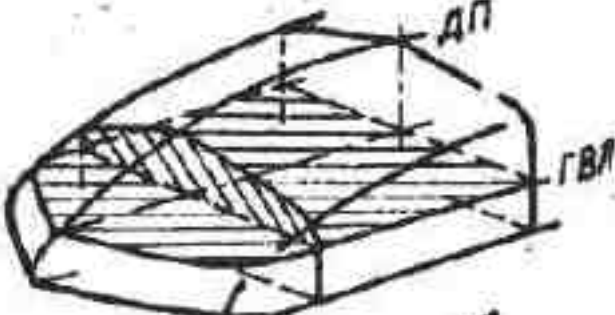
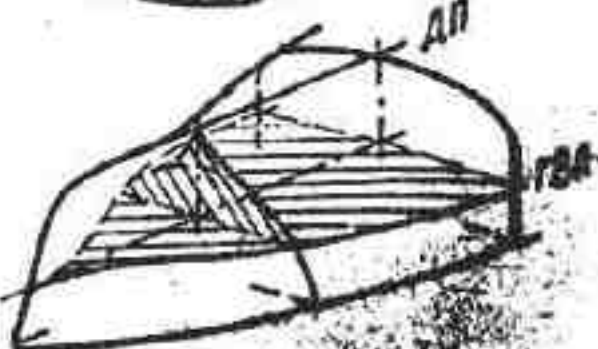


Рис. 1.1. Виды остекания конечностей корпуса судна:  
 а - по ватерлиниям; б - по баткам; в - комбинированный

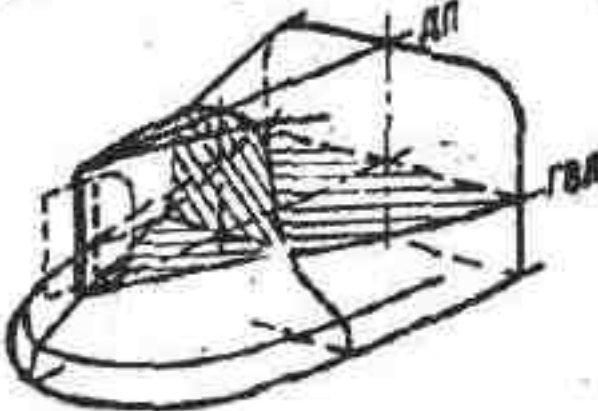
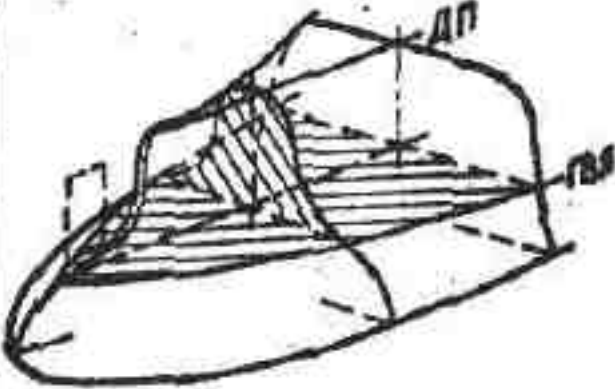
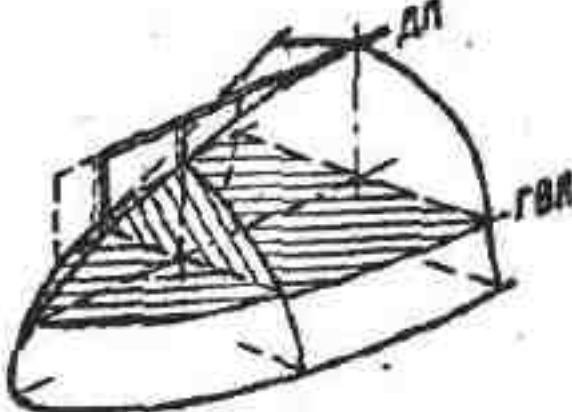
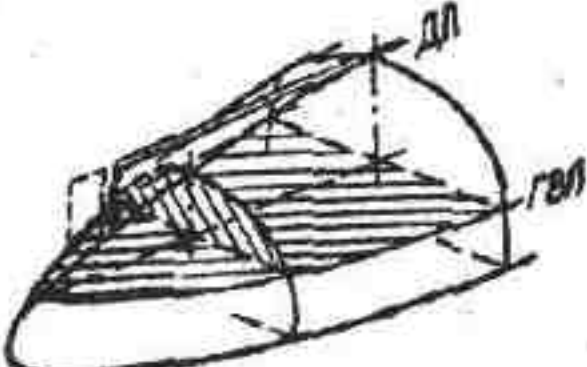
## Форма насосных обводов


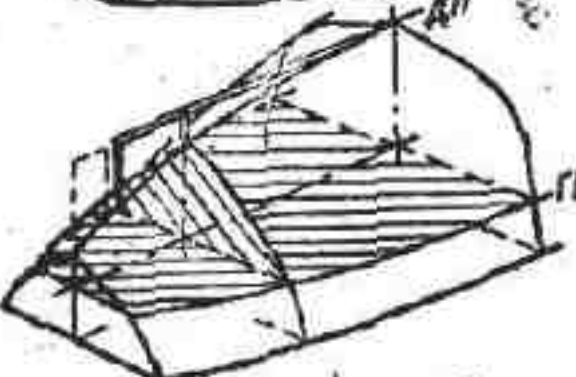
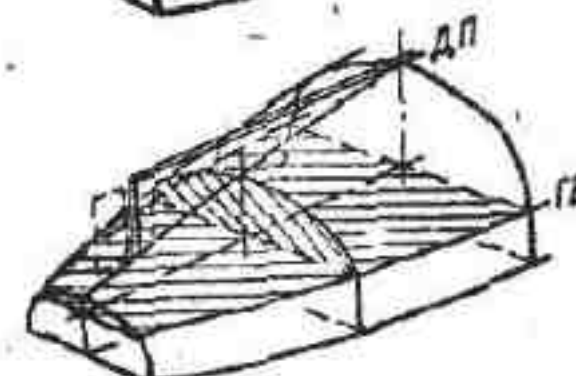
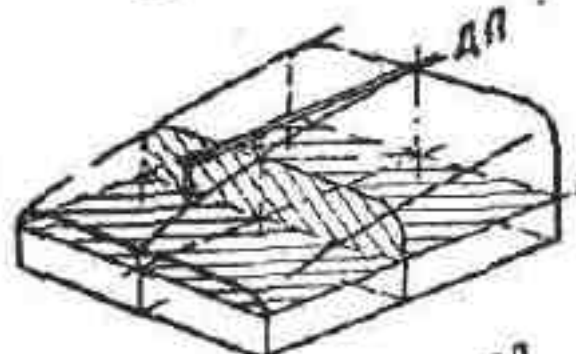
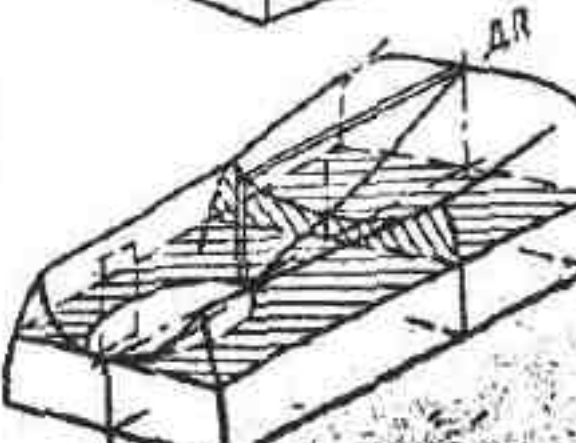
Группа и подгруппа формы обводов	Характер обтекания	Схема обводов
I	2	3
I. Заостренная I.1. С U - образными шпангоутами	По ватерлиниям	
I.2. С U - V - образными шпангоутами	Комбинированный	
I.3. С V - образными шпангоутами	Комбинированный	
2. Цилиндрическая 2.1. Круговая	По ватерлиниям	

I	2	3
2.2. Параболическая (в зависимости от формы образующей цилиндрической поверхности)	По ватерлиниям	
3. Ложкообразная	Комбинированный	
4. Снегообразная 4.1. С плоским скосом	По батоксам	
4.2. С килеватым скосом ("килеватые сани")	Комбинированный	
5. Заостренно-ложкообразная	Комбинированный	



## Форма кормовых обводов

Группа и подгруппа формы обводов	Характер обтекания	Схема обводов
I	2	3
I. Заостренная I.1. С U - образными шпангоутами	По ватерлиниям	
I.2. С U - V - образными шпангоутами	Комбинированный	
I.3. С V - образными шпангоутами	Комбинированный	
I.4. С овальными шпангоутами (ложкообразная)	Комбинированный	

I	2	3
2. Заостренно-усеченная		
2.1. с U - V - образными шпангоутами	Комбинированный с частичным срывом потока	
2.2. с V-образными шпангоутами	Комбинированный с частичным срывом потока	
2.3. с овальными шпангоутами (ложкообразная)	Комбинированный с частичным срывом потока (главным образом по батоксам)	
3. Саниобразная		
3.1. с плоским или слегка килеватым окосом	По батоксам без срыва или с частичным срывом потока	
4. Тоннельная	По батоксам с частичным срывом потока	

При формировании подводной части корпуса возможна любая комбинация приведенных обводов оконечностей, однако в любом случае могут получиться три рациональные формы ватерлиний (рис. 1.2): заостренная с обеих сторон (возможно цилиндрическая в носу); усеченная с кормы или клинообразная (заостренная в носу и усеченная или закругленная в корме) и усеченная или закругленная с обеих сторон.

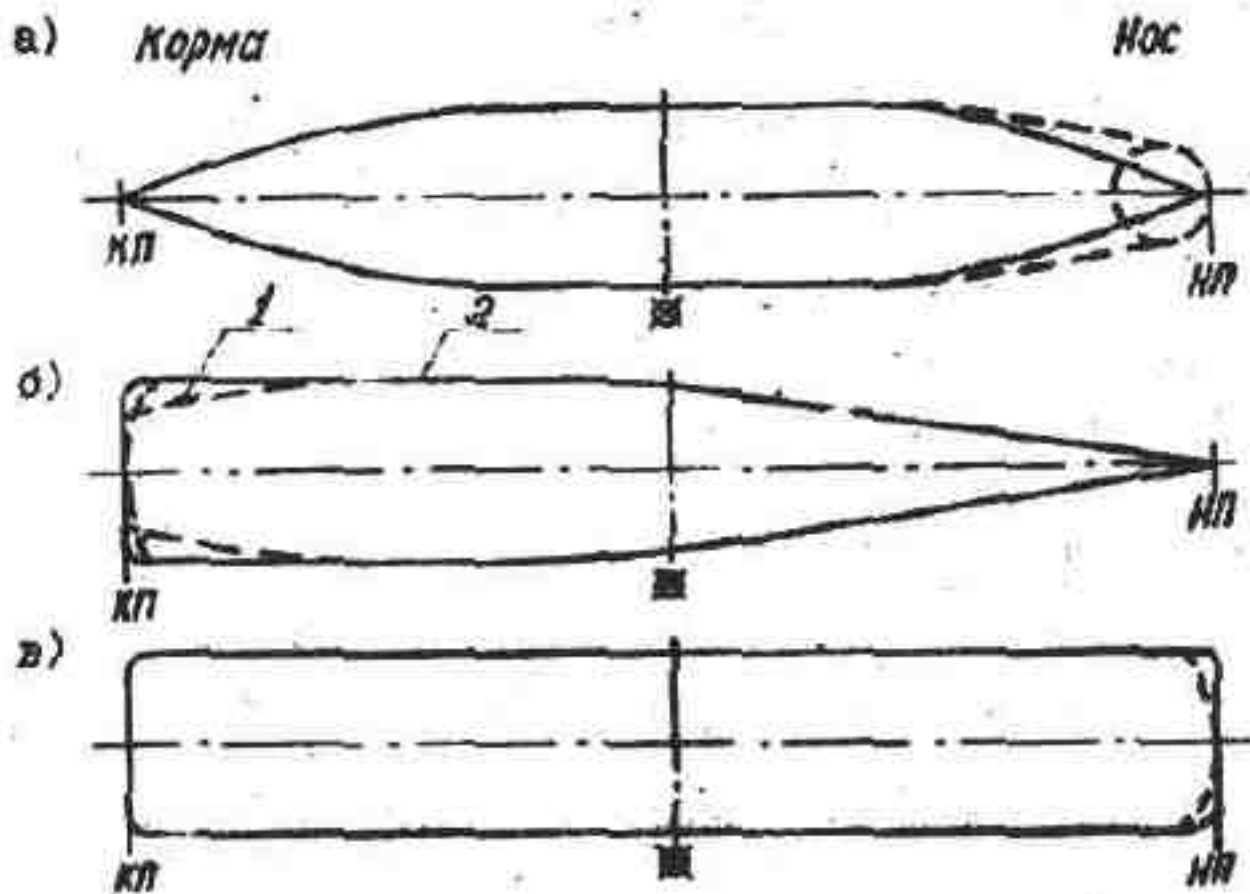


Рис. 1.2. Рациональные формы ватерлиний: а - заостренная с обеих сторон; б - усеченная с кормы (1) или клинообразная (2); в - усеченная с обеих сторон

Например, в целом по корпусу комбинация заостренных носовых и кормовых обводов (или заостренно-усеченных кормовых обводов) дает обычные обводы, характерные для большинства судов; комбинация заостренных носовых и клинообразных кормовых обводов дает обводы корпуса типа "двойной клин", а комбинация клинообразных носовых и кормовых обводов дает обводы санного типа и т.д.

## 2. ВЫБОР ФОРМЫ ОКОНЕЧНОСТЕЙ И ШТЕВНЕЙ

Форма оконечностей корпуса судна определяется формой его подводной части, то есть обводов, и надводной части. Так как последняя во многом зависит от первой при рассмотрении вопроса выбора формы оконечностей корпуса судна можно ограничиться выбором формы обводов корпуса в оконечностях. Однако при этом необходимо помнить, что форма надводной части оконечности корпуса может оказывать влияние и на его обводы в этом районе в силу каких-то функциональных или эстетических требований.

Ввиду того, что основным элементом надводной части корпуса в оконечностях являются штевни, в разделе также рассмотрен вопрос классификации и выбора различных типов штевней.

Выбор формы оконечностей корпуса в случае отсутствия информации по ней в задании или проектно-концепции является достаточно серьезной проблемой ввиду сложности влияния формы корпуса на мореходные и эксплуатационные свойства судна. Качественный выбор формы оконечностей корпуса при проектировании судна достигается оптимизацией проекта по глобальному критерию с использованием данных обширных испытаний моделей в опытовых бассейнах и систематизации статистической информации по опыту постройки и эксплуатации судов.

Поэтому выбор формы обводов оконечностей корпуса в настоящем пособии сведён к описанию самых явных обобщений влияния формы оконечностей корпуса на различные свойства судна, а также выделены области применения рассматриваемых форм носовых и кормовых обводов (см. табл. I 1, I.2) по типам судов. Это поможет проектантам ориентироваться в выборе формы обводов оконечностей для проектируемого судна.

Заостренные обводы в оконечностях являются традиционными для судовых корпусов; они в целом позволяют обеспечить высокую ходкость и мореходность судна, повысить его устойчивость на курсе, обеспечить общую продольную прочность судна при меньшей материалоемкости. На перечисленные свойства судна особенное влияние оказывают носовые обводы и, в частности, форма носовых



шпангоутов. Так,  $U$  - или  $U - V$  - образные шпангоуты обеспечивают корпусу высокую ходкость и устойчивость на курсе, низкие изгибные нагрузки на корпус;  $V$  - образные шпангоуты повышают поворотливость судна и ледопродоимость, уменьшают амплитуды килевой и вертикальной качки и тем самым заливаемость и забрызгиваемость судна, а также сдвинг (удары влн о носовую часть днища).

Форма шпангоутов заостренных кормовых обводов оказывает влияние на пропульсивные свойства корпусов и через них на ходкость судна. Наилучшие пропульсивные свойства одновальным судам обеспечивают  $U - V$  - образные кормовые шпангоуты, а двухвальным -  $V$  - образные и овальные шпангоуты.

Цилиндрические и ложкообразные носовые обводы повышают вместимость судна и технологичность изготовления носовой части корпуса. Наибольшее повышение этих свойств судна обеспечивают санеобразные носовые обводы, однако низкая мореходность и устойчивость на курсе сдерживает широкое применение таких обводов на морских судах. Ложкообразные носовые обводы в последнее время успешно используются для активного ледового плавания, обеспечивая более высокую ледопродоимость судам по сравнению с традиционными ледокольным обводами.

Заостренно-усеченные кормовые обводы повышают вместимость судна и технологичность изготовления кормовой части корпуса. Использование при этом овальных кормовых шпангоутов или санеобразных обводов с килеватым скосом позволяет в сочетании с заостренными носовыми обводами добиться наивысшей ходкости, что предопределяет их использование на многих военных кораблях и быстроходных гражданских судах. Кроме того, санеобразные кормовые обводы с плоским или килеватым скосом делают форму корпуса в корме предельно простой, а значит и очень технологичной, а также повышают вместимость судна.

Тоннельные кормовые обводы повышают пропульсивные свойства судна, так как позволяют эффективно увеличить диаметр гребного винта. В условиях ограничения обводов такие кормовые обводы находят применение прежде всего на речных судах.

В таблицах 2.1 и 2.2 описаны области применения рассмотренных форм носовых и кормовых обводов с указанием факторов, определяющих применимость конкретной формы для судов различных типов по какому-либо параметру.

Таблица 2.1

## Области применения форм носовых обводов корпуса

Форма носовых обводов	Область применения *
1	2
I. Заостренная I.1. С U - образными шпангоутами	Морские среднескоростные и быстроходные суда и корабли различного назначения с $F_r > 0,25$ (ходкость); морские малотоннажные и среднетоннажные суда с $L / T < 15$ (слеминг); морские крупнотоннажные и речные суда различного назначения (технологичность).
I.2. С U - V - образными шпангоутами	Среднескоростные и быстроходные суда и корабли различного назначения с $F_r > 0,25$ (ходкость, мореходность); морские малотоннажные и среднетоннажные суда с $L / T < 20$ (слеминг).
I.3. С V -об- разными шпангоутами	Морские тихоходные и среднескоростные суда малого и среднего тоннажа различного назначения с $F_r < 0,25$ (ходкость, мореходность); суда, длительное время эксплуатируемые в открытом море, например; рыбопромысловые, научно-исследовательские суда, буксиры-спасатели, суда обслуживания морских нефтепромыслов, суда погоды и т.п. (мореходность); ледокольные и суда ледового плавания (ледопроездимость); морские суда различного назначения с $L / T > 20$ (слеминг) и суда смешанного плавания "река-море" (ходкость, мореходность).

\* В скобках указаны факторы, определяющие применимость

Продолжение таблицы 2.1

I	2
2. Цилиндрическая	Среднетоннажные и крупнотоннажные ( $DW > 50$ тыс.т.) тихоходные суда различного назначения с коэффициентом общей полноты $\delta > 0,75$ , с $F_r < 0,20$ и $L/B < 6,0$ (ходкость, технологичность); морские среднетоннажные суда различного назначения с $L/T < 15$ (слеинг).
3. Ложкообразная	Речные и морские баржи различного назначения с $B/T > 3,0$ (ходкость, мореходность); ледоколы и суда активного ледового плавания (ледопроедимость); суда с большой площадью верхней или грузовой палубы в носу при невысоком надводном борте.
4. Сانهобразная	
4.1. С плоским скосом	Речные баржи различного назначения (ходкость, технологичность).
4.2. С килеватым окосом	Речные и морские баржи различного назначения с $B/T > 3,0$ (ходкость, мореходность, технологичность).
5. Заостренно-ложкообразная	Морские суда различного назначения с $F_r < 0,25$ и $B/T > 3,0$ (ходкость, мореходность).

Таблица 2.2

## Области применения форм кормовых обводов-ворнуса

Форма кормовых обводов	Область применения *
I	2
I. Заостренная	
I.1. С U - образными шпангоутами	Одновальные тихоходные крупнотоннажные суда с $D > 100$ тыс.т (ходкость, технологичность).
I.2. С U V - образными шпангоутами	Одновальные тихоходные и среднескоростные суда различных размеров и назначения с отношением диаметра гребного винта к осадке

\* В скобках указаны факторы, определяющие применимость формы обводов



I	2
I.3. С V - образными шпангоутами	<p><math>D_g / T \leq 0,7</math> (ходкость); суда ледового плавания (ледопродоимостъ).</p> <p>Морские двухвальные тихоходные и среднескоростные суда различных размеров и назначения и речные несамоходные и самоходные суда различного назначения (ходкость, технологичность); ледоколы и суда активного ледового плавания (ледопродоимостъ).</p>
I.4. С овальными шпангоутами	<p>Морские двухвальные тихоходные, среднескоростные и быстроходные суда и корабли различных размеров и назначения и речные несамоходные и самоходные суда различного назначения (ходкость).</p>
2. Заостренно-усеченная	
2.1. С U - V - образными шпангоутами	<p>Одновальные тихоходные и среднескоростные суда различных размеров и назначения с <math>D_g / T \leq 0,7</math> (ходкость, технологичность); суда с накатной грузообработкой при кормовой рампе (грузообработка) и прочие суда с большой площадью палуб в корме; рыбопромысловые суда с кормовым слипом (кормовое вооружение).</p>
2.2. С V - образными шпангоутами	<p>Морские двухвальные тихоходные и среднескоростные суда различных размеров и назначения и речные несамоходные и самоходные суда различного назначения (ходкость, технологичность); буксиры, транспортно-буксирные суда морских нефтепромыслов и прочие суда с большой площадью верхней или грузовой палубы в кормовой части судна при невысоком надводном борте (стойчивость); суда с накатной грузообработкой при кормовой рампе (грузообработка) и прочие суда с большой площадью палуб в корме.</p>



I	2
2.3. С овальными шангоутами	<p>Морские двухвальные тихоходные, среднескоростные и быстроходные суда и корабли различных размеров и назначения (ходкость, технологичность, кормовое вооружение); речные несамоходные и самоходные суда различного назначения (ходкость, технологичность); буксиры, транспортно-буксирные суда для морских нефтепромыслов, суда для транспортировки крупногабаритных и тяжеловесных грузов и прочие суда с большой площадью верхней или грузовой палубы в кормовой части судна при невысоком надводном борте (стойчивость); суда с накатной грузообработкой при кормовой рампе (грузообработка) и прочие суда с большой площадью палуб в корме.</p>
3. Санеобразная с плоским или слегка килеватым окосом	<p>Морские двухвальные тихоходные, среднескоростные и быстроходные суда и корабли различных размеров и назначения (ходкость, кормовое вооружение, технологичность); речные несамоходные и самоходные суда различного назначения (ходкость, технологичность); буксиры, транспортно-буксирные суда для морских нефтепромыслов, суда для транспортировки крупногабаритных и тяжеловесных грузов и прочие суда с большой площадью верхней или грузовой палубы в кормовой части судна при невысоком надводном борте (стойчивость); суда с накатной грузообработкой при кормовой рампе и прочие суда с большой площадью палуб в корме (грузообработка).</p>
4. Тоннельная	<p>Морские одновальные тихоходные и среднескоростные суда различных размеров и назначения с <math>D_g / T \leq 0,9</math> (ходкость) и двухвальные речные суда с <math>D_g / T \leq 1,2</math> (ходкость, ограничение осадки); буксиры и</p>


1	2
	прочие суда с большой площадью верхней палубы в кормовой части судна при невысоком надводном борте (стойчивость); суда с накатной грузопереработкой при кормовой рампе (грузопереработка) и прочие суда с большой площадью палуб в корме.

Формы форштевня на морских и речных судах отличаются большим многообразием, поэтому их необходимо классифицировать по форме в связи с рассмотренными формами носовых обводов корпуса, а также функциональными особенностями самих судов. В табл. 2.3 представлены основные типы форштевней современных судов с указанием их соответствия носовым обводам и принадлежности к судам различного назначения, для которых они характерны.

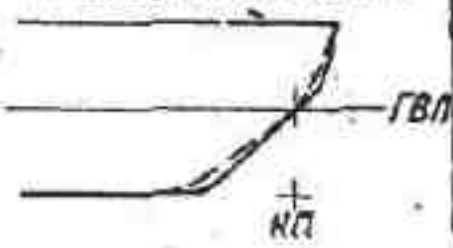

Для всех приведенных типов форштевней (см. табл. 2.3), кроме полуледокольного и ледокольного, а также форштевней с ложкообразными и сачеобразными носовыми обводами, приемлема установка носовых бульбообразных (бульбовых) наделок, служащих для уменьшения буксировочного сопротивления судна.

Таблица 2.3

## Основные типы форштевней судов

Тип форштевня	Форма носовых обводов	Применение
1. Прямой вертикальный с возможным сломом над ГВЛ 	Цилиндрическая	Морские транспортные среднетоннажные и крупнотоннажные тихоходные суда с $DW > 50$ тыс. т.
2. Прямой наклонный	а) Заостренная с U-, V- или V-образными шпангоутами	Транспортные среднетоннажные суда с $DW < 20$ тыс. т. и прочие

Тип форштевя	Форма лобовых обводов	Применение
	<p>б) Сانهобразная с плоским или килеватым скосом;</p>	<p>Речные и морские баржи различного назначения, ледоколы;</p>
3. Клиперский	<p>в) Заостренно-ложкообразная</p> <p>а) Заостренная с U- и U-V-образными шпангоутами</p>	<p>Среднетоннажные морские суда</p>
	<p>б) Заостренно-ложкообразная</p>	<p>Транспортные среднетоннажные и крупнотоннажные суда с <math>DW &lt; 150</math> тыс. т., военные корабли, пассажирские суда, кабелеукладчики, авианосцы, рыбопромысловые суда;</p>
4. S-образный	<p>Заостренная с U-V-образными шпангоутами.</p>	<p>Среднетоннажные морские суда</p>
	<p>в) Заостренная с V-образными шпангоутами;</p>	<p>Пассажирские суда</p>
5. Овальтный	<p>б) Ложкообразная;</p>	<p>Транспортные малотоннажные суда, спортивные, рыбопромысловые, служебно-вспомогательные суда;</p>
	<p>в) Заостренно-ложкообразная</p>	<p>Морские и речные баржи различного назначения, ледоколы; Среднетоннажные морские суда.</p>
6. Прямой ломаный	<p>Заостренная с U и U-V-образными шпангоутами</p>	<p>Транспортные среднетоннажные суда с <math>DW &lt; 70</math> тыс. т., военные корабли, служебно-вспомогательные суда</p>
		

Тип форштеваля	Форма носовых обводов	Применение
7. Полуледокольный 	Заостренная с V - образными шпангоутами	Суда ледового плавания различного назначения
8. Ледокольный 	Заостренная с V - образными шпангоутами	Ледоколы

В настоящее время имеется множество различных типов носовых бульбовых наделок, различающихся по форме диаметра и поперечного сечения, расположению относительно поверхности воды (ГВЛ). На рис. 2.1 показаны наиболее распространенные типы бульбов с указанием их применимости для корпусов различной полноты.

Форму поперечного сечения носовых бульбовых наделок удобно рассматривать на уровне нулевого шпангоута (носового перпендикуляра). Различают четыре вида формы нулевого шпангоута: клинообразная с поднятым к ГВЛ центром площади, симметричная овальная или ромбовидная; каплеобразная с опущенным к днищу центром площади; цилиндрическая. На рис. 2.2 показаны данные формы поперечного сечения бульбов и в скобках перечислены типы бульбов, которым они присущи в соответствии с представленной на рис. 2.1. классификацией.

Основными характеристиками носовой бульбовой наделки, влияющими на мореходные качества судна, при известном ее типе можно считать площадь сечения бульба на нулевом шпангоуте  $S_B$  и ее форму, а также выдвиг бульба относительно носового перпендикуляра  $L_B / 2$  (см. рис. 2.1 и 2.2).



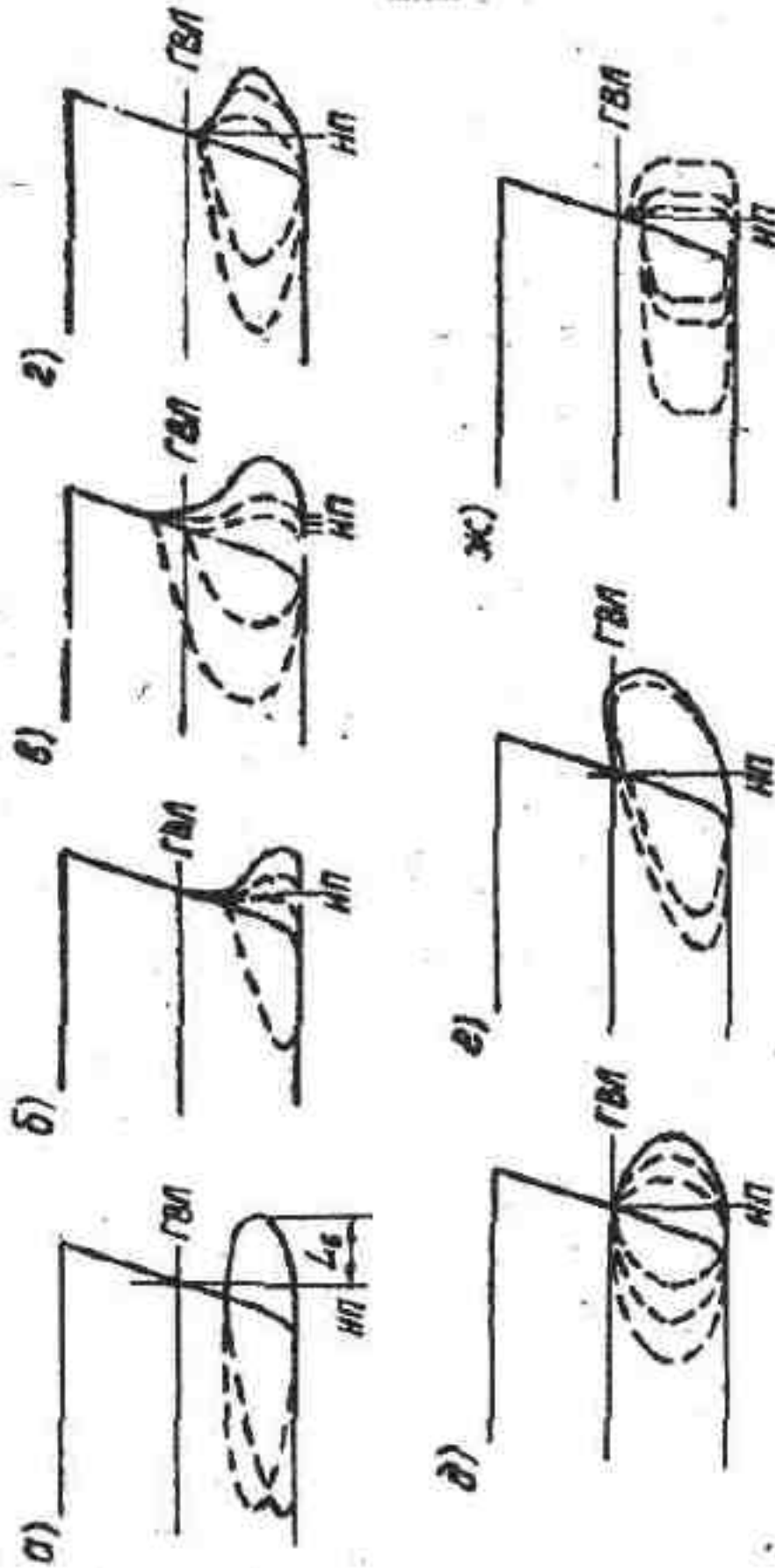


рис. 2.1. Распространенные типы носовых бульбов: а - глубоководный таранный, бульб Ингуз (корпуса с острыми обводами при  $\delta < 0,60$ ); б - глубоководный таранный грушевидный (корпуса с умеренными обводами); в -  $\delta$ -обрезанный, каллеобразный (корпуса с умеренными и полными обводами); г - среднерасположенный, бульб Майера (корпуса с умеренной полнотой при  $\delta = 0,6 \dots 0,8$ ); д - среднерасположенный таранный (корпуса с умеренными и полными обводами); е - подповерхностный таранный (корпуса с умеренными и полными обводами); ж - цилиндрический (корпуса с полными обводами при  $\delta > 0,8$ )

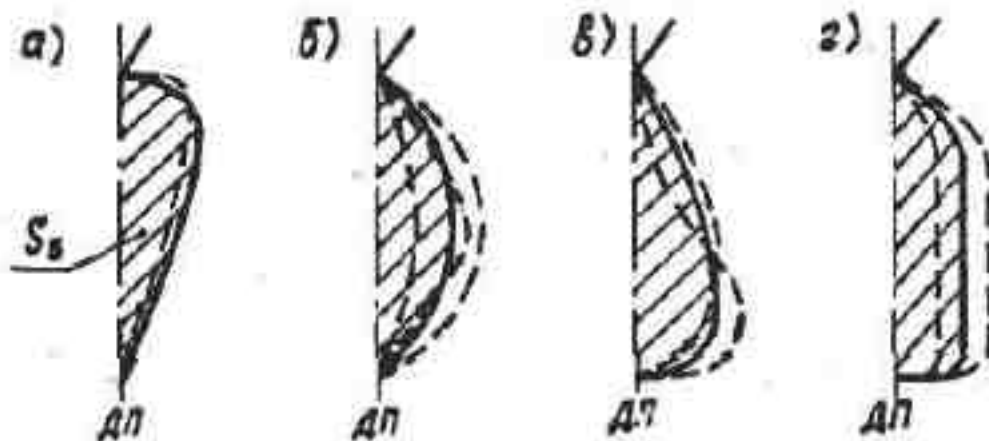


Рис. 2.2. Форма нулевого шпангоута носовых бульбовых нечелок: а - клинообразная (рис. 2.1, а, в); б - симметричная овальная (рис. 2.1, а, д) или ромбовидная (рис. 2.1, г); в - кельеобразная (рис. 2.1, б, в); г - цилиндрическая (рис. 2.1, к)

Площадь сечения бульба на нулевом шпангоуте и его выдвиг выражаются в виде относительных величин  $\delta_B = S_B / S_{н.с.}$  и  $l_B = L_B / L$ , где  $S_{н.с.}$  и  $L$  соответственно площадь шпангоута наибольшего сечения и длина между перпендикулярами. Значения  $\delta_B$  и  $l_B$  в первом приближении можно определять по следующим формулам [2]:

- формуле Л.М.Ногча при  $Fr = 0,25 - 0,35$

$$\delta_B = 0,4 (Fr - 0,1);$$

- формулам В.А.Семеново́й-Тян-Шанской

$$\text{при } Fr < 0,20 \quad \delta_B = 0,01 + 0,25 \sqrt{1,68 \cdot Fr - 0,097};$$

$$\text{при } Fr > 0,24 \quad \delta_B = 0,017 + (1,89 \cdot Fr - 0,311)^2;$$

$$\text{при } 0,17 < Fr < 0,21 \quad l_B = 0,051 - 0,115 \cdot Fr \pm 0,006;$$

$$\text{при } 0,24 < Fr < 0,265 \quad l_B = 0,102 - 0,3 \cdot Fr \pm 0,006;$$

$$\text{при } 0,275 < Fr < 0,32 \quad l_B = 0,051 - 0,106 Fr \pm 0,006;$$

Выбор формы бульба носит сугубо индивидуальный для проектируемого судна характер и отличается сложностью с инженерной точки зрения. Это объясняется особенностями гидrome-

ханики взаимодействия бульба и корпуса. В нашем случае целесообразно ограничиться самыми явными обобщениями, которые можно использовать для предварительного выбора формы бульба при проектировании теоретического чертежа корпуса судна.

В настоящее время наибольшее применение имеют бульбы с клинообразной и симметричной формой поперечных сечений, причем у бульб, снижающих лобовое сопротивление, в основном клинообразно формы сечений, а у бульбов, снижающих сопротивление формы, — симметричная форма сечения. Бульбы с каплеобразными и цилиндрическими формами поперечных сечений используются как для снижения волнового сопротивления, так и сопротивления формы, однако имеют серьезные недостатки при слеминге, поэтому их используют, как правило, на мало- и среднетоннажных судах, имеющих сравнительно малые отношения  $L/T$ .

В кораблестроении традиционно форму ахтерштевня корпусов судов связывают с типом кормы или кормовой оконечности, который определяется формой кормовых обводов и расположением винто-рулевого комплекса.

На практике принято различать три группы типов кормы: крейсерскую, эллиптическую и транцевую, которые легко отличаются друг от друга помимо чисто внешних признаков (крейсерскую корму наличие кормового свеса над рулем делает визуально массивной; эллиптическую корму расположение наиболее объемных ее частей над ГВЛ делает более изящной и динамичной; транцевую корму наличие транца делает массивной, статичной и обрезающей с ярко выраженными углами) формой ГВЛ в корме и соотношением длины между перпендикулярами и длины судна по ГВЛ (рис. 2.3).

Каждая из трех групп типов кормовой оконечности имеет разновидности в зависимости от формы применяемых кормовых обводов (табл. 2.4). Кроме того, все рассмотренные кормовые оконечности у односвальных судов могут быть открытого типа. Так называемая корма открытого типа характеризуется отсутствием рудерпоста и пятки ахтерштевня вследствие применения подвесных или полуподвесных рулей (см. рис. 2.3); и позволяет улучшить пропульсивные качества судна.

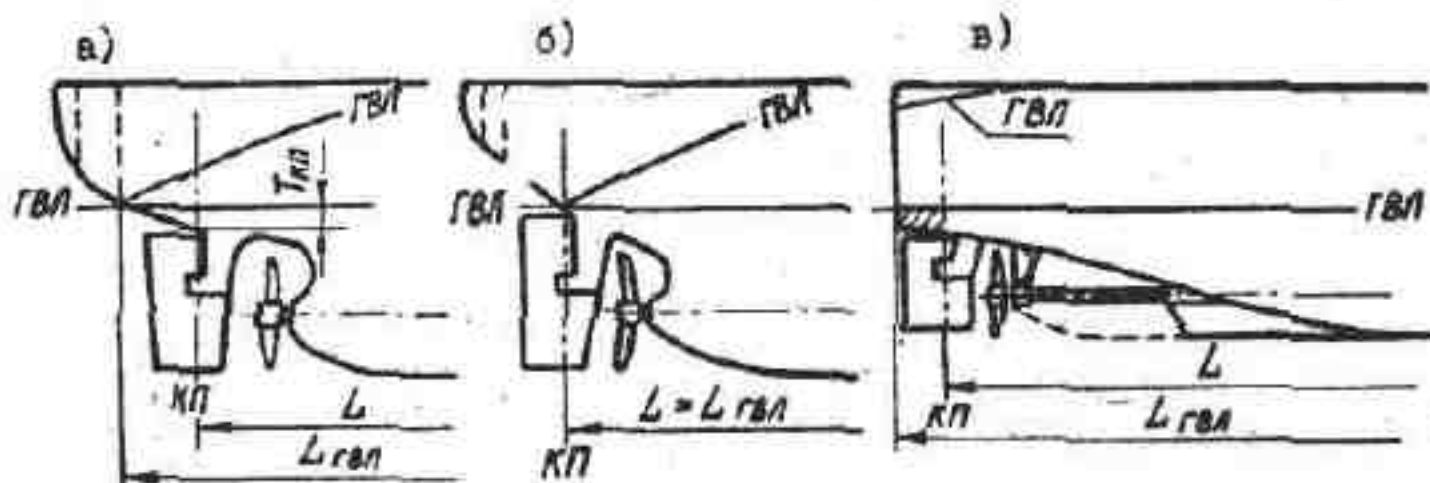


Рис. 2.3. Корма открытого типа одновальных судов:  
 а - крейсерская; б - эллиптическая; в - скошенная  
 транцевая

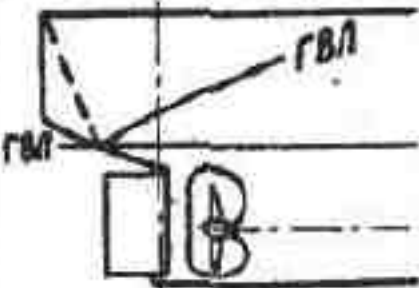
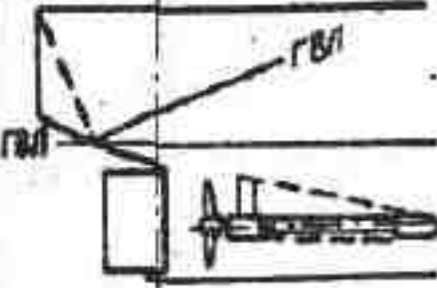
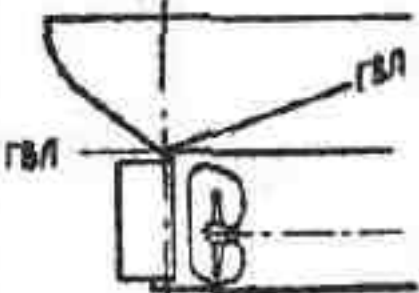
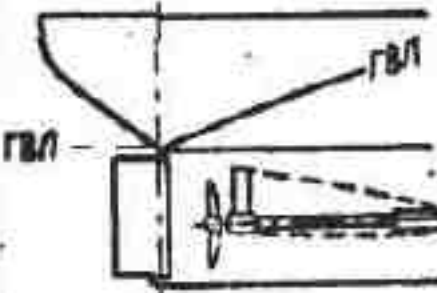
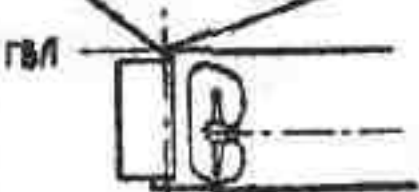
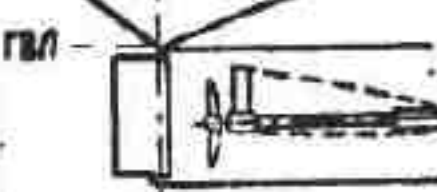
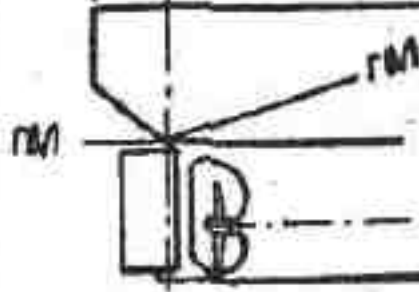
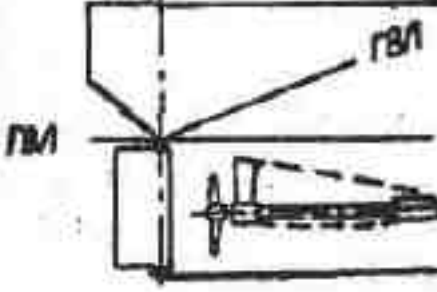
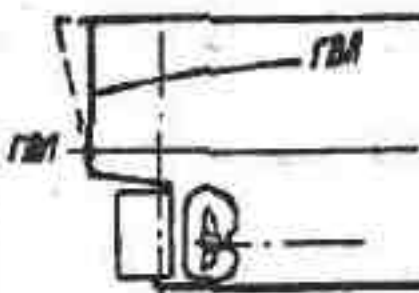
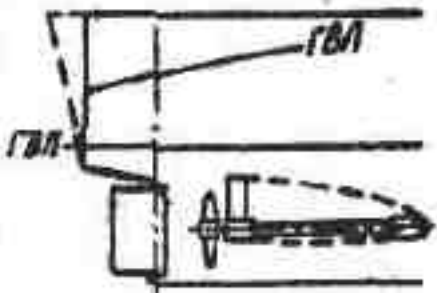
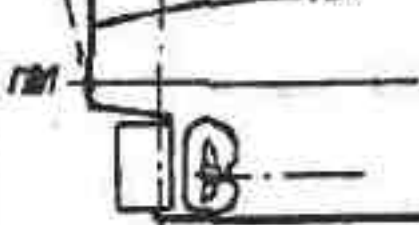
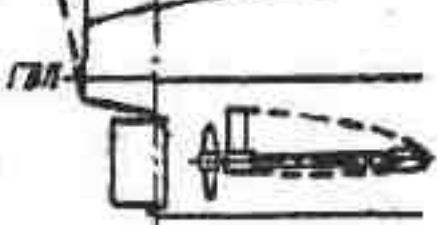
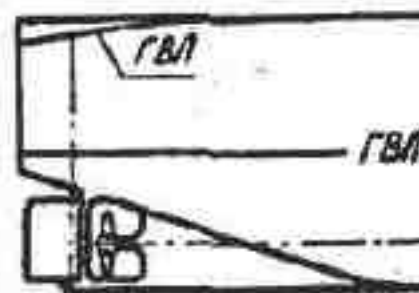
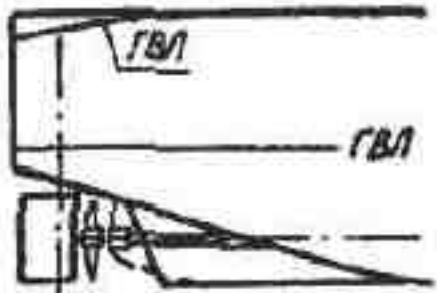
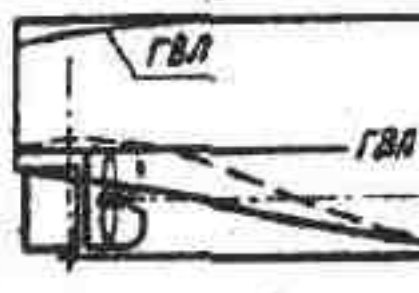

Как видно из рис. 2.3 и табл. 2.4, для крейсерской и эллиптической кормы характерна заостренная грузовая ватерлиния, тогда как для кормы транцевого типа - усеченная или клинообразная ГВЛ. Для крейсерской и транцевой кормы характерно наличие кормового свеса, который делает длину судна по ГВЛ в любом случае больше, чем длина между перпендикулярами.

Таблица 2.4

Типы кормовой оконечности судов

Группа и подгруппа	Группа формы обводов см. табл. I.2)	Схема дламы-трали	
		одновальная	двухвальная
I	2	3	4
I. Крейсерская I.I. Крейсерская обычная (закругленная)	I.2, I.3, I.4		



Г	2	3	4
I.2. Крейсерская с надводным транцем	I.2, I.3, I.4		
2. Эллиптическая			
2.1. Эллиптическая облучная (закругленная)	I.1, I.2		
2.2. Эллиптическая с надводным транцем	I.1, I.2		
3. Транцевая			
3.1. Крейсерско-транцевая	2.1, 2.2, 2.3		
3.2. Скошенная транцевая	3.1		
3.3. Тоннельная	4		

Наибольшую сложность представляет проектирование формы ахтерштевня для одновальных судов с крейсерской или транцевой кормой. При заданном диаметре гребного винта ( $D_g$ ) необходимо начинать проектирование с проверки выбора кормового свеса ( $L_{кс}$ ), которая, как правило, принимается не менее ширины пера руля за кормовым перпендикуляром (рис. 2.4); для балансировочных рулей ориентировочно  $b_p'$  можно определить по формуле:

$$b_p' = \frac{(1 - K_k) l \cdot T}{A \cdot h_p}$$

где  $K_k = 0,18 - 0,24$  - коэффициент компенсации руля (значения, примыкающие к нижнему пределу диапазона, принимаются для полубалансировочных рулей, а к верхнему пределу - для балансировочных рулей);  $h_p$  - высота пера руля, которую в первом приближении можно принимать в зависимости от диаметра гребного винта  $h_p = (1,0 - 1,2) D_g$ ;  $A$  - коэффициент, который можно определять по формуле Правил Норвежского бюро Веритас

$$A = \frac{100}{[1 + 25 / (L/B)^2]}$$

или в зависимости от скорости судна ( $U_s$ ) /Р/:

$U_s$ , уз.	10 - 14	Более 14
$A$	52 - 62	58 - 80

Ширина балансирной части руля ( $b_p''$ ), которую необходимо знать для проектирования линии ахтерштевня в районе расположения гребного винта, определяется по формулам:

- для балансирных рулей 
$$b_p'' = \frac{K_k L \cdot T}{A \cdot h_p};$$

- для полубалансирных рулей 
$$b_p'' \approx \frac{2K_k L \cdot T}{A \cdot h_p}.$$

Линия ахтерштевня в районе расположения гребного винта (окна ахтерштевня) определяется в общем случае четырьмя геометрическими параметрами, характеризующими зазоры между гребным винтом и ахтерштевнем, корпусом, пяткой ахтерштевня (если она есть) и пилем (возможна пилеобразность) /З. 4/.

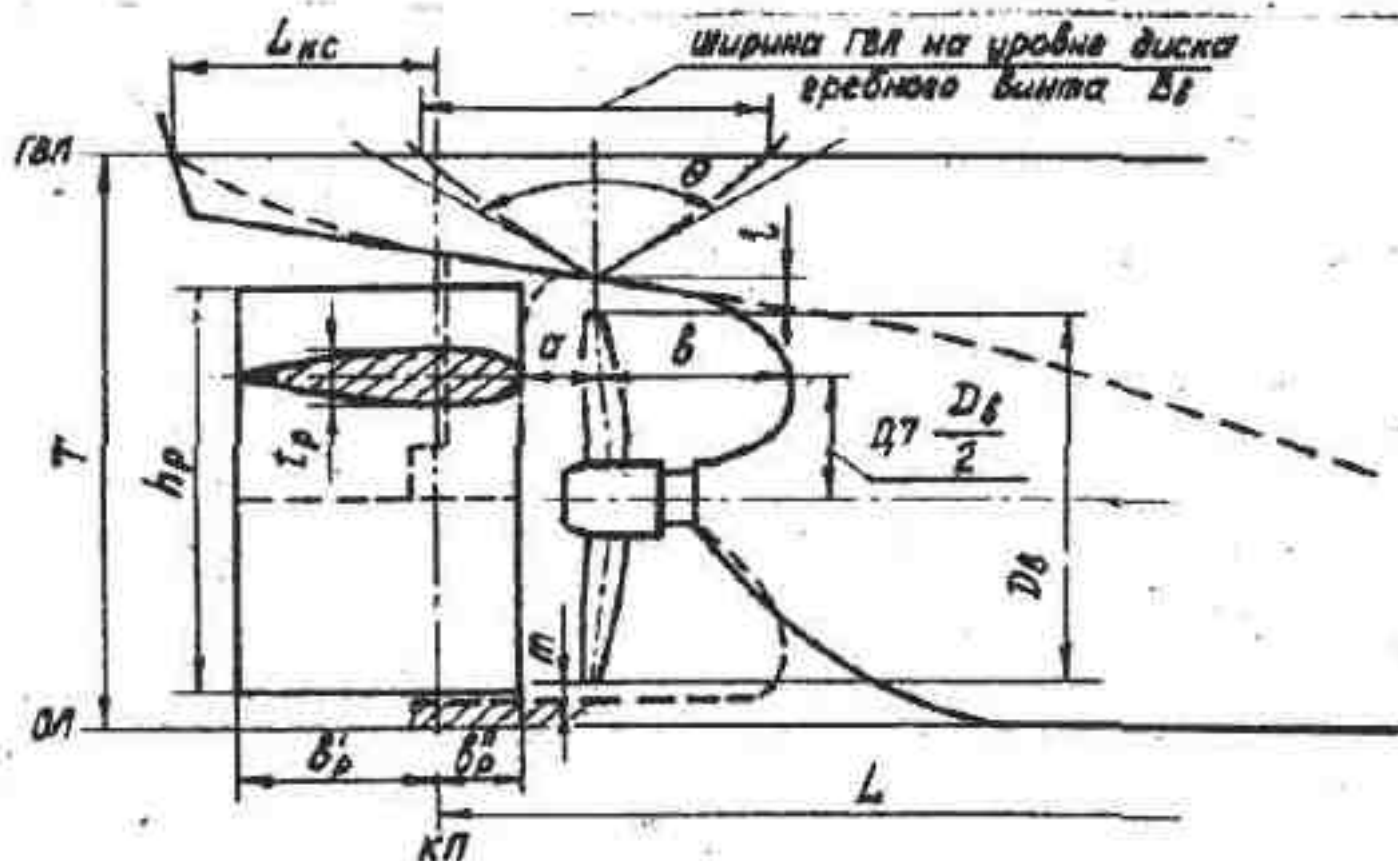


Рис. 2.4. Расположение движительно-рулевого комплекса на одновальной судне с крейсерской или транцевой кормой

Зазор  $\delta$  (см. рис. 2.4) между гребным винтом и ахтерштевнем или кронштейном гребного вала на уровне  $0,7$  от радиуса  $R_г = D_г/2$  влияет на пропульсивные качества корпуса (коэффициенты полутного потока и засасывания) и КПД самого двигателя (неравномерность потока в диске винта), причем при удалении от корпуса гребного винта пропульсивные качества судна постоянно повышаются.

По обобщенным рекомендациям [3, 4] относительная величина зазора ( $\delta' / D_г$ ) для одновальных и двухвальных судов должна быть  $\delta' / D_г \geq 0,45$ , однако необходимо помнить, что значительное удаление винта от ахтерштевня ведет к усложнению конструкции дейдвудной трубы и ее выкружек, технологии их изготовления и к снижению ремонтпригодности линки валопровода.

Зазор ( $t$ ) между гребным винтом и корпусом судна (верхним ахтерштевнем) оказывает сильное влияние на вибрацию кормовой оконечности судна, при этом относительный зазор ( $t / D_г$ ) должен быть [3, 4]:

- для одновальных судов

$$t/D_g \geq 0,15 + 1,1 \cdot 10^{-5} (\theta - 60),$$

где  $\theta$  - угол килеватости шпангоута в диске винта, в град., который рекомендуется принимать  $\theta > 60^\circ$  во избежание сильной вибрации кормовой оконечности;

- для двухвальных судов  $t/D_g \geq 0,28$ .

Зазор ( $a$ ) между гребным винтом и рулем оказывает влияние на ходовые качества судна, которое учитывается коэффициентом попутного потока. По обобщенным рекомендациям /3, 4/

$$a/D_g \geq 0,2 \quad \text{при} \quad t_p/D_g \leq 0,15;$$

$$a/D_g = 0,2 \cdot 1,5 \left( \frac{t_p}{D_g} - 0,15 \right) \quad \text{при} \quad t_p/D_g > 0,15,$$

где  $t_p$  - толщина руля предварительно может быть выбрана по диапазону относительных толщин  $t_p / (b'_p + b''_p) = t_p / b_p$ , который для современных судов составляет 0,15 - 0,24, при этом величина  $t_p/D_g$  в любом случае не должна приниматься более 0,28.

Значение относительного зазора между гребным винтом и пяткой ахтерштевня ( $m/D_g$ ) рекомендуется принимать  $m/D_g \geq 0,05$  /3, 4/.

В случае проектирования ахтерштевней двухвальных судов со скошенной транцевой формой (санеобразные кормовые обводы с плоским скосом, см. табл. 1.2) и skeгами гребных валов (см. рис. 2.3, в) можно использовать все приведенные рекомендации по выбору геометрических параметров  $b$ ,  $t$  и  $a$ .

В последнее время на судах начинают применяться специальные устройства, заметно улучшающие пропульсивные качества судов за счет повышения эффективности работы гребного винта, среди которых необходимо отметить предвинтовые насадки и свободно вращающиеся пропеллеры (контрпропеллеры Грима). При этом, если установка первых устройств практически не приводит к изменению геометрических параметров линии ахтерштевня одновального судна согласно приведенным рекомендациям, то при оснащении судна контрпропеллером необходимо дополнительное пространство в кормовом подзоре для его размещения (рис. 2.5).



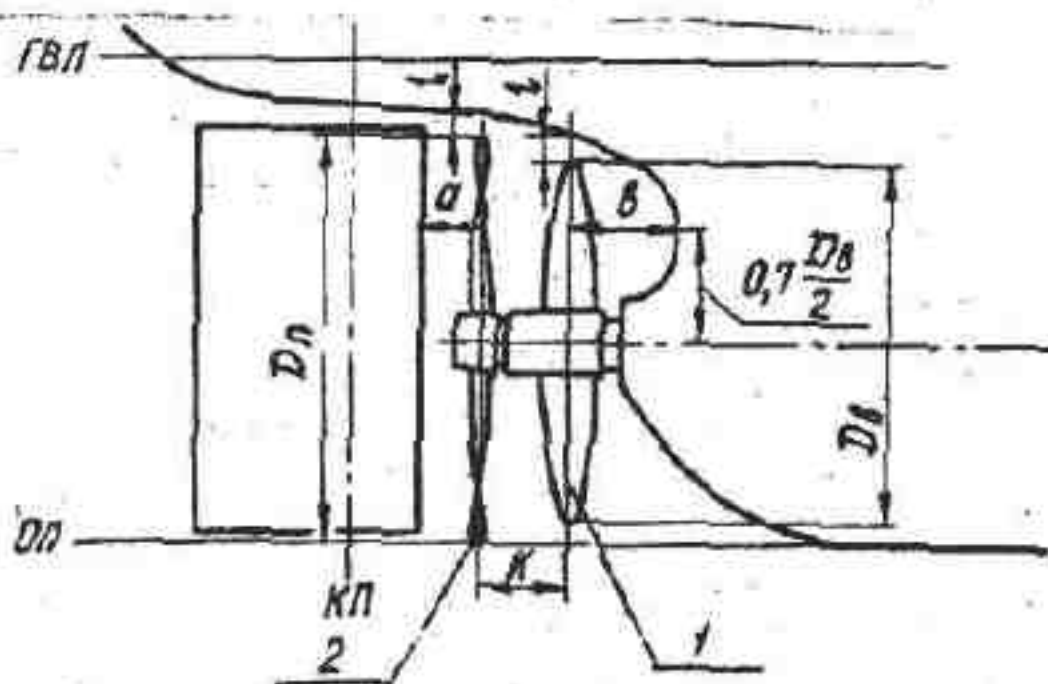


Рис. 2.5. Расположение движительно-рулевого комплекса однояльного судна с пропеллером Грима: 1 - гребной винт; 2 - пропеллер Грима

При наличии пропеллера Грима для проектирования форм актерштевня в районе расположения гребного винта необходимо знать такие важные геометрические параметры как отношение диаметра контрпропеллера к диаметру гребного винта ( $D_n/D_g$ ), которое следует в первом приближении выбирать в диапазоне  $D_n/D_g = 1,1 - 1,3$ , и расстояние между их дисками ( $K$ ), относительное значение которого может приниматься в диапазоне  $K/D_g = 0,25 - 0,26$ . При этом зазор  $t$  между пропеллером и корпусом судна можно оставлять таким же, как для гребного винта, а зазор между диском пропеллера и рулем определять через его диаметр  $D_n$  (см. рис. 2.5).

### 3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА

Как уже указывалось во введении, непосредственное проектирование теоретического чертежа корпуса судна прямо разбивать на два этапа: проведение подготовительных работ, необходимых для построения ТЧ, и построение самого теоретического чертежа.

Подготовительные работы для построения теоретического чертежа включают следующее:

- 1) разработку строевой по шпангоутам;
- 2) разработку грузовой ватерлинии;
- 3) построение обвода мидель-шпангоута;
- 4) построение сетки теоретического чертежа;
- 5) разработку диаметрального батокса.

### 3.1. Разработка строевой по шпангоутам

Строевая по шпангоутам представляет собой распределение площадей шпангоутов до грузовой ватерлинии (являющейся расчетной) по длине судна.

Главной задачей построения строевой по шпангоутам независимо от используемой методики является обеспечение заданных значений объемного водоизмещения ( $V$ ), т.е. коэффициентов общей ( $\delta$ ) и продольной полноты ( $\gamma$ ), и абсциссы центра величины ( $X_c$ ). При этом, как показывает опыт, если обеспечение водоизмещения достигается достаточно легко, то значение абсциссы ЦВ обеспечить гораздо сложнее, поэтому точность получения  $X_c$  при построении строевой по шпангоутам определяет в какой-то мере совершенство применяемой методики.

Обычно для непосредственного построения строевой по шпангоутам используют следующие исходные данные:

- 1) коэффициент продольной полноты ( $\gamma$ ) и абсциссу центра величины ( $X_c$ );
- 2) длину цилиндрической вставки ( $L_{цв}$ ) и ее положение по длине судна либо положение шпангоута наибольшего сечения для судов без цилиндрической вставки;
- 3) форму носовой и кормовой ветвей строевой по шпангоутам.

В случае отсутствия информации о положении центра величины методика построения строевой по шпангоутам начинается с определения абсциссы ( $X_c$ ), в зависимости от которой в дальнейшем находятся вспомогательные коэффициенты и характеристики. Абсцисса ЦВ отсчитывается обычно от мидель-шпангоута, принято считать ее положительной, если центр величины расположен в нос от мидель-шпангоута, и отрицательной — если он кормовее

Для определения относительной абсциссы ЦВ  $\bar{x}_c = x_c/L$  чаще всего используют зависимости в функции от коэффициента общей полноты или числа Фруда ( $F_n$ ), выбор которых может быть осуществлен по источникам /1 - 3, 7/. В любом случае необходимо следить за соответствием формул тем или иным формам обводов и диапазонам изменения аргументов а также учитывать общие границы изменения  $\bar{x}_c$  (см. приложение, рис. П.7, П.8).

В качестве примера можно привести формулы Вагенингенского бассейна, пригодные для проектирования обывных корпусов с заостренными в оконечностях обводами:

$$\begin{aligned} \text{при } \delta > 0,65 \quad \bar{x}_c &= 0,022 \left[ \sin \left( \frac{\pi}{2} \frac{\delta - 0,65}{0,15} \right) \pm 0,5 \right]; \\ \text{при } \delta < 0,65 \quad \bar{x}_c &= -0,011 \left[ \sin \left( \frac{\pi}{2} \frac{0,65 - \delta}{0,15} \right) \pm 1,0 \right], \end{aligned}$$

или в упрощенной форме

$$\bar{x}_c = 2,12 (\delta - 0,63) \pm 0,01 .$$

В зависимости от относительной абсциссы ЦВ находятся коэффициенты предельной полноты носовой ( $Y_H$ ) и кормовой ( $Y_K$ ) частей корпуса относительно мидель-шпангоута, необходимые для построения строевой по шпангоутам.

Для обывных корпусов с заостренными обводами в оконечностях коэффициенты  $Y_H$  и  $Y_K$  можно определять по следующим формулам /2/:

$$\left. \begin{aligned} Y_H &= (1 + 3,05 \bar{x}_c) Y ; \\ Y_K &= (1 - 3,05 \bar{x}_c) Y ; \\ Y &= \frac{Y_H - Y_K}{2} , \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

дополнительно для определения  $Y_H$  и  $Y_K$  можно использовать формулы А.Хогга /10/

$$\begin{aligned} Y_H &= Y + 0,002 + 2 \cdot \bar{x}_c ; \\ Y_K &= Y + 0,002 - 2 \cdot \bar{x}_c . \end{aligned}$$

которые дают практически аналогичные результаты.

Решение вопроса об отсутствии или наличии на корпусе судна цилиндрической вставки производится обычно в зависимости от числа Фруда или коэффициента общей полноты.

Если за критерий принять число Фруда, то при  $Fr \geq 0,26$  длину цилиндрической вставки можно принимать равной нулю /1, 2/. В этом случае положение шпангоута наибольшего сечения по длине судна и соответствующие ему длины носового и кормового заострений определяются следующим образом:

при  $Fr = 0,26 - 0,27$  шпангоут наибольшего сечения можно принимать посередине длины судна по ГВЛ, т.е. ориентировочно

$$x_{шп.н.с} = -0,015 \cdot L ;$$

$$L_{нз} = 0,515 \cdot L ; \quad L_{кз} = 0,485 \cdot L ;$$

при  $Fr = 0,27 - 0,30$

$$x_{шп.н.с} = -0,025 \cdot L ;$$

$$L_{нз} = 0,525 \cdot L ; \quad L_{кз} = 0,475 \cdot L$$

при  $Fr > 0,30$

$$x_{шп.н.с} = -0,05 \cdot L ;$$

$$L_{нз} = 0,55 \cdot L ; \quad L_{кз} = 0,45 \cdot L .$$

Если число Фруда  $Fr < 0,26$ , на корпусе целесообразно формировать цилиндрическую вставку, длину ( $L_{цв}$ ) и положение которой по длине судна обычно определяют по графикам типа графика Линдбола в зависимости от  $\delta$  (рис. 3.1). При этом в дополнение можно пользоваться формулами и графиками для определения относительной длины носовой части цилиндрической вставки  $t_{цв}^н = L_{цв}^н / L$  или носового заострения  $t_{нз} = 0,5 - t_{цв}^н$  в зависимости от числа  $Fr$  или  $\delta$ , так как эти параметры влияют на интерференцию носовых волн и волн, зарождающихся у начала цилиндрической вставки.



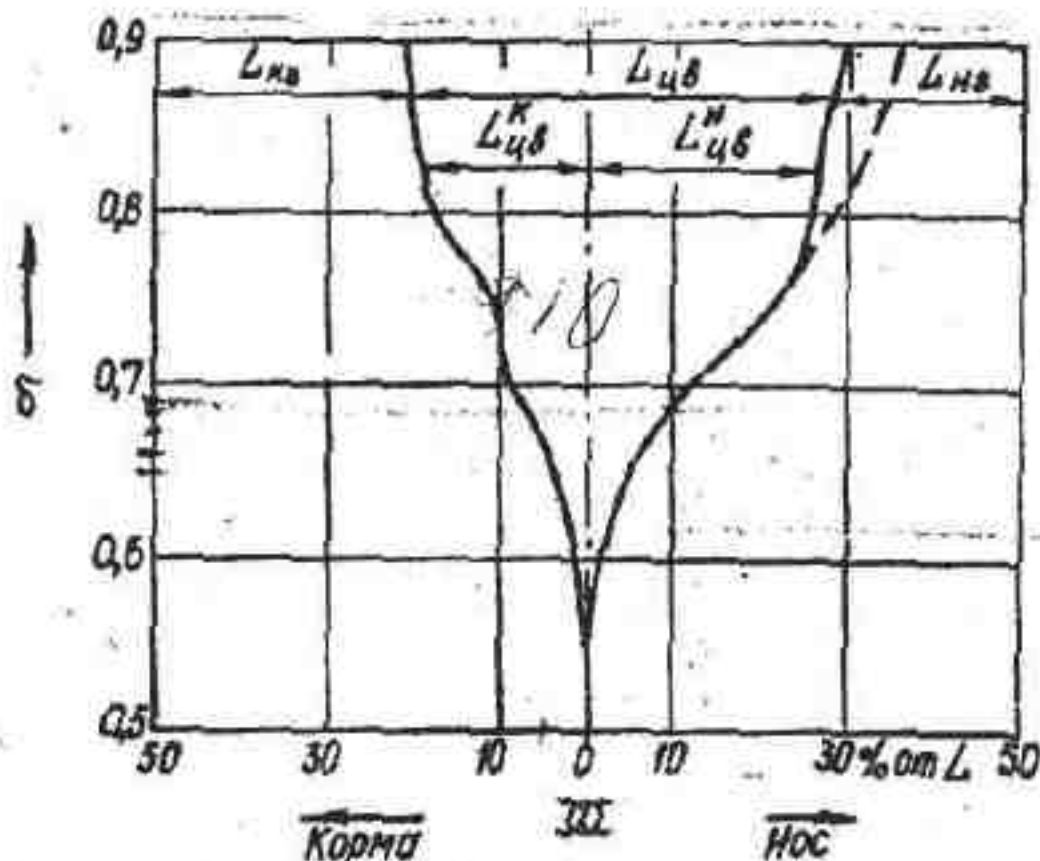


Рис. 3.1. График для определения протяженности и расположения цилиндрической вставки: — для корпусов с заостренными носовыми и кормовыми обводами; - - - - для корпусов с цилиндрическими носовыми обводами

Для учета влияния интерференции указанных волновых систем на выбор расположения цилиндрической вставки корпуса на рис. 3.2 приведен график зависимостей  $l_{цв}^н = f(Fr, \delta) / \lambda$ , на котором заштрихованные зоны показывают области значений  $l_{цв}^н$ , обеспечивающих благоприятную волновую интерференцию, а значит и снижение волнового сопротивления корпуса. В случае определения относительной длины носового заострения ( $l_{нз}$ ), обеспечивающей благоприятную интерференцию волн, можно пользоваться формулами Вегенингеновского бассейна (для корпусов с заостренными носовыми обводами) [2, 7]:

$$\text{при } Fr = 0,22 - 0,26 \quad l_{нз} = 4,2 Fr - 0,525 ;$$

$$\text{при } Fr \leq 0,22 \quad l_{нз} = 2,1 Fr - 0,062 .$$

При определении длины кормового заострения, к примеру, по графику Линдблада значение  $L_{кз}$  необходимо проверить по кри-

терию Бакера, выражающему критическую относительную длину кормового заострения, которая приводит к резкому увеличению сопротивления формы в корме:

$$l_{кз} = L_{кз} / L \geq \frac{k_g}{V^{1/2} l^{3/2}}$$

где  $l = L / V^{1/3}$  - относительная длина судна;  
 $k_g = 4,1$ .

Дополнительно для тихоходных судов с большой полнотой корпуса ( $\delta > 0,82$ )

по рекомендациям японских специалистов длина кормового заострения должна быть:

$$L_{кз} \geq B / (0,40 - 0,42) \\ \text{при } \delta_{кз} = V_{кз} / L_{кз} B T \leq 0,675 \quad /4/$$

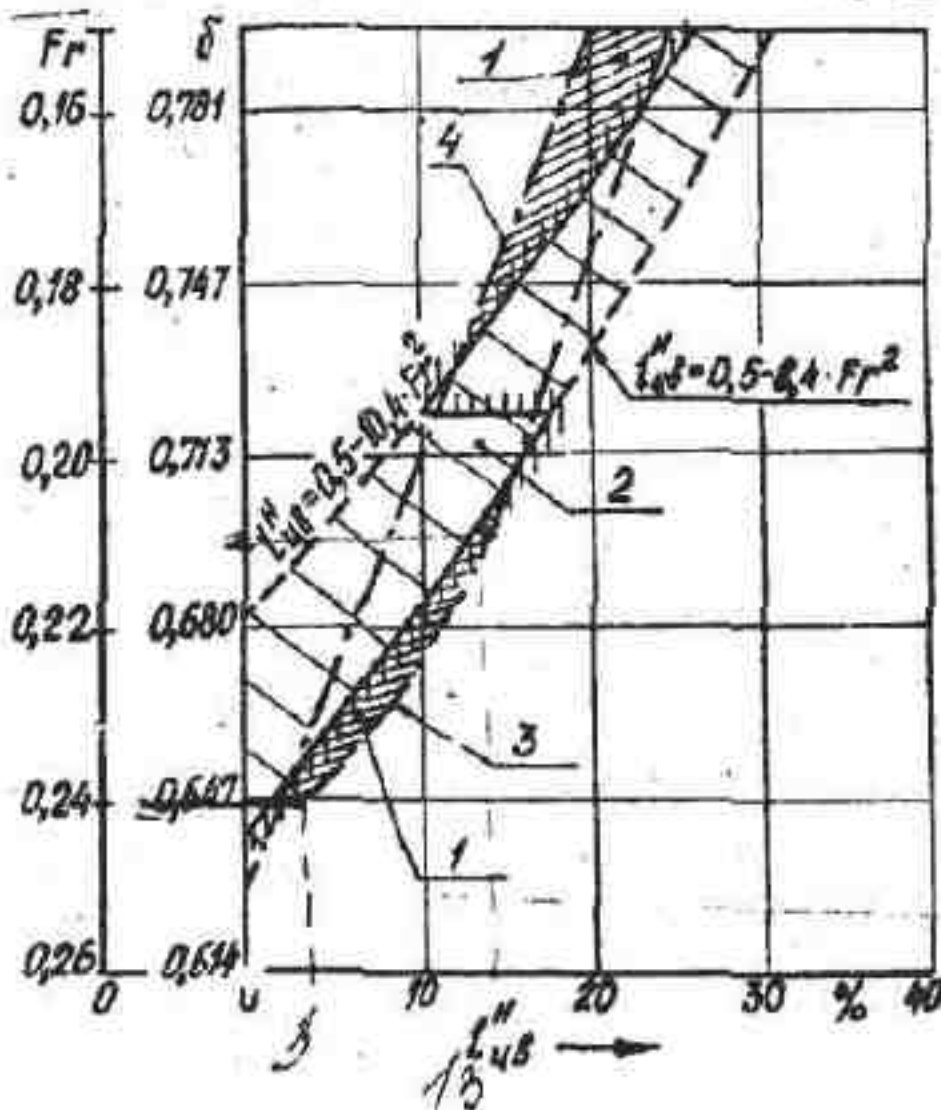


Рис. 3.2. График для определения оптимальных значений относительной длины носовой части цилиндрической вставки по гидромеханическим характеристикам: 1 - благоприятная зона значений  $l_{кз}$ ; 2 - неблагоприятная зона  $l_{кз}$ ; 3 - кривая Вагенингенского бассейна; 4 - кривая моделей серии 60

На основании вышеприведенных данных на практике используются приближенные способы построения строевых по шпангоутам с помощью вспомогательных четырехугольников, которые эквивалентны по площади объемному водоизмещению  $V$  (рис. 3.3). При этом геометрические параметры вспомогательных четырехугольников определяются следующим образом /2/ :

$$\left. \begin{aligned} x_H &= (2\gamma_H - 1) \cdot L_H \\ x_K &= (2\gamma_K - 1) L_K \\ x_{H_1} &= \gamma_H L_H \\ x_{K_1} &= \gamma_K L_K \end{aligned} \right\} (3.2)$$

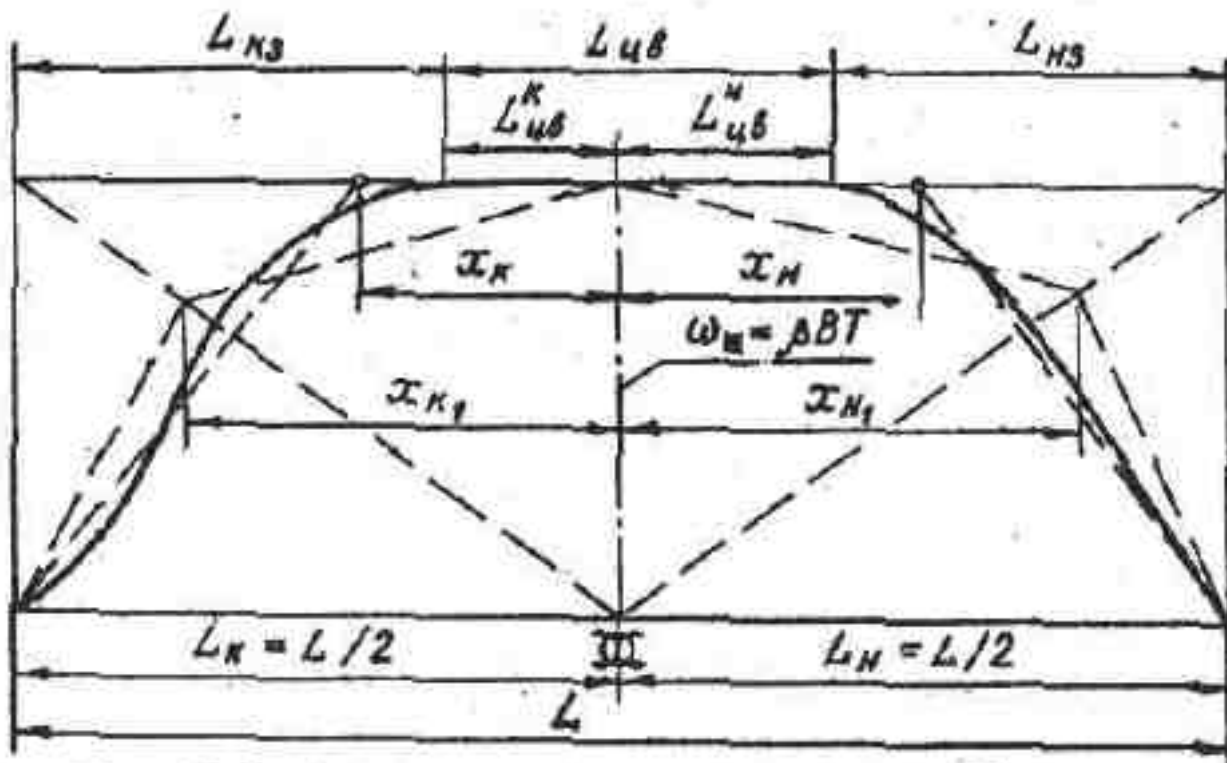


Рис. 3.3. Общая схема построения строеной по шангоутам

После построения вспомогательных четырехугольников рекомендуется проверить полученную фигуру на положение центра величины; абсцисса центра ее площади должна быть равна заданной абсциссе  $ЦВ - x_c$ .

Такой способ дает хорошие результаты для судов с относительно малой цилиндрической вставкой или без нее, когда шангоут наибольшего сечения находится недалеко от мидель-шангоута. В случае использования этого способа для судов с большими значениями  $x_{ш.н.с.}$ , вместо  $\gamma_H$  и  $\gamma_K$  в формулу (3.2) удобнее подставлять коэффициенты продальной полноты носового и кормового заострений  $\gamma_{H3}$  и  $\gamma_{K3}$  при  $L_K = L_{K3}$  и  $L_H = L_{H3}$  (см. рис. 3.3).

Недостатком вышеприведенной методики построения строеной по шангоутам для судов с цилиндрической вставкой является то,

что связь коэффициентов продольной полноты частей корпуса  $\psi_H$  и  $\psi_K$  с параметрами цилиндрической вставки или длинами носового и кормового заострений  $L_{H3}$  и  $L_{K3}$  отличается большой неустойчивостью, так как  $\psi_H$  и  $\psi_K$  в отличие от  $L_{H3}$  и  $L_{K3}$  определяются не непосредственно в функции от числа Фруда или коэффициентов полноты  $\delta$  и  $\psi$ , а согласно формуле (3.1) через абсциссу центра величины  $x_c$ , которая в своей функциональной связи с  $F_r$  или  $\delta$  и  $\psi$  имеет значительный разброс (см. приложение, рис. П.7 и П.9). Это может привести к известным противоречиям в построении строевой по шпангоутам, которые существенно повысят трудоемкость построения. Поэтому для судов с большой цилиндрической вставкой в смысле четкой взаимосвязи между коэффициентами продольной полноты и параметрами цилиндрической вставки (или длинами носового и кормового заострений) более совершенным можно считать построение строевой по шпангоутам с использованием коэффициентов продольной полноты носового и кормового заострений

$$\psi_{H3} = \frac{V_{H3}}{\beta V T L_{H3}}; \quad \psi_{K3} = \frac{V_{K3}}{\beta V T L_{K3}}$$

которое приобретает простую форму (рис. 3.4).

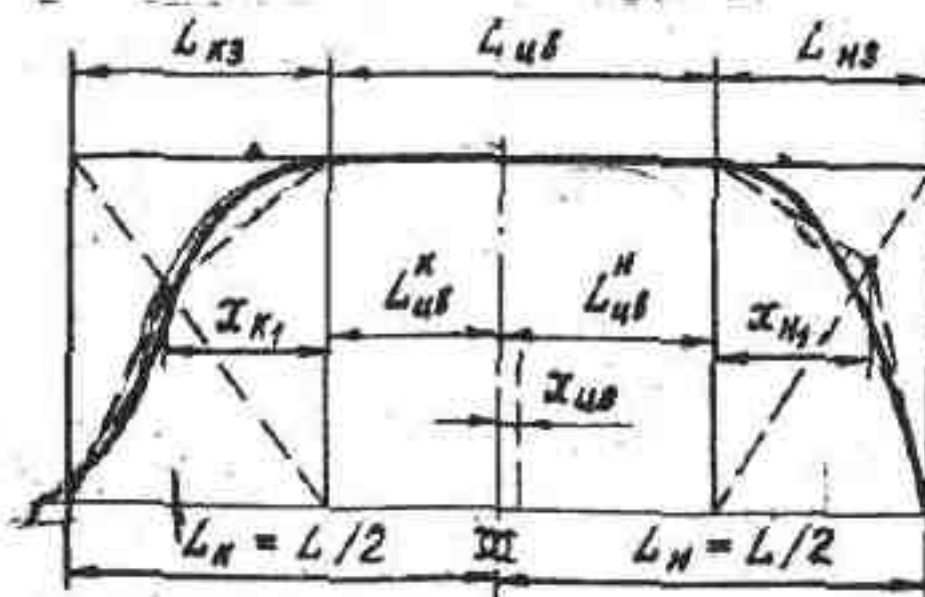


Рис. 3.4. Схема построения строевой по шпангоутам для корпусов с цилиндрической вставкой:  $x_{K1} = \psi_{H3} \cdot L_{H3}$ ;  $x_{K1} = \psi_{K3} \cdot L_{K3}$ ;  $\psi = \frac{\psi_{K3} L_{K3} + L_{цв} + L_{H3} \cdot \psi_{H3}}{L}$



При известных коэффициентах продольной полноты носовой и кормовой частей корпуса ( $\psi_N$  и  $\psi_K$ ), а также положении цилиндрической вставки (т.е. значениях  $L_{цв}^N$ ,  $L_{цв}^K$  или  $L_{цв}$  и  $L_{цв}$ ) значения  $\psi_{НЗ}$  и  $\psi_{КЗ}$  вычисляются по формулам

$$\psi_{НЗ} = \frac{\frac{\psi_N L}{2} - L_{цв}^N}{L_{НЗ}} = \frac{L(\psi_N - 1)}{2L_{НЗ}} + 1;$$

$$\psi_{КЗ} = \frac{\frac{\psi_N L}{2} - L_{цв}^K}{L_{КЗ}} = \frac{L(\psi_N - 1)}{2L_{КЗ}} + 1.$$

В случае, если  $\psi_N$  и  $\psi_K$  не известны, можно непосредственно определять значения  $\psi_{НЗ}$  и  $\psi_{КЗ}$  по формулам В.Л.Подзюнина /6/

$$\left. \begin{aligned} \psi_{НЗ} &= \frac{1}{l_{НЗ}} \left[ \frac{\psi - l_{цв}}{2} + \frac{x_c - x_{цв}}{L} \right]; \\ \psi_{КЗ} &= \frac{1}{l_{КЗ}} \left[ \frac{\psi - l_{цв}}{2} - \frac{x_c - x_{цв}}{L} \right]; \end{aligned} \right\} (3.3)$$

где  $l_{цв}$  - относительная длина цилиндрической вставки;  $x_{цв}$  - абсцисса середины цилиндрической вставки, равная:

$$x_{цв} = \frac{L_{цв}^N - L_{цв}^K}{2}.$$

В некоторых случаях для определения  $\psi_{НЗ}$  и  $\psi_{КЗ}$  можно пользоваться аналогичными формулами /10/

$$\left. \begin{aligned} \psi_{НЗ} &= \frac{1}{2l_{НЗ}} \left[ (\psi - l_{цв}) - \frac{20(\bar{x}_{цв} - \bar{x}_c)}{H - \frac{l_{цв}}{\psi}} \right]; \\ \psi_{КЗ} &= \frac{1}{2l_{КЗ}} \left[ (\psi - l_{цв}) + \frac{20(\bar{x}_{цв} - \bar{x}_c)}{H - \frac{l_{цв}}{\psi}} \right]; \end{aligned} \right\} (3.4)$$

или формулами более простого вида

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{нз} &= \frac{\gamma - l_{цв}}{1 - l_{цв}} + 1,68 (1,09 - l_{цв}) \bar{x}_c ; \\ \gamma_{кз} &= \frac{\gamma - l_{цв}}{1 - l_{цв}} - 1,68 (1,09 - l_{цв}) \bar{x}_c . \end{aligned} \right\} (3.5)$$

Отличие приведенных формул заключается в соотношении получаемых величин  $\gamma_{нз}$  и  $\gamma_{кз}$ . Формулы (3.3) дают  $\gamma_{нз} < \gamma_{кз}$ , что может соответствовать острым носовым обводам или, наоборот, приполненным кормовым. Формула (3.4) обеспечивает примерно одинаковые значения  $\gamma_{нз}$  и  $\gamma_{кз}$ , а формула (3.5) дает  $\gamma_{нз} > \gamma_{кз}$ , что может соответствовать приполненным носовым обводам и наличию бульба.

Значения  $\gamma_{нз}$  и  $\gamma_{кз}$ , полученные по формулам (3.3), (3.4) и (3.5), необходимо во избежание грубых ошибок проверять на соответствие общему коэффициенту продольной полноты

$$\gamma = \gamma_{нз} l_{кз} + l_{цв} + \gamma_{кз} l_{нз} .$$

В случае, если при разработке формы корпуса проектируемого судна используются теоретические чертежи стандартных моделей серии 60, для определения  $\gamma_{нз}$  и  $\gamma_{кз}$  можно пользоваться следующими зависимостями /I/:

$$\gamma_{гс} = \frac{L \cdot \gamma - L_{цв}}{L_{нз} + L_{кз} K_{\gamma}} = \frac{\gamma - l_{цв}}{l_{нз} + l_{кз} K_{\gamma}} ;$$

$$\gamma_{нз} = K_{\gamma} \cdot \gamma_{кз} ,$$

где  $K_{\gamma} = (\gamma_{нз} / \gamma_{кз})_{ст}$  - отношение "стандартных" значений коэффициентов продольной полноты носового и кормового заострений моделей серии 60, которое определяется по графику (рис. 3.5) в зависимости от  $\delta$  и  $x_c$ .

При этом значения относительных длин цилиндрической вставки и носового заострения, соответствующие моделям серии 60, можно определять по графикам (рис. 3.6 и 3.7).

Для построения строевой по шпангоутам с одновременным определением  $X_c$ , что характерно для автоматизированного проектирования судна, можно предложить методику Тима /9/, которая также применима для корпусов с заостренными обводами. Она заключается в том, что заданный коэффициент продольной полноты  $\psi$  условно разбивается на

три составляющие для носового и кормового заострений, и цилиндрической вставки относительно общего объема  $\beta LVT$ , чем в косвенной форме обеспечивается связь абсциссы центра величины судна  $X_c$  с  $\psi$  (числом Фруда):

$$\psi = \psi'_{нз} + \psi'_{цв} + \psi'_{кз}$$

где

$$\psi'_{нз} = \frac{V_{нз}}{\beta LVT} = \frac{\psi_{нз} \beta VT L_{нз}}{\beta LVT} = \psi_{нз} \cdot l_{нз};$$

$$\psi'_{цв} = \frac{V_{цв}}{\beta LVT} = \psi_{цв} \cdot l_{цв} = l_{кв};$$

$$\psi'_{кз} = \frac{V_{кз}}{\beta LVT} = \psi_{кз} \cdot l_{кз}$$

Рис. 3.6. График для определения относительной длины цилиндрической вставки моделей серии 60

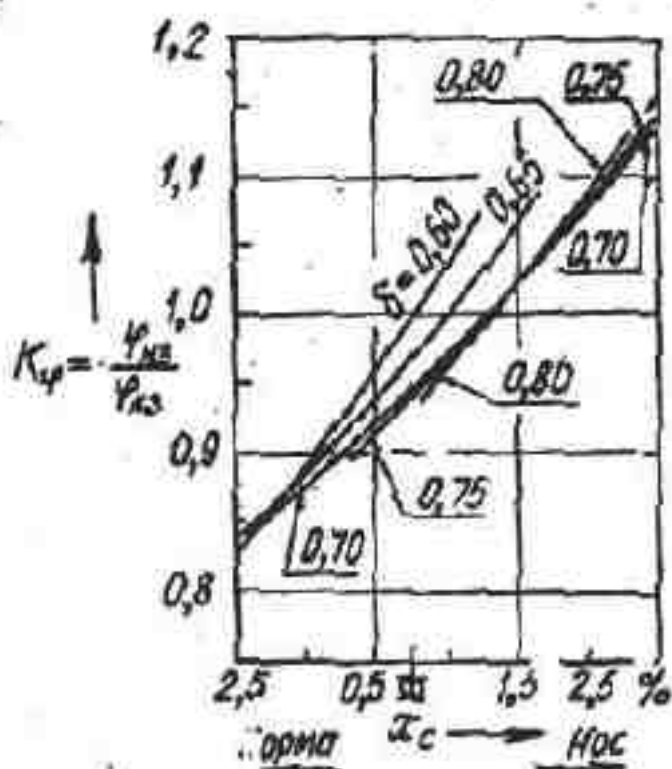
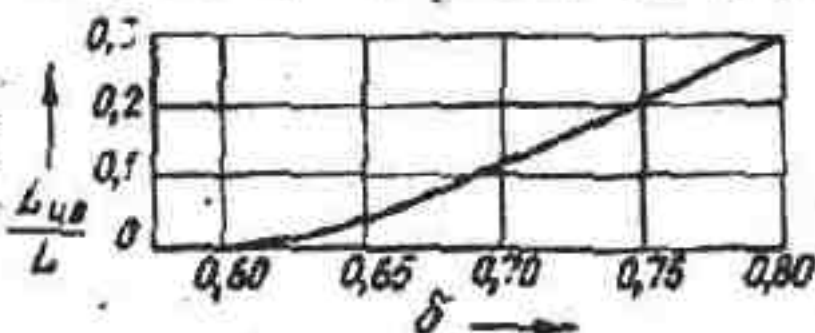


Рис. 3.5. График для определения отношения коэффициентов продольной полноты носового и кормового заострений  $K_\psi$  моделей серии 60

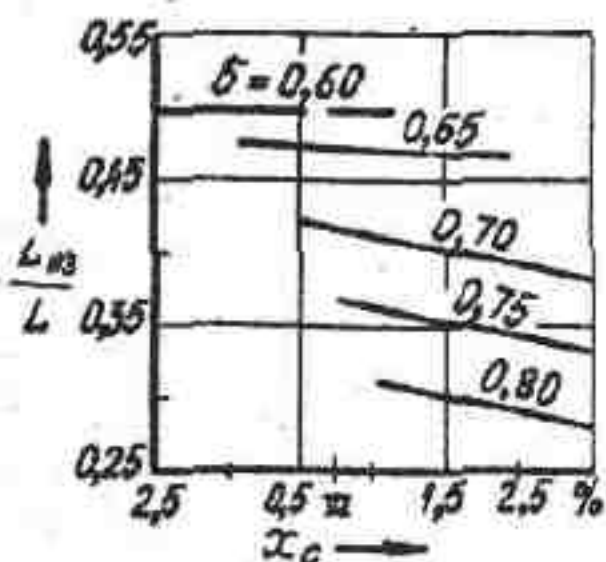


Рис. 3.7. График для определения относительной длины носового заострения моделей серии 60

Определение значений  $\gamma'_{нз}$  и  $\gamma'_{кз}$  осуществляется в функции от коэффициента продольной полноты нецилиндрической части корпуса  $\gamma'_3 = \gamma'_{нз} + \gamma'_{кз}$ , который, в свою очередь, находится в зависимости от  $\gamma$  по формулам, полученным на основе обработки статистической информации и экспериментов:

$$\gamma'_3 = \gamma$$

$$\gamma'_3 = 1,375 \gamma - 0,625 \gamma^2$$

при  $0 \leq \gamma < 0,6$  для судов без цилиндрической вставки ( $L_{цв} = 0$ );  
при  $0,6 < \gamma \leq 1,0$  для судов с цилиндрической вставкой.

После определения  $\gamma'_3$  величины  $\gamma'_{нз}$  и  $\gamma'_{кз}$  определяются по следующим формулам:

$$\gamma'_{нз} = 0,96 \cdot \gamma'_3$$

$$\gamma'_{кз} = 1,03 \cdot \gamma'_3$$

при  $0 \leq \gamma'_3 \leq 0,6$

$$\gamma'_{нз} = 0,275 \gamma'_3 + 1,153 \gamma'^2_3$$

$$\gamma'_{кз} = 1,596 \gamma'_3 - 0,858 \gamma'^2_3$$

при  $0,6 < \gamma'_3 < 0,75$ .

При этом в зависимости от полученных коэффициентов продольной полноты длины носового и кормового заострений выражаются как:



$$(L_{нз} + L_{кз}) = \frac{1 - \gamma}{1 - \gamma'_3} \cdot L ;$$

$$L_{нз} = \frac{1 - \frac{\gamma'_{кз}}{\gamma'_3}}{\frac{\gamma'_{кз}}{\gamma} - \frac{\gamma'_{нз}}{\gamma'_3}} (L_{нз} + L_{кз}) = \frac{1 - \frac{\gamma'_{кз}}{\gamma'_3}}{\frac{\gamma'_{кз}}{\gamma} - \frac{\gamma'_{нз}}{\gamma'_3}} \cdot \frac{1 - \gamma}{1 - \gamma'_3} \cdot L ;$$

$$L_{кз} = \frac{1 - \gamma}{1 - \gamma'_3} L - L_{нз}.$$

Абсцисса центра величины  $\bar{x}_c$  в зависимости от полученных по данной методике значений коэффициентов продольной полноты  $\gamma'_{но}$  и  $\gamma'_{кз}$  и длин носового и кормового заострений  $L_{но}$  и  $L_{кз}$  вычисляется исходя из геометрии строевой по шпангоутам по формуле:

$$\bar{x}_c = \frac{\gamma'_{но} \bar{x}_{снз} + \gamma'_{кз} \bar{x}_{скз} + 0.5 L_{но} \left( \frac{L_{но} + 2L_{кз}}{L} - 1 \right)}{\gamma},$$

где  $\bar{x}_{снз}$ ,  $\bar{x}_{скз}$  - абсциссы центра величины, соответственно объемов носового и кормового заострения;  $L_{цз} = (L - L_{но} - L_{кз})$  - длина цилиндрической вставки.

Абсциссы центра величины носового и кормового заострений определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_{снз} &= \frac{L}{2} - \gamma_n L_{нз}; \\ \bar{x}_{скз} &= \frac{L}{2} - \gamma_k L_{кз}. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

где коэффициенты  $\gamma_n$  и  $\gamma_k$  с достаточной точностью для обычных заостренных обводов можно определить по графику (рис. 3.8), полученному по стандартным моделям серии 60, в зависимости от  $\gamma'_{но}$  и  $\gamma'_{кз}$ .

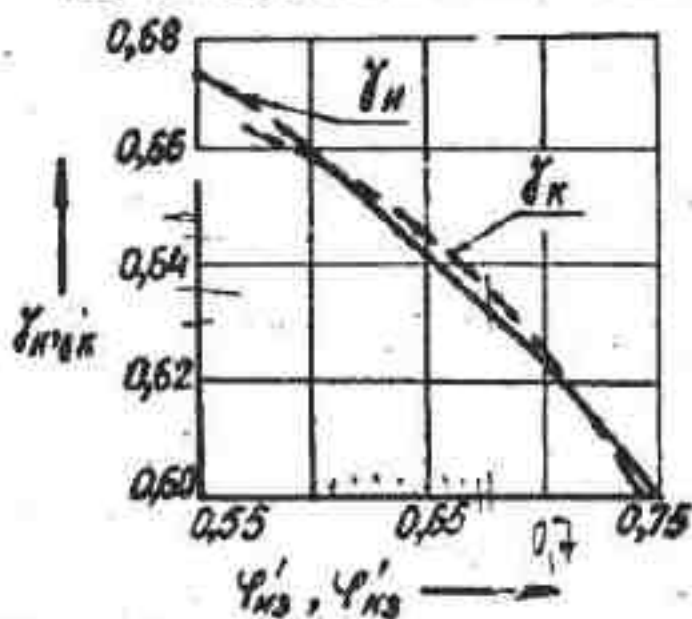


Рис. 3.8. Зависимости для определения коэффициентов  $\gamma_H$  и  $\gamma_K$  в функции коэффициентов продольной полноты ( $\psi'_{H3}$  и  $\psi'_{K3}$ )

шпангоутам (рис. 3.10), который заключается в построении вспомогательных трапений с одновременным определением положения шпангоута наибольшего сечения /10, 6/.

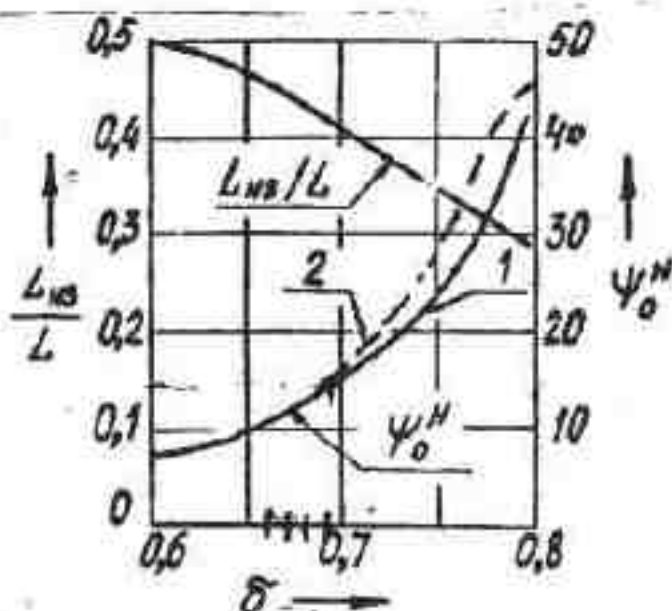


Рис. 3.9. Зависимости относительной длины носового заострения ( $L_{H3}/L$ ) и половинного угла носового заострения ГВЛ ( $\psi_0^H$ ) для моделей серии 60 от коэффициента продольной полноты: 1 - для носовых обводов с U - и U - V - образными шпангоутами; 2 - для носо-

Результаты вычислены для  $L_{H3}$  и  $L_{K3}$  могут быть сверены со стандартными значениями моделей серии 60, (рис. 3.6, 3.7 и 3.9), а значение абсциссы центра величины  $X_c$  - по графикам (см. приложение, рис П.7, П.9)

Для среднескоростных и смстроводных судов без цилиндрической вставки, для которых характерно значительное отстояние шпангоута наибольшего сечения в корму от мидель-шпангоута, удобнее использовать прием построения строезой по

Для корпусов судов с саниобразными кормовыми и заостренными носовыми обводами (см. табл. I.1 и I.2), у которых коэффициент полноты клинообразной грузовой ватерлинии при  $V_{пр} \rightarrow V$ , как правило,  $\alpha \geq 0,75$ , происходит перераспределение подводного объема в корму по сравнению с обычными заостренными в оконечностях обводами. Поэтому пользоваться формулами (3.1) для определения  $\gamma_H$  и  $\gamma_K$  можно только при значениях относительной абсциссы центра величины, полученных для корпусов именно этого типа. При этом значение коэффициента

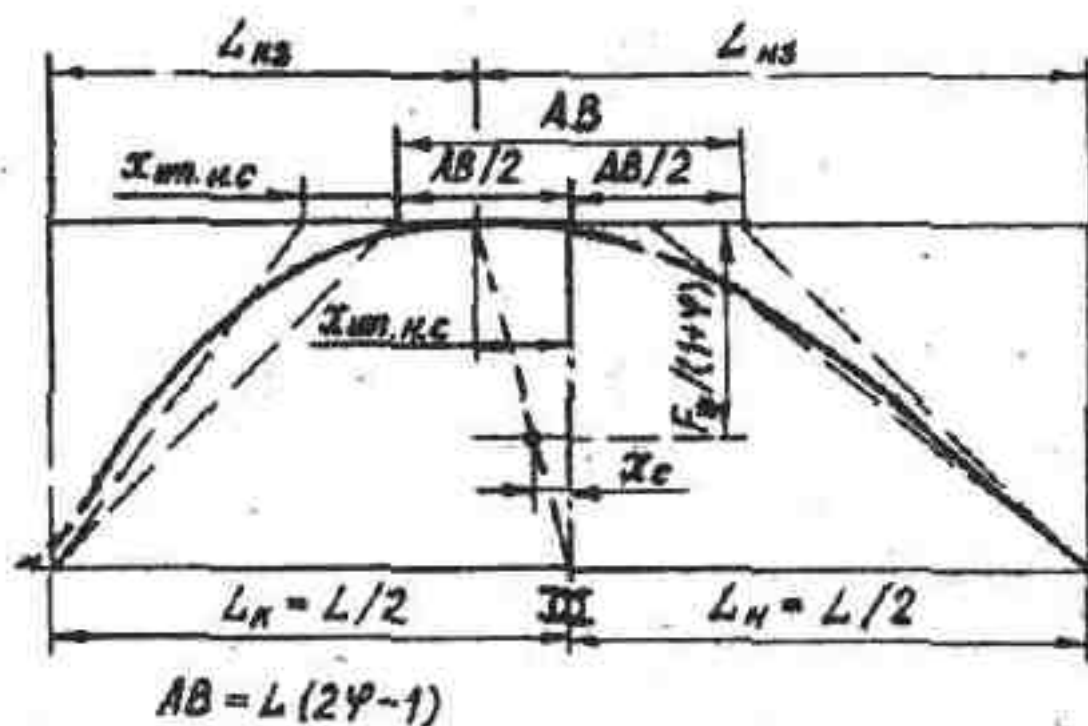


Рис. 3.10. Схема построения строевой по шпангоутам для корпусов без цилиндрической вставки

при  $X_c$  в формулах (3.1) следует принимать равным 3,21.

Особенностью разработки теоретического чертежа корпусов с самообразными кормовыми обводами является проектирование кормового скоса, в соответствии с параметрами которого строится кормовая ветвь строевой по шпангоутам.

Основными параметрами плоского кормового скоса (рис. 3.11) являются его боковая площадь ( $S_{ск}$ ), форма линии скоса (диаметрала), угол наклона ( $\psi_{ск}$ ), а также заглабление транза ( $Q_{тр}$ ).

Площадь кормового скоса можно с достаточной точностью определять по формуле

$$S_{ск} = \frac{BLT(1 - \psi_k)}{2},$$

где  $\psi_k$  - коэффициент полноты кормовой части корпуса.

Форма линии скоса может быть прямой, S-образной или выпуклой в зависимости от значений  $L/T$  и  $\psi_{ск}$ . Для судов, не имеющих существенного ограничения осадки, угол кормового скоса  $\psi_{ск}$  можно определять по графику (рис. 3.12) в зависимости от числа Фруда и соотношения  $L/T$ .

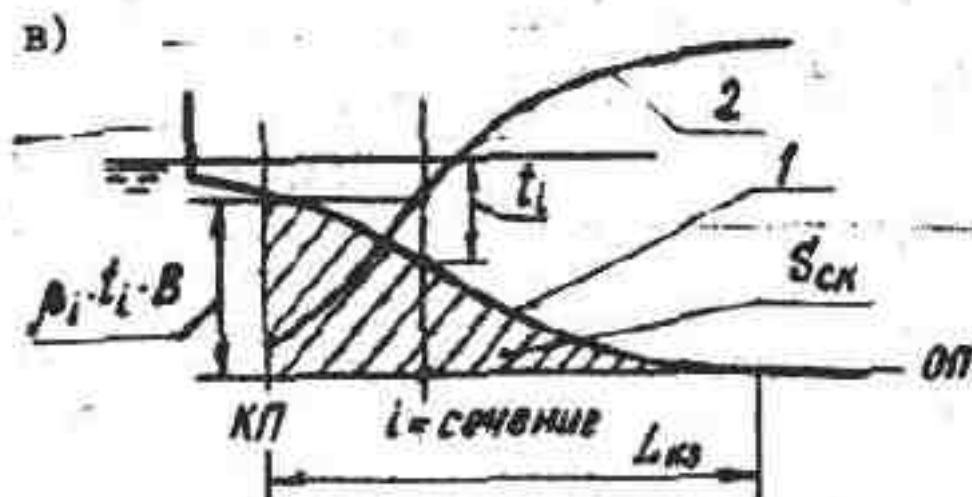
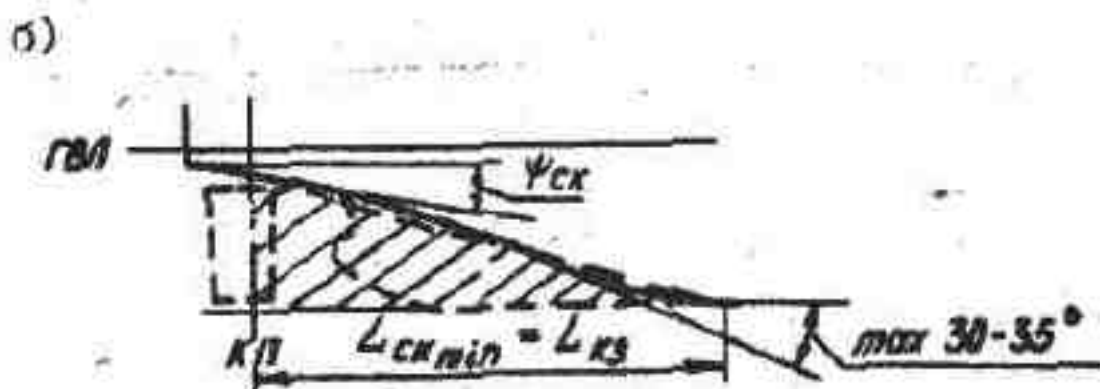
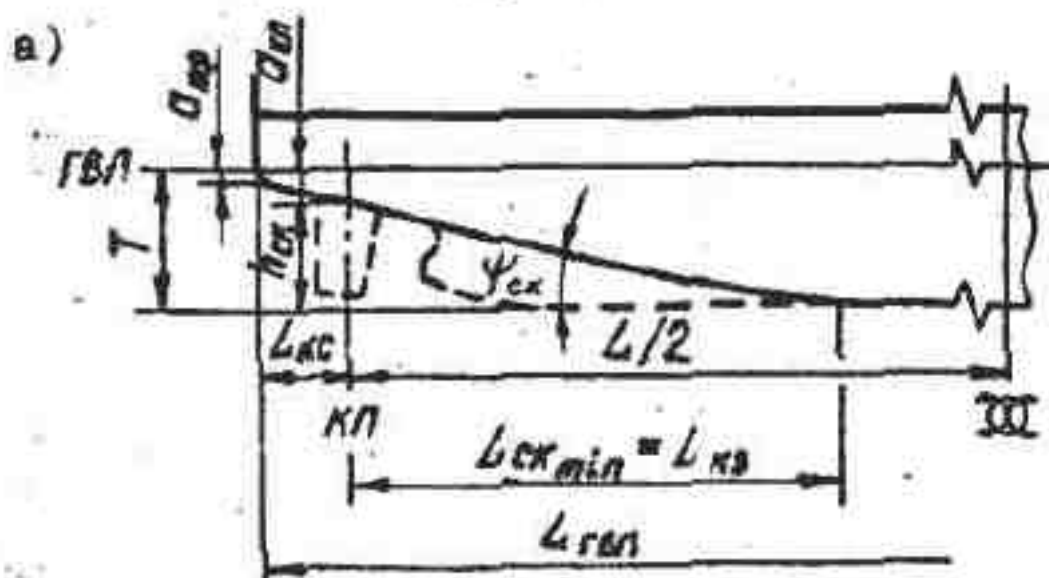


Рис. 3. II. Параметры плоского кормового скоса санеобразных обводов корпуса: а - с прямой линией скоса; б - с S - образной линией скоса; в - построение кормовой ветви стоевой по штангоутам по линии скоса; I - линия скоса; 2 - кормовая ветвь стоевой



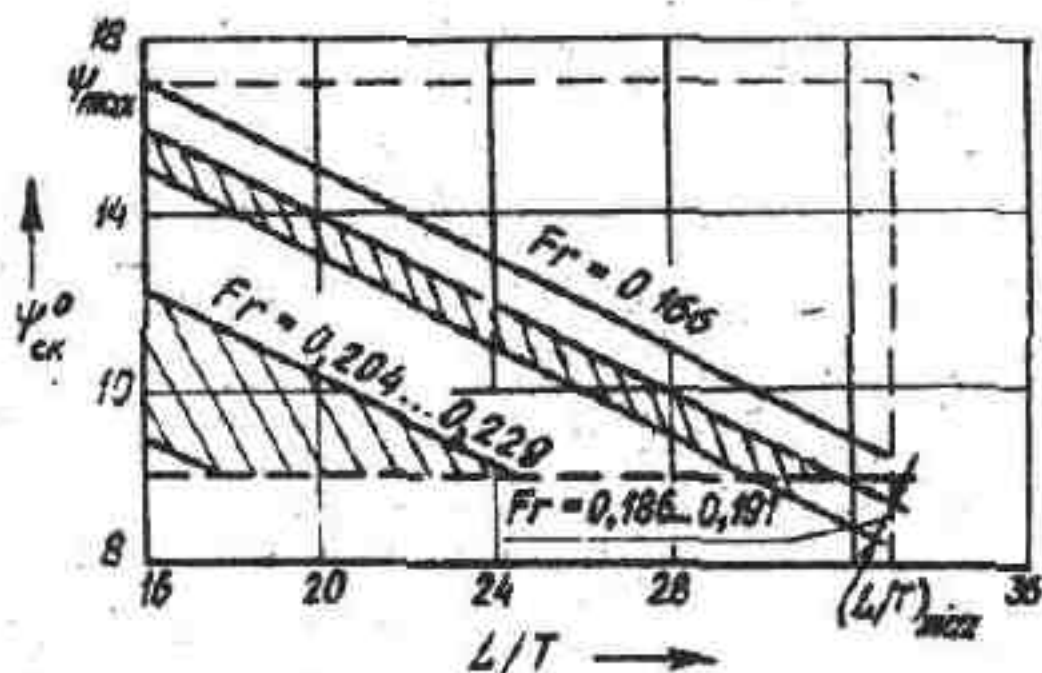


Рис. 3.12. Зависимость угла наклона кормового скоса ( $\psi_{ск}$ ) от соотношения  $L/T$  и числа Фруда ( $Fr$ ).

Заглубление транца  $A_{тр}$  можно в первом приближении принять, основываясь на статистических данных, равным  $A_{тр} = 0,01 \cdot T$ , где  $T$  — осадка судна в грузу. Однако величина  $A_{тр}$  оказывает влияние на буксировочное сопротивление корпуса, поэтому для более корректного определения заглубления транца можно воспользоваться рекомендациями [3].

Для судов, имеющих возвышение грузовой палубы над ГВЛ  $F_{гп} \geq 0,5$  м,  $A_{тр}$  можно определять по формуле

$$A_{тр} = 1,1 \beta T \bar{S}_{тр},$$

где  $\bar{S}_{тр} = S_{тр} / S_{д}$  — относительная площадь погруженной части транца, которую приближенно можно найти в зависимости от числа Фруда по формуле:

$$S_{тр} = 0,123 (Fr - 0,19) \quad \text{при } 0,36 > Fr \geq 0,19.$$

Для судов с  $Fr < 0,19$  заглубление транца можно принимать равным нулю. При этом минимальная длина кормового скоса, которая является длиной кормового заострения ( $L_{кз}$ ), составит

$$L_{ск\min} = \frac{2 \cdot S_{ск}}{T - A_{кз}}$$

где  $a_{кн}$  — заглубление корпуса на уровне кормового перпендикуляра (см. рис. 3.II), которое через  $\psi_{ск}$ ,  $a_{мп}$  и длину кормового свеса  $L_{кс} = L_{гва} - L$  определяется по формуле

$$a_{кн} = a_{мп} + \operatorname{tg} \psi_{ск} \cdot L_{кс}.$$

Длину кормового свеса для рассматриваемых корпусов можно принимать в среднем  $L_{кс} = 0,036 \cdot L$ .

Линия кормового свеса по полученным параметрам строится как показано на рис. 3.II. При построении  $S$  — образной линии кормового свеса угол свеса ( $\psi_{ск}$ ) в любом случае должен соблюдаться в районе кормового перпендикуляра (кормовое гребное винта), а угол наклона касательной в любой точке кривой к основной плоскости не должен приниматься более  $30 - 35^\circ$  во избежание интенсивного вихреобразования.

При автоматизированном проектировании судна в случае использования прямой линии кормового свеса можно достаточно точно определять  $\psi_{ск}$  в зависимости от его параметров

$$\psi_{ск} = 1 - \frac{(T - a_{кн})^2}{L T \beta \operatorname{tg} \psi_{ск}} = 1 - \frac{(T - a_{мп} - \operatorname{tg} \psi_{ск} L_{кс})^2}{\beta L T \operatorname{tg} \psi_{ск}}.$$

После определения таким образом  $\psi_{ск}$  коэффициент продольной полноты носовой части корпуса ( $\psi_N$ ) определяется как  $\psi_N = 2\psi - \psi_{ск}$ , где коэффициент продольной полноты  $\psi$  для корпусов рассматриваемого типа можно определять как по специальным графикам, так и по зависимостям, применяемым для проектирования обычных обводов.

Минимальная длина кормового заострения и соответствующий ей коэффициент продольной полноты оцениваются по следующим приближенным формулам:

$$L_{кз} \approx \frac{T - \operatorname{tg} \psi_{ск} L_{кс}}{\operatorname{tg} \psi_{ск}};$$

$$\psi_{ск} \approx 1 - \frac{(T - a_{мп} - \operatorname{tg} \psi_{ск} L_{кс})^2}{2 \operatorname{tg} \psi_{ск} \beta L_{кз} T}.$$

При известных значениях  $L_{нз}$  и  $\gamma_{нз}$ , которые определяются как для обычных корпусов, абсцисса центра величины определяется по формуле:

$$x_c = \frac{L_{нз} \gamma_{нз} x_{снз} + L_{кз} \gamma_{кз} x_{скз} + L_{цс} \left( \frac{L_{нз} - L}{2} + L_{кз} \right)}{\gamma \cdot L}, \quad (3.7)$$

где абсциссы центра величины объемов носового и кормового заострения  $x_{снз}$  и  $x_{скз}$  можно определять по формулам (3.6).

После определения  $x_c$  по (3.7), ее значение необходимо во избежание случайных ошибок проверить по графикам (см. приложение, рис П.7, П.9).

Общая длина цилиндрической вставки для корпусов с заостренными носовыми и санообразными кормовыми обводами, как правило, несколько больше, чем у обычных корпусов за счет кормовой части ( $L_{кз}^k$ ) цилиндрической вставки.

Для корпусов судов с цилиндрическими носовыми обводами, по сравнению с заостренными, происходит перераспределение подводного объема в нос (при одинаковых кормовых обводах). При этом пользоваться для определения  $\gamma_n$  и  $\gamma_k$  формулами (3.1) можно, если есть достоверная информация о расположении центра величины и значениях вспомогательного коэффициента для таких корпусов. В противном случае целесообразно определять непосредственно коэффициент продольной полноты носовой части корпуса ( $\gamma_n$ ), имея предварительно построенную носовую часть ГВЛ:

$$\gamma_n = \frac{\left( \frac{L}{2} - L_{нз} \right) BVT + S_{нз}^{вА} T \cdot K}{\frac{L}{2} VT},$$

где  $L_{нз}$  - длина носового заострения корпуса;  $S_{нз}^{вА}$  - площадь ГВЛ в районе носового заострения;  $K$  - коэффициент, учитывающий скрутление обводов в районе скулы, который в первом приближении можно принимать в диапазоне 0,93...0,97.

Радиус скрутления цилиндрических обводов в районе скулы ( $R_{ск}$ ) для судов с большим отношением радиуса цилиндра к ширине ( $R_{ц}/B$ ) значительно увеличивается по мере прибли-



нения к носовому перпендикуляру. Поэтому значения коэффициента  $K$  в этом случае необходимо принимать по нижнему пределу указанного диапазона.

Площадь ГВЛ в районе носового заострения для круглых носовых обводов с радиусом  $R_{\text{н}}$ , может быть вычислена аналитически (см. приложение, рис. П.5). В общем случае выражение для определения  $S_{\text{нз}}^{\text{вд}}$  может быть представлено в виде

$$S_{\text{нз}}^{\text{вд}} = K_{\text{вд}} \left[ \frac{(L_{\text{нз}} - R_{\text{н}})(2R_{\text{н}} + B) + \pi R_{\text{н}}^2}{2} \right], \quad (3.8)$$

где  $K_{\text{вд}} > 1$  - коэффициент, учитывающий скругление ватерлинии у начала цилиндрической вставки, который ориентировочно можно оценивать по усредненной зависимости (см. приложение, рис. П.6).

Для других цилиндрических обводов, где в качестве образующих цилиндрической поверхности используются более сложные кривые (параболы и пр.), площадь  $S_{\text{нз}}^{\text{вд}}$  проще вычислять приближенными способами интегрирования по ординатам ГВЛ.

Коэффициент продольной полноты кормовой части корпуса ( $\gamma_{\text{к}}$ ) при известном значении  $\gamma_{\text{н}}$  определяется как:

$$\gamma_{\text{к}} = 2\gamma - \gamma_{\text{н}},$$

где  $\gamma$  - коэффициент продольной полноты для обычных корпусов повышенной полноты (с заостренными обводами в оконечностях) или корпусов рассматриваемого типа.

Коэффициент продольной полноты носового заострения в случае необходимости определяется по формуле:

$$\gamma_{\text{нз}} = \frac{S_{\text{нз}}^{\text{вд}} \cdot k}{L_{\text{нз}} \cdot B}$$

Для корпусов с цилиндрическими носовыми обводами длина носовой части цилиндрической вставки корпуса  $L_{\text{нз}}$  может быть выбрана большей, чем для обычных корпусов, что будет определяться формой носового цилиндра и его относительными размерами.

После построения строевой по шангоугам в случае определения  $\gamma_{\text{н}}$  по форме носовой части ГВЛ, строевую целесообразно проверить на положение центра валиции по графиком (см. приложение П.9) на наличие случайных ошибок.



В случае проектирования формы корпуса с сочетанием носовых цилиндрических и кормовых санообразных обводов и при отсутствии информации о коэффициентах продольной полноты для таких корпусов, необходимо формировать корпус путем отдельного проектирования его носовой и кормовой частей, используя вышеприведенную методику. При этом общий коэффициент продольной полноты корпуса будет получаться как  $\gamma = (\gamma_n + \gamma_k)/2$ .

Форма носовой и кормовой ветвей строевой по шпангоутам определяется, в первую очередь, выбранной формой обводов корпуса и, во вторую очередь, зависит от числа Фруда. Кроме того, при построении строевой необходимо учитывать возможное наличие в носу бульбовых наделок и тип кормовой оконечности корпуса (тип кормы).

Накопленный опыт проектирования судов позволяет представить следующие рекомендации по выбору формы строевой в носу. Для корпусов с цилиндрическим носом носовая ветвь строевой по шпангоутам делается слегка выпуклой (рис. 3.13, б) при  $0,18 < Fr < 0,20$  и явно выпуклой (рис. 3.13, а) при  $Fr \leq 0,18$ . Для корпусов с санообразными носовыми сводами она близка к прямой (рис. 3.13, в), а для корпусов с ложкообразным носом — слегка выпуклая (рис. 3.13, б). Для корпусов с заостренно-ложкообразными носовыми обводами носовую ветвь строевой следует принимать явно вогнутой (S-образной) (рис. 3.13, д).

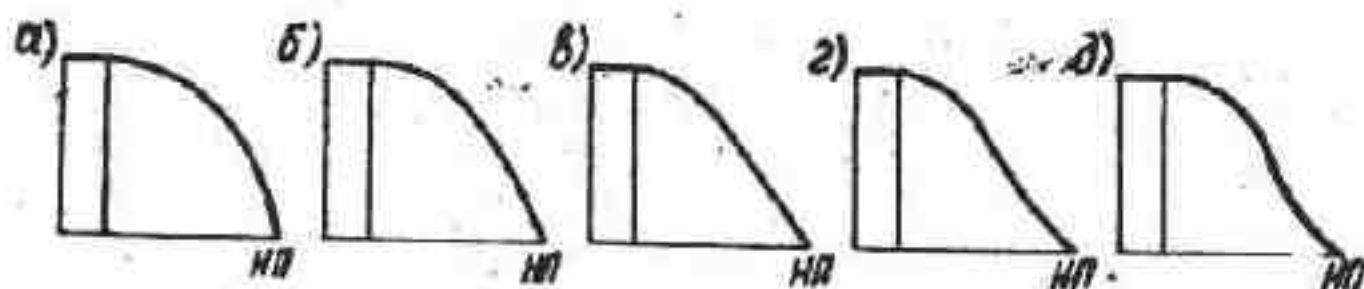


Рис. 3.13. Возможные формы ветвей строевой по шпангоутам: а — явно выпуклая; б — слегка выпуклая; в — прямая; г — слегка вогнутая; д — явно вогнутая

Для обычных корпусов с заостренными носовыми обводами, для которых характерно широкое изменение числа Фруда, форма строевой в носу может быть выбрана согласно следующим рекомендациям /1, 2, 7/:

- при  $Fr < 0,22$  - прямая (рис. 3.13,в);  
 при  $0,22 < Fr < 0,28$  - явно вогнутая ( $S$  - образная (рис. 3.13,д);  
 при  $Fr > 0,28$  - слегка вогнутая (рис. 3.13,г).

Для корпусов с носовыми бульбовыми наделками при построении строевой по шпангоутам на нулевом шпангоуте, соответствующем носовому перпендикуляру, откладывается площадь бульба  $S_b$  (см. рис. 2.2). При известном дополнительном выдвиге бульба относительно носового перпендикуляра  $L_b$  (см. рис. 2.1) носовая ветвь строевой строится преобразованием ветви, построенной без учета бульба, как показано на рис. 3.14. При этом в выравнивании площадей строевой площадь ее  $V_b$  перед носовым перпендикуляром, как правило, не учитывается и идет в запас объемного возмещения  $V$ .

Как видно из рис. 3.14, наличие бульбовой надделки придает носовой ветви строевой выгнутость (двойную  $S$  - образность).

По выбору формы строевой по шпангоутам в корме можно привести следующие рекомендации.

Для корпусов с заостренными или заостренно-усеченными кормовыми обводами при  $V$  - образных или овальных (ложкообразных) шпангоутах (см. табл. 1.2) кормовая ветвь строевой по шпангоутам делается слегка выгнутой (см. рис. 3.13,б).

Для корпусов с заостренными или заостренно-усеченными обводами при  $U$  - образных шпангоутах или санообразными обводами, как правило, близка к прямой (см. рис. 3.13,в) или слегка вогнутая (см. рис. 3.13,г). При этом особенностью для санообразных обводов является то, что, в общем случае, форма кормовой ветви строевой по шпангоутам полностью определяется формой линии скоса и строится как показано на рис. 3.11,б.

Коэффициенты полноты шпангоутов  $i$  - го сечения ( $\beta_i$ ) в районе плоского кормового скоса можно определять при условии постоянного радиуса скругления скулы  $R_{ск}^*$  по формуле

$$\beta_i = 1 - \frac{R_{ск}^{*2}}{2,52 B t_i} \quad \text{при } t_i \geq R_{ск}^*$$

Для корпусов с тоннельными и заостренными или заостренно-усеченными обводами при  $U - V$  - образных шпангоутах используются только вогнутые (см. рис. 3.13, г, д) ветви строевой.

При построении кормовой ветви строевой по шпангоутам для кормы эллиптического типа (см. табл. 2.4) на уровне кормового перпендикуляра (20-го теоретического шпангоута) площадь шпангоута принимается равной нулю, тогда как для остальных типов кормы - откладывается площадь 20-го шпангоута  $S_{кп}$  (рис. 3.15), которая в общем случае зависит от типа кормы, ширины ГВЛ на уровне кормового перпендикуляра ( $B_{кп}$ ) и отношения диаметра гребного винта к осадке ( $D_g/T$ ) для одновальных судов.

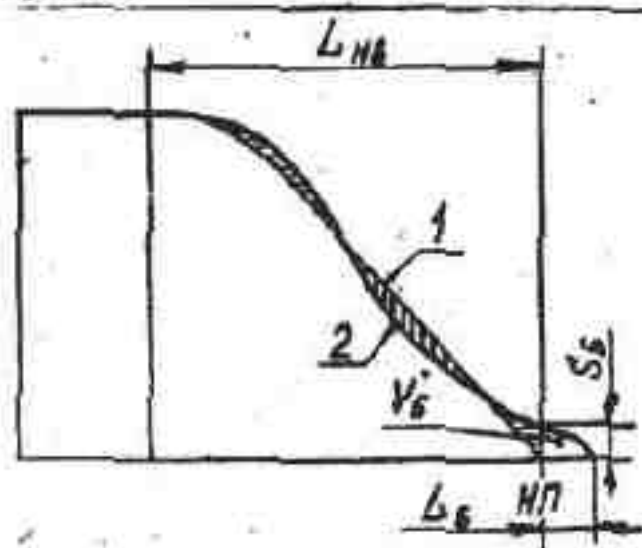


Рис. 3.14. Перестроение носовой ветви строевой по шпангоутам с учетом наличия бульба с параметрами  $S_б$  и  $L_б$ : 1 - без бульба; 2 - с учетом бульба

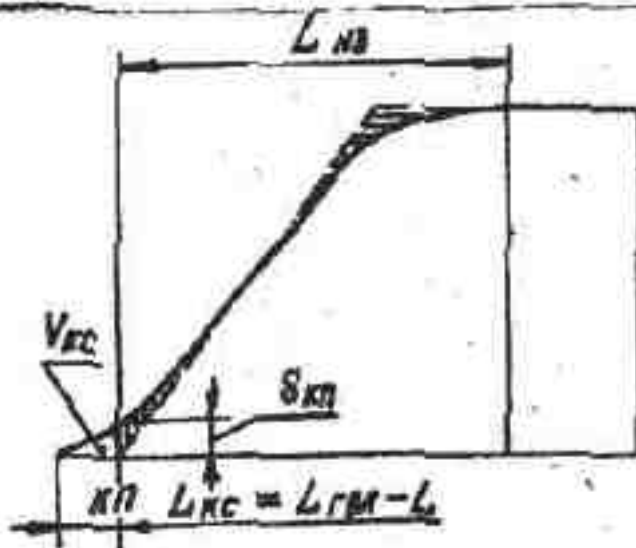


Рис. 3.15. Перестроение кормовой ветви строевой по шпангоутам с учетом наличия кормового свеса

Для корпусов с крейсерской и транцевой кормой отстроить кормовую ветвь строевой по шпангоутам можно двумя путями: либо сначала без учета площади 20-го шпангоута, а потом ее перестраивать; либо сразу вести ветвь с учетом  $S_{кп}$ , выравнивая площади, отсекаемые ею от площадей принятых вспомогательных многоугольников (см. рис. 3.15). Площадь кормового свеса ( $V_{кп}$ ) при выравнивании площадей, как правило, не учитывается и идет в запас объемного водоизмещения.

При известных ширине ГВЛ на уровне кормового перпендикуляра ( $B_{кп}$ ) и длине приближения корпуса в этом районе ( $T_{кп}$ )



(см. рис. 2.3, а), определяемом при проектировании формы ахтерштевня с учетом выбранного винто-рулевого комплекса, площадь 20-го шпангоута можно ориентировочно определить по формуле:

$$S_{кп} = K_S \frac{V_{кп} T_{кп}}{2},$$

где  $K_S = 1,0 - 1,1$ .

Для скошенной транцевой кромки санеобразными обводами (см. табл. 2.4) площадь 20-го теоретического шпангоута можно приближенно определить по формуле

$$S_{кп} \approx 0,9 V_{кп} \cdot a_{тр},$$

где  $a_{тр}$  - заглубление транца (см. рис. 3.11).

Длину кормового свеса ( $L_{кс}$ ), равную разности длин по ГВЛ и между перпендикулярами (см. рис. 3.15), если нет дополнительных условий, можно в первом приближении принимать:

$L_{кс} = 0,035 \cdot L$  с учетом расположения винто-рулевого комплекса судна.

После предварительного построения строевой по шпангоутам обязательно производится ее проверка на объемное водоизмещение ( $V$ ) и абсциссу центра величины ( $X_c$ ) путем приближенного интегрирования по ординатам. В случае существования разницы в значениях этих характеристик, что особенно вероятно для  $X_c$ , необходимо корректировать смещение центра тяжести фигуры строевой за счет, во-первых, изменения кривизны ее носовых и кормовых ветвей (если это возможно) и, во-вторых, за счет изменения длины и положения цилиндрической вставки.

### 3.2. Разработка грузовой ватерлинии

Грузовая ватерлиния в целом проектируется аналогично строевой по шпангоутам.

Для непосредственного построения грузовой ватерлинии обычно используют следующие исходные данные:



- 1) коэффициент полноты ГВЛ ( $\alpha$ );
- 2) длину цилиндрической вставки ( $L_{цв}$ ) и ее положение по длине судна, либо положение шпангоута наибольшего сечения для судов без цилиндрической вставки;
- 3) форму носовой и кормовой ветвей ГВЛ;
- 4) углы заострения ГВЛ в оконечностях ( $\psi_0$ ) для заостренных ватерлиний.

Для обычных заостренных с обеих сторон ватерлиний построение ГВЛ ведется по схеме (см. рис. 3.3), для которой:

$$x_n = (2\alpha_n - 1)L_n; \quad x_k = (2\alpha_k - 1)L_k;$$

$$x_{n_1} = \alpha_n \cdot L_n; \quad x_{k_1} = \alpha_k \cdot L_k,$$

где  $\alpha_n$  и  $\alpha_k$  - коэффициенты полноты носовой и кормовой частей ГВЛ относительно мидель-шпангоута, определение которых обычно начинают с  $\alpha_n$ , после чего коэффициент полноты кормовой части ГВЛ при  $L_n = L_k = L/2$  находится как  $\alpha_k = 2\alpha - \alpha_n$ .

Коэффициент полноты носовой части заостренной ГВЛ ( $\alpha_n$ ) можно определять по следующим формулам /1, 2/:

- 1) А. Л. Богданова

$$\alpha_n = 0,75 \psi_n + 0,23 \pm 0,03, \quad (3.9)$$

где  $\psi_n$  - коэффициент продольной полноты носовой части корпуса:

- 2)  $\alpha_n = 1,7\alpha - 0,6 \pm 0,03$  при  $\alpha = 0,70 - 0,87$ ;

- 3) Лиделя

$$\alpha_n = \alpha_n \cdot \psi^{2/3}$$

где  $\alpha_n = 0,900 - 0,975$  (по моделям серии 60).

Дополнительно можно рекомендовать  $\alpha_n$  для малых значений коэффициента полноты ГВЛ  $0,4 \leq \alpha \leq 0,6$  /2/

$$\alpha_n = 0,63 \pm 0,03.$$

Прямых рекомендаций по выбору длин носового и кормового заострений ГВЛ ( $L_n^{за}$  и  $L_k^{за}$ ) нет, однако он обычно производится непосредственно при построении ГВЛ с учетом длины носо-

вой и кормовой частей цилиндрической вставки корпуса, формы ветвей и углов заострения грузовой ватерлинии в оконечности.

Для обжитых заостренных обводов можно предложить следующие формы носовой ветви ГВЛ (рис. 3.16) /1, 2, 7/:

- при  $Fr \leq 0,16$  - выпуклые;
- при  $0,16 \leq Fr < 0,19$  - прямые;
- при  $0,19 \leq Fr < 0,22$  - прямые или выпуклые;
- при  $0,22 \leq Fr < 0,32$  - слегка вогнутые;
- при  $Fr > 0,32$  - прямые.

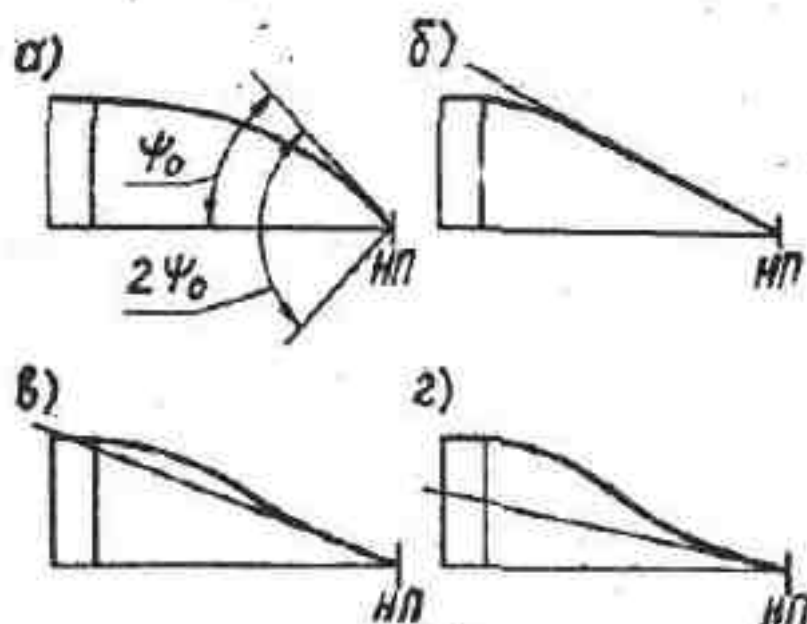


Рис. 3.16. Возможные формы ветвей грузовой ватерлинии: а - выпуклая; б - прямая; в - слегка вогнутая; г - вогнутая

Форму кормовой ветви заостренной ГВЛ рекомендуется выбирать выпуклой или прямой (см. рис. 3.16, а, б). Любая  $\delta$  - обрешетка, характерная для вогнутых ватерлиний, не желательна для кормовой части ГВЛ ввиду значительного возрастания вихревого сопротивления корпуса.

Углы заострений ГВЛ в оконечностях оказывают большое влияние на буксировочное сопротивление корпуса с заостренными в оконечностях обводами. Поэтому при проектировании ГВЛ особое внимание следует уделять определению угла носового заострения  $\psi_0$ , который рассматривается обычно половинным (см. рис. 3.16, а) и определяется в зависимости от коэффициентов общей полноты ( $\delta$ ) и продольной полноты носовой части корпуса ( $\psi_n$ ).

Для заостренно-ложкообразных носовых обводов используется вогнутая форма носовой ветви ГВЛ, для ложкаобразных обводов - выпукло-закругленная форма ГВЛ, близкая к параболе, а для цилиндрических обводов - прямая закругленная или выпукло-закругленная в зависимости от формы образующей цилиндрической поверхности (см. табл. I.1 и рис. I.2, а).

В первом приближении  $\Psi_0''$  можно определять по графикам (см. рис. 3.9, 3.17) в зависимости от  $\delta$  и в зависимости от  $\Psi_H$  (рис. 3.18), а также по табл. 3.1 [1,6/].

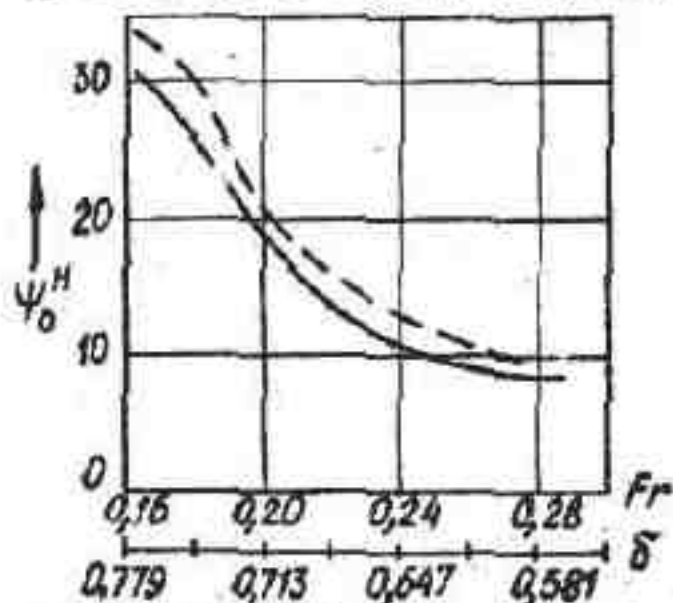


Рис. 3.17. Зависимости для определения угла носового заострения ГВЛ ( $\Psi_0''$ ) в функции  $Fr$  и  $\delta$ : — по порядку; — — — по Линдбладу

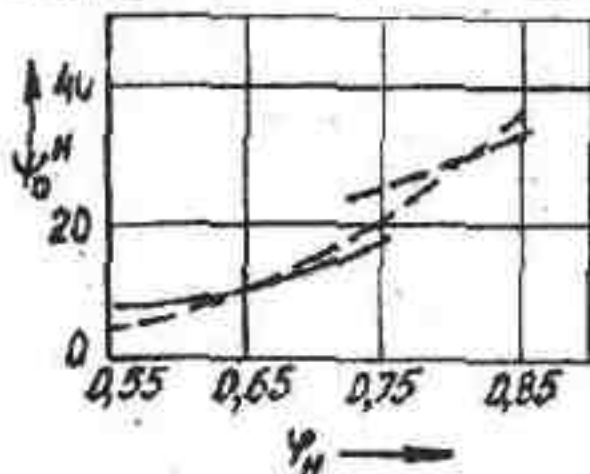


Рис. 3.18. Зависимости для определения угла носового заострения ГВЛ ( $\Psi_0''$ ) в функции коэффициента продольной полноты носовой части корпуса ( $\Psi_H$ ): — — — Вагенингенского бассейна; — — — по формуле Гроссета-Лапа  $\Psi_0'' = 62,5 - 250\Psi_H(1 - \Psi_H)$

Данные рекомендации справедливы, главным образом, для носовых заостренных обводов с U- или U-V-образными шпангоутами. Применение V-образных шпангоутов позволяет несколько увеличить углы заострения ГВЛ в носу ввиду отвода части набегающего потока на обтекание по батоксам. В первом приближении верхний предел углов заострения ( $\Psi_0''$ ) для таких обводов можно оценивать по графику (см. рис. 3.9, штриховая линия) в зависимости от  $\delta$ .

Таблица 3.1

Значения углов носового заострения ГВЛ

Коэффициент общей полноты $\delta$	Угол носового заострения $\Psi_0''$ , град.
0,60	8
0,65	9
0,70	13
0,75	22
0,80	36



В случае использования ложкообразных носовых обводов угол носового заострения ГВЛ может быть увеличен практически до  $90^\circ$  (как у цилиндрических носовых обводов) (см. табл. I.1).

При выборе угла  $\Psi_0^H$  для среднескоростных и быстроходных судов, имеющих острые носовые обводы, необходимо учитывать его минимальный уровень, регламентируемый технологическими требованиями. По опыту проектирования судов и кораблей угол  $\Psi_0^H$  не рекомендуется принимать менее  $7 - 8^\circ$ .

Угол заострения кормовой ветви ГВЛ ( $\Psi_0^K$ ) регламентируется для заостренных (или в некоторых случаях заостренно-усеченных) кормовых обводов с крейсерской или эллиптической кормой (см. табл. I.2 и I.4), причем принимается верхний предел этого угла.

Для кормовых обводов с  $U$ -образными шпангоутами максимальный угол заострения  $\Psi_0^K$  желательно принимать не более  $20 - 25^\circ$ , с  $U-V$ - и  $V$ -образными шпангоутами  $25 - 30^\circ$  и с овальными шпангоутами порядка  $50^\circ$ .

Методически построение носовой ветви ГВЛ при известных форме ветви, угле  $\Psi_0^H$  и длине носового заострения корпуса ( $L_{из}$ ) необходимо производить в следующей последовательности:

1) построить вспомогательные четырехугольники  $AKCE$  и  $AMCE$  с коэффициентом полноты  $\alpha_n$  и прямую из точки  $A$  носового перпендикуляра под углом  $\Psi_0^H$  к  $MP$ , касательную к будущей ветви ГВЛ (рис. 3.19);

2) провести из точки  $A$  ветвь ГВЛ заданной формы с учетом вспомогательных четырехугольников эквивалентной площади, стремясь закончить ее, не доходя до точки  $B$  (или, по крайней мере, в ней), которая соответствует длине носового заострения корпуса. При этом площадь ГВЛ, ограниченная построенной ветвью, должна быть равна площади вспомогательных четырехугольников.

При такой последовательности построения носовой ветви ГВЛ может возникнуть случай, когда при заданных форме и угле  $\Psi_0^H$  ветвь закончится за точкой  $B$ . Это будет свидетельствовать о наличии некоторых противоречий в проектировании теоретического чертежа и потребует к промышленным корректировочным решениям. Самым простым таким решением можно считать



изменение формы носовой ветви ГВЛ. Если этого будет недостаточно для завершения ветви ГВЛ до точки В (возможности изменения ветви ГВЛ являются иногда весьма ограниченными) можно пойти на уменьшение длины носовой части цилиндрической вставки корпуса ( $L_{\text{нз}}^{\text{н}}$ ) или, что одно и то же, увеличение длины его носового заострения. В крайнем случае, что наименее желательно, увеличивают угол заострения ГВЛ ( $\Psi_0^{\text{н}}$ ).

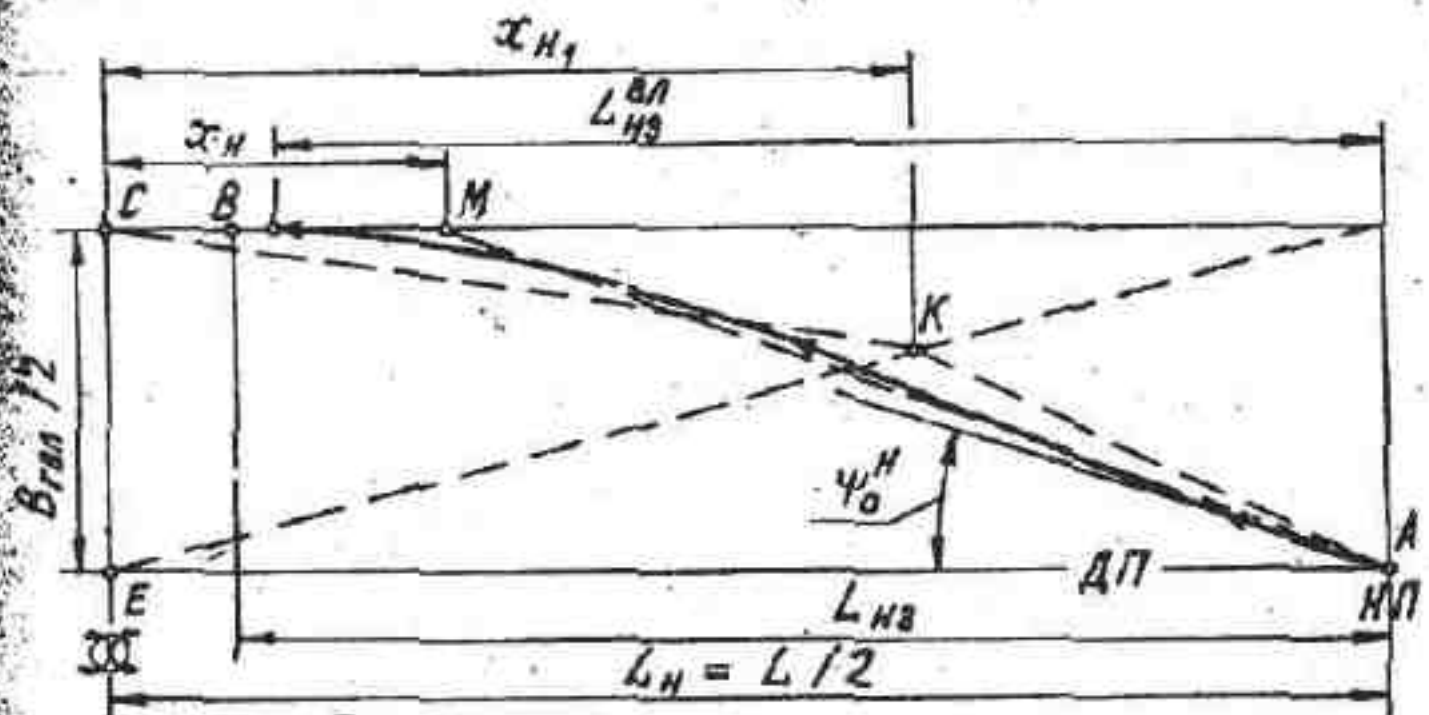


Рис. 3.19. Схема построения носовой ветви ГВЛ

При построении кормовой ветви ГВЛ максимальным углом заострения ( $\Psi_0^{\text{к}}$ )<sub>max</sub>, как правило, задаются как исходным, но при этом необходимо иметь предварительную информацию о длине кормового свеса  $L_{\text{кз}} = L_{\text{гва}} - L$  для крейсерской и транцевой корм, которая впоследствии может подвергаться проверке при проектировании руля для выбранного типа корпуса.

Методически построение кормовой ветви ГВЛ при принятой системе вспомогательных четырехугольников и выбранной ее форме удобнее проводить от точки А (рис. 3.20), от которой предварительно проводится линия под максимальным углом кормового заострения ( $\Psi_0^{\text{к}}$ )<sub>max</sub>. Ватерлиния должна вестись так, чтобы от многоугольников КМFO и КNFO отсекались эквивалентные площади и она закончилась, не доходя точки В (либо, по крайней мере, в ней), которая соответствует началу кормового заострения корпуса  $L_{\text{кз}}$ .

При этом ширина ГВЛ на уровне кормового перпендикуляра (20-го теоретического шпангоута) ( $B_{кп}$ ) получается автоматически, а площадь ГВЛ за кормовым перпендикуляром ( $S_{ке}$ ) не учитывается в выравнивании площадей, так как при проектировании судна коэффициенты полноты грузовой ватерлинии определяются по расчетной длине между перпендикулярами  $L$ .

В связи с достаточно жесткими ограничениями максимально-го угла кормового заострения ГВЛ ( $\Psi_0^к$ )<sub>max</sub> при полных кормовых обводах тихоходных судов (при больших значениях  $\alpha_k$ ), возможен произвольный переход с крейсерской кормы на крейсерско-транцевую, как это показано на рис. 3.2I, или в рамках крейсерской кормы — на ложкообразные обводы с овальными шпангоутами, позволяющие значительно увеличить  $\Psi_0^к$  (см. табл. I.2). При этом для первого случая ширина ГВЛ на уровне кормового перпендикуляра ( $B_{кп}$ ) будет определять ширину транца ( $B_{тр}$ ) корпуса судна.

Все приведенные рекомендации по построению ГВЛ рассмотрены применительно к обычным заостренным с обеих сторон ватерлиниям, соответствующим заостренным носовым и кормовым обводам (см. рис. I.2, а).

В случае использования цилиндрических носовых обводов или заостренно-усеченных и саванообразных кормовых (или тоннельных), при которых ватерлиния приобретает усеченную с кормы или клинообразную форму, построение ГВЛ заметно усложняется ввиду отсутствия, с одной стороны, надежных статистических зависимостей для определения коэффициентов полноты таких ватерлиний, и, с другой стороны, конкретных методов по их построению. В такой ситуации необходимо особенно остановиться на особенностях проектирования ГВЛ таких форм.

### 3.2.I. Заостренная с обеих сторон ГВЛ корпуса с цилиндрическим носом

В случае, если коэффициент полноты ГВЛ (см. рис. I.2, а) известен, можно определить вспомогательные коэффициенты  $\alpha$  и  $\alpha_n$  для обычной заостренной ГВЛ этого же судна, необходимые для выделения из  $\alpha^к$  коэффициента полноты кормовой части ГВЛ ( $\alpha_k$ ).

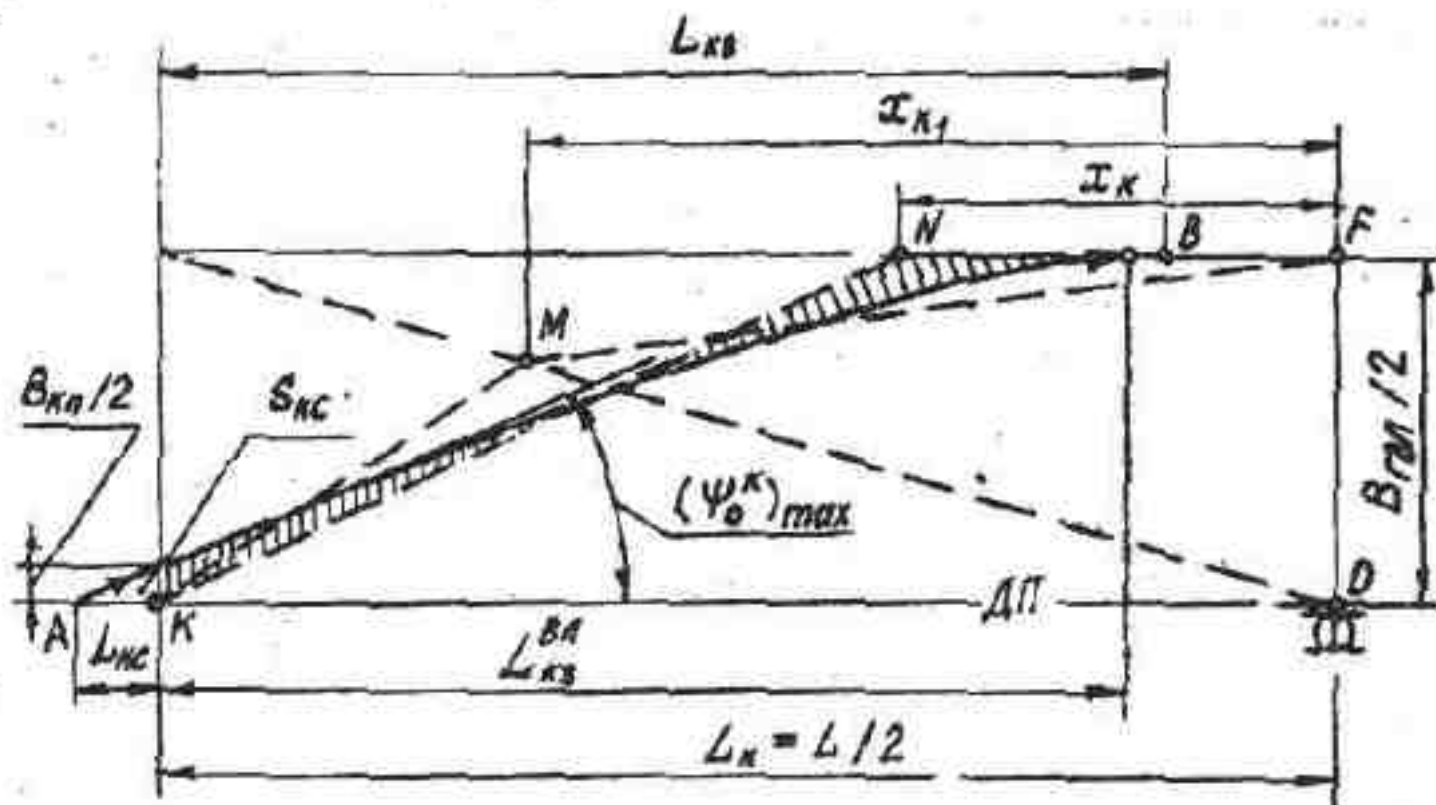


Рис. 3.20. Схема построения кормовой ветви ГМ для судна с крейсерской кормой

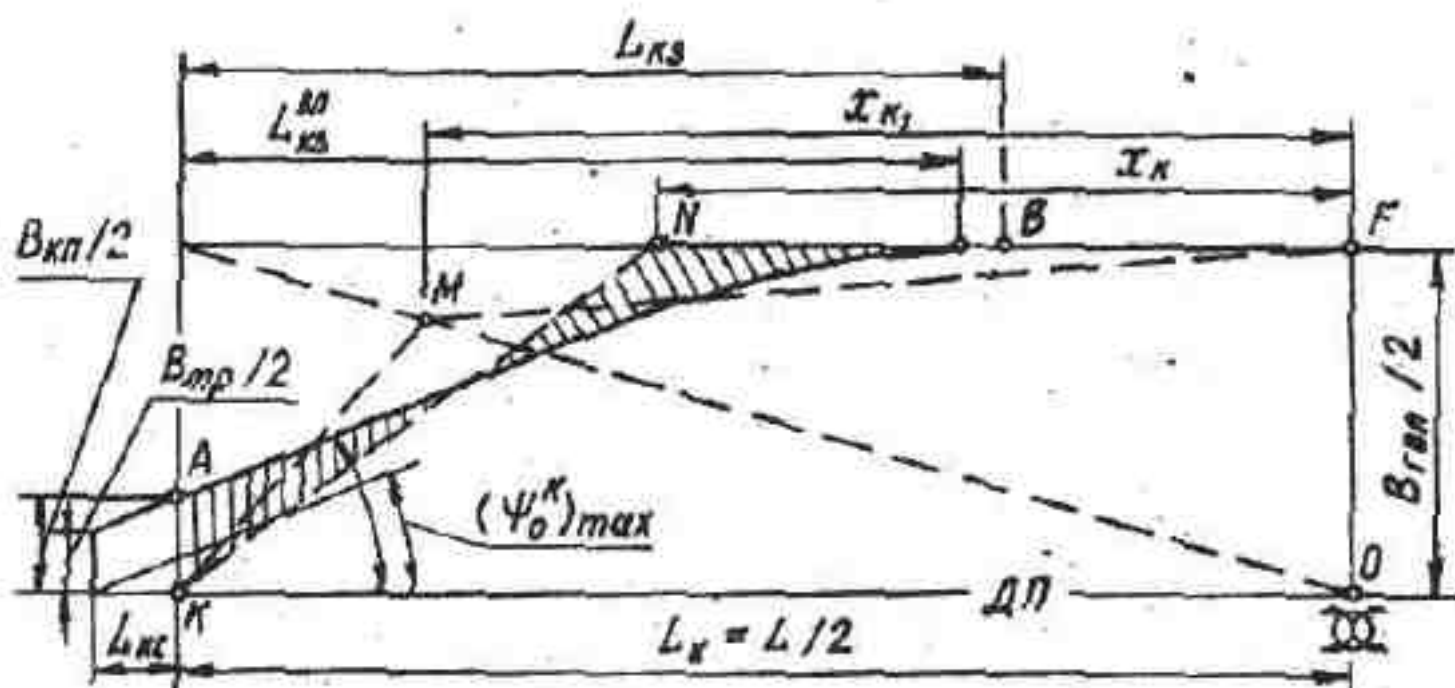


Рис. 3.21. Схема перехода при построении кормовой ветви ГМ с крейсерской кормы на крейсерско-трансцевую при постоянном угле кормового заострения ГМ

После определения  $\alpha_k = 2\alpha - \alpha_n$  получают коэффициент полноты носовой части ГВЛ

$$\alpha_n^k = 2\alpha^k - \alpha_k$$

и строят ватерлинию в обычном порядке.

В противном случае, когда  $\alpha^k$  неизвестен, предварительно построенную заостренную ГВЛ для этого судна можно перестроить в носовой ее части по методике (см. приложение) применительно к круговым цилиндрическим обводам.

Общий коэффициент полноты цилиндрической ГВЛ определяют по формуле

$$\alpha_{\text{ц}} = \frac{\alpha_n^k + \alpha_k}{2},$$

где коэффициент полноты носовой части ГВЛ ( $\alpha_n^k$ ) при радиусе окружности  $R_{\text{ц}}$  можно определить из уравнения (3.8):

$$\alpha_n^k = \frac{(L - 2L_{\text{нз}})B + [(L_{\text{нз}} - R_{\text{ц}})(2R_{\text{ц}} + B) + \pi R_{\text{ц}}^2] \cdot K_{\text{вн}}}{2L \cdot B}$$

Более точное значение коэффициента  $\alpha_n^k$  получают интегрированием носовой части ГВЛ по ее ординатам.

После определения  $\alpha^k$  во избежание грубых ошибок необходимо проверить его значение по графику (см. приложение, рис. П 3).

### 3.2.2. Усеченная с кормы ГВЛ

В случае, если коэффициент полноты ГВЛ (см. рис. 1.2,б) известен, пользуются приемом выделения из  $\alpha^{\text{вс}}$  коэффициента полноты носовой части ГВЛ  $\alpha_n = 2\alpha - \alpha_k$ , где  $\alpha$  и  $\alpha_k$  определяются для заостренной с обеих сторон ГВЛ этого же судна. После этого определяют коэффициент полноты кормовой части  $\alpha_k^{\text{вс}} = 2\alpha^{\text{вс}} - \alpha_n$  и строят ватерлинию в обычном порядке (см. рис. 3.21) при  $x_k = (2\alpha_k^{\text{вс}} - 1)L_k$ .

Когда значение  $\alpha^{\text{вс}}$  неизвестно, для построения ГВЛ необходимо знать ее ширину на уровне кормового перпендикуляра или ширину трапа ( $B_{\text{тр}}$ ), которые определяют трапецию констру-



тивными особенностями (размещением каких-либо устройств на уровне ГВЛ в районе кормового перпендикуляра), либо исходя из соотношения диаметра гребного винта к осадке для односвальных судов (рис. 3.22). После этого предварительно построенная заостренная ГВЛ перестраивается в кормовой ее части (см. рис. 3.21), а общий коэффициент полноты усеченной с кормы ГВЛ определяется по формуле:

$$\alpha_{ус} = \frac{\alpha_n + \alpha_k^{ус}}{2}$$

Коэффициент полноты кормовой части ватерлинии можно предварительно оценить по формуле

$$\alpha_k^{ус} = \frac{(\alpha - 2 \angle_{кз}^{ВА}) B + [(B + B_{кп}) \angle_{кз}^{ВА}] K_{ВА}}{\angle B}$$

где  $K_{ВА}$  — коэффициент, учитывающий скругление ГВЛ в районе конца цилиндрической вставки ватерлинии и зависящий от соотношения  $B_{кп} / B$ , принимает в диапазоне 1,02 — 1,10.

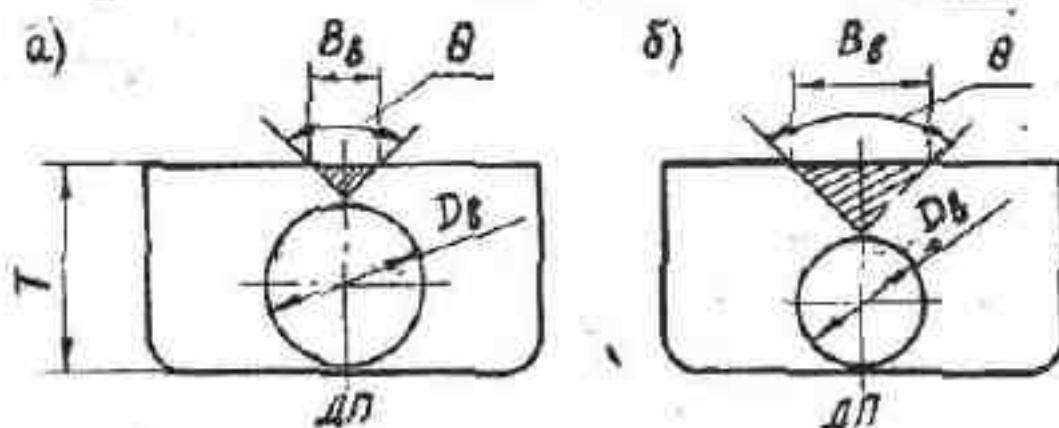


Рис. 3.22. Изменение ширины ГВЛ на уровне диска гребного винта  $B_в$  в зависимости от отношения его диаметра  $D_в$  к осадке судна  $T$  при постоянном угле килеватости шпангоута в районе диска винта  $\theta$ : а — увеличенный диаметр гребного винта; б — уменьшенный диаметр гребного винта

Более точное значение коэффициента  $\alpha_k^{ус}$  получают интегрированием кормовой части ГВЛ по ее ординатам. После определения  $\alpha^{ус}$  необходимо проверить его значение по графику (см. приложение, рис. П.3) по избежанию грубых ошибок.

### 3.2.3. Клинообразная ГВЛ при $V_{кп} = V$

Коэффициент полноты ГВЛ (см. рис. I.2,б) ( $\alpha^{ка}$ ) для транспортных судов можно получить по зависимости  $\alpha = f(\varphi)$ , (см приложение, рис. П 3).

Проектирование такой клинообразной ватерлинии заключается, по сути, в построении ее косовой части, коэффициент полноты которой при  $\alpha_k^{ка} = 1,0$  будет равен:

$$\alpha_n^{ка} = 2\alpha^{ка} - 1,0 .$$

Если рекомендуемая зависимость для  $\alpha^{ка}$  по каким-то причинам не подходит, коэффициент полноты носовой части можно определять по формулам (3.9) и (3.10) для обычных заостренных ватерлиний, после чего общий коэффициент полноты клинообразной ГВЛ вычисляют по формуле:

$$\alpha^{ка} = \frac{\alpha_n + 1,0}{2} .$$

В случае комбинированных ГВЛ построение ватерлиний целесообразно производить отдельным проектированием носовой и кормовой частей, при этом общий коэффициент полноты ГВЛ определяется суммированием

После предварительного построения грузовой ватерлинии обязательно производится проверка ГВЛ на заданное значение  $\alpha$  путем приближенного интегрирования по ординатам. В случае существования разницы в значениях коэффициентов полноты ГВЛ ее необходимо корректировать за счет, в первую очередь, изменения кривизны носовой и кормовой ветвей ватерлинии, если это возможно, и, во-вторую очередь, за счет изменения длины и положения цилиндрической вставки ГВЛ и корпуса (в последнем случае это повлечет и корректировку строевой по шпангоутам).

При построении строевой по шпангоутам и грузовой ватерлинии целесообразно производить эти виды подготовительных работ параллельно друг другу, так как на практике могут воз-

никать трудности в проектировании строевой по шпангоутам и ГВЛ. Например, при назначении площади 20-го теоретического шпангоута во время построения строевой по шпангоутам необходимо будет знать ширину ГВЛ на уровне кормового перпендикуляра ( $B_{кп}$ ), которую нельзя определить, не построив кормовую часть грузовой ватерлинии.

### 3.3. Построение обвода мидель-шпангоута

В случае применения при проектировании судна наиболее распространенного в настоящее время обвода мидель-шпангоута (в дальнейшем просто мидель-шпангоута) с вертикальными бортами и без килеватости днища значение его коэффициента полноты ( $\beta$ ) близко к единице и определяется в зависимости от коэффициента общей полноты ( $\delta$ ).

При наличии килеватости днища и развала (наклона) бортов или сложных форм обводов мидель-шпангоута коэффициент полноты ( $\beta$ ) можно определять уже исходя из задаваемых параметров формы мидель-шпангоута. Например, применительно к мидель-шпангоуту с наклонным бортом и килеватостью днища (рис. 3.23) угол наклона борта ( $\psi_B$ ) может задаваться исходя из требований к ледопродолжительности судна, килеватость днища ( $\alpha_K$ ) — исходя из обеспечения определенных мореходных качеств; радиус скулы ( $R_{ск}$ ) может быть выбран по опыту проектирования и т.п. В такой ситуации коэффициент полноты мидель-шпангоута определяется вычислением площади мидель-шпангоута интегрированием или суммированием площадей простых геометрических фигур.

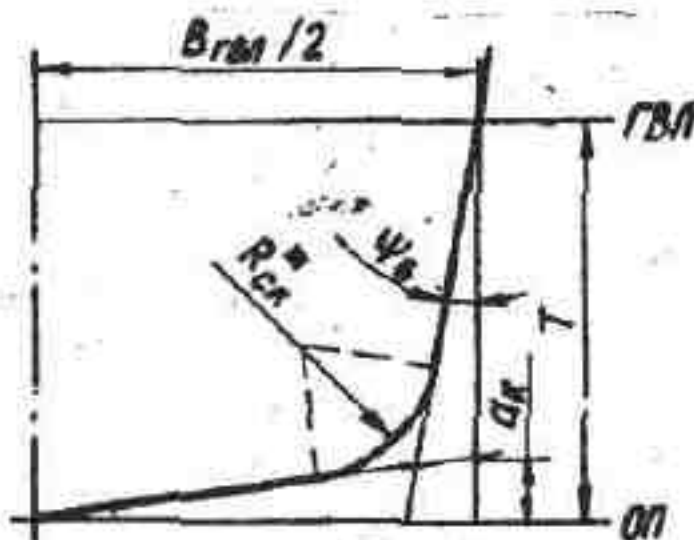


Рис. 3.23. Обвод мидель-шпангоута с килеватостью днища и развалом бортов

Однако даже при сложных формах обводов мидель-шпангоута не исключено прямое назначение коэффициента  $\beta$  по прототипу, опыту проектирования судов определенного типа или по каким-ли-



В связи с этим целесообразно рассмотреть способы построения нескольких наиболее часто используемых на судах обводов мидель-шпангоута (при заданном значении  $\beta$ ).

### 3.3.1. Мидель-шпангоут без развала борта и килеватости днища

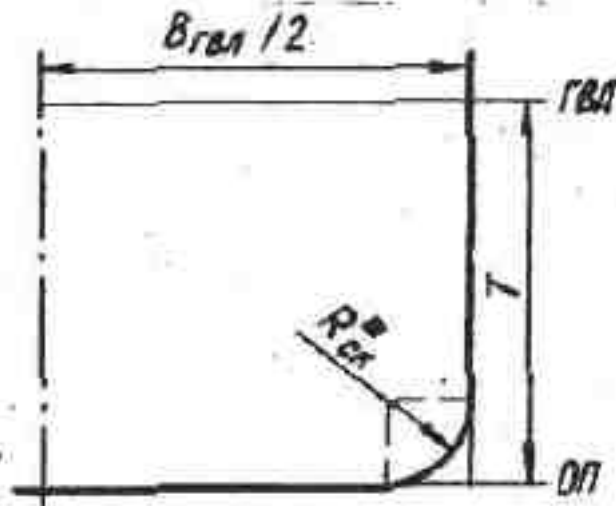


Рис. 3.24. Обвод мидель-шпангоута без килеватости днища и развала бортов

Для мидель-шпангоута без развала бортов и килеватости днища, присущего благодаря простоте форм подавляющему большинству транспортных судов, построение его обвода заключается в определении радиуса скулы ( $R_{ск}$ ) (рис. 3.24). Так как скругление обвода мидель-шпангоута в районе скулы производится, как правило, по окружности, ее радиус при заданном  $\beta$  можно вычислить по формуле /1/

$$R_{ск} = \sqrt{2,32 \beta T (1 - \beta)}$$

### 3.3.2. Мидель-шпангоут без развала борта и с килеватостью днища $\alpha_k$

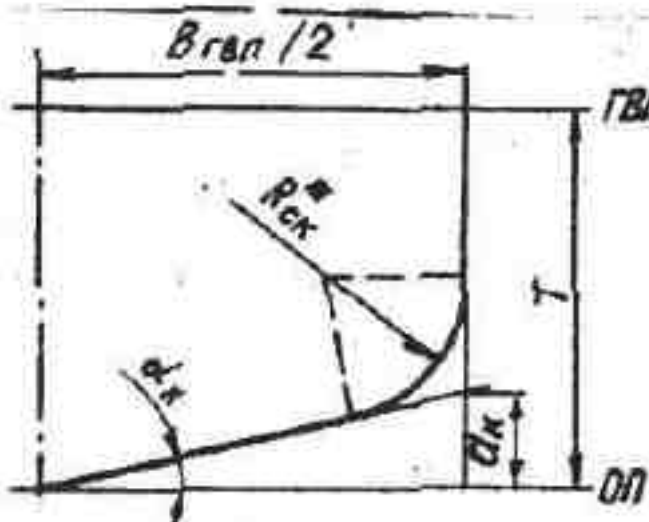


Рис. 3.25. Обвод мидель-шпангоута с килеватостью днища и без развала бортов

Для мидель-шпангоута без развала бортов и с килеватостью днища (рис. 3.25), используемого на некоторых транспортных и рыбопромышленных судах, судах вспомогательного флота и боевых кораблях, построение его обвода также заключается в определении радиуса скулы ( $R_{ск}$ ), но в зависимости не только от  $\beta$ , но и от заданной килеватости ( $\alpha_k$ ).



Для определения  $R_{ск}^*$  при незначительной килеватости можно воспользоваться формулой Л.М.Нолда /1/

$$R_{ск}^* = \sqrt{\frac{2(1 - \beta - \frac{1}{2} \frac{a_k}{T})(1 + \frac{a_k}{B})}{4(1 + a_k^2/B^2) - \mathcal{K}(1 + a_k/B)}} \cdot BT,$$

которая в упрощенном виде может быть записана

$$R_{ск}^* \approx \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1 - \beta - \frac{1}{2} \frac{a_k}{T}}{0,215 - \frac{a_k}{B}}} \cdot BT.$$

При больших значениях относительной килеватости ( $a_k/B$ ) для определения радиуса скулы необходимо пользоваться точной формулой, которая имеет вид

$$R_{ск}^* = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1 - \beta - \frac{1}{2} \frac{a_k}{T}}{K_R}} \cdot BT, \quad (3.10)$$

где

$$K_R = \frac{1}{2} \left[ \left( \cos^2 \frac{\alpha_k}{2} - \sin^2 \frac{\alpha_k}{2} \right) + \frac{(\cos \frac{\alpha_k}{2} - \sin \frac{\alpha_k}{2})^3}{(\cos \frac{\alpha_k}{2} + \sin \frac{\alpha_k}{2})} \right] - \frac{\mathcal{K}(90 - \alpha_k)}{360},$$

$$\alpha_k = \arctg \frac{2a_k}{B} \quad - \text{угол килеватости днища в градусах.}$$

### 3.3.3. Мидель-шпангоут без килеватости днища и с развалом борта

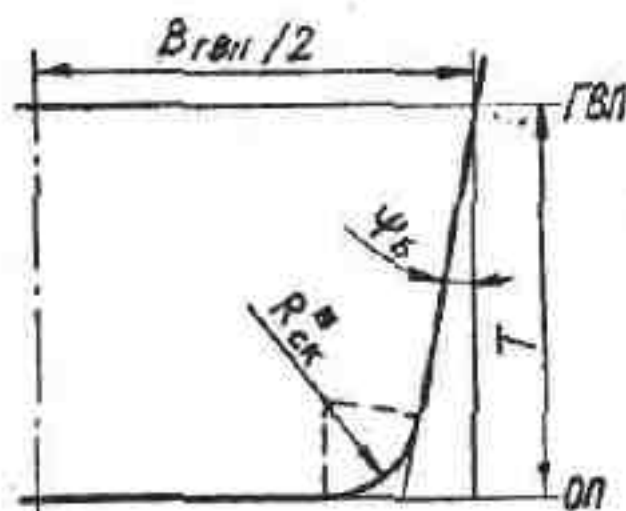


Рис. 3.26. Обвод мидель-шпангоута без килеватости днища и с развалом бортов

Мидель-шпангоут без килеватости днища и с развалом бортов (рис. 3.26) характерен для судов ледового плавания и служебно-вспомогательных судов. Развал борта задается, как правило, углом наклона ( $\psi_b$ ) в градусах. Для определения радиуса скулы ( $R_{ск}^*$ ) при заданных  $\beta$  и  $\psi_b$  можно пользоваться формулой (3.10):

$$R_{ск}^* = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1 - \beta - \frac{T \operatorname{tg} \psi_b}{B}}{K_R}} \cdot BT$$

где

$$K_R = \frac{1}{2} \left[ \left( \cos^2 \frac{\Psi_B}{2} - \sin \frac{\Psi_B}{2} \right) + \frac{(\cos \frac{\Psi_B}{2} - \sin \frac{\Psi_B}{2})^3}{(\cos \frac{\Psi_B}{2} + \sin \frac{\Psi_B}{2})} \right] - \frac{\pi (90 - \Psi_B)}{360}$$

### 3.3.4. Мидель-шпангоут с килеватостью днища и развалом борта

Мидель-шпангоут с килеватостью днища и развалом борта (см. рис. 3.23) характерен для военных кораблей, служебно-вспомогательных судов и некоторых судов ледового плавания. Искомый радиус скулы ( $R_{ск}^*$ ) при заданных значениях  $\beta$ , килеватости ( $a_k$ ) и угла наклона борта ( $\Psi_B$ ) можно определить по формуле

$$R_{ск}^* = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1 - \beta - \frac{a_k}{2T} - \frac{(T - a_k)^2 \operatorname{tg} \Psi_B [1 - \operatorname{tg} \Psi_B \operatorname{tg} \alpha_k]}{BT}}{K_R}}$$

где

$$K_R = \frac{1}{2} \left[ \left( \cos \frac{\Psi_B + \alpha_k}{2} - \sin \frac{\Psi_B - \alpha_k}{2} \right) + \frac{(\cos \frac{\Psi_B + \alpha_k}{2} - \sin \frac{\Psi_B + \alpha_k}{2})^3}{(\cos \frac{\Psi_B + \alpha_k}{2} + \sin \frac{\Psi_B + \alpha_k}{2})} \right] - \frac{\pi (90 - \Psi_B - \alpha_k)}{360}$$

В случае, если обвод мидель-шпангоута при заданном коэффициенте полноты ( $\beta$ ) имеет более сложную по сравнению с рассмотренными форму, например с криволинейными или ломаными обводами (см. разд. 4), его построение следует проводить по приближенному способу И.А.Иковлева. После построения в первом приближении обвода мидель-шпангоута необходимо проверить коэффициент полноты  $\beta$  на соответствие заданному значению.

### 3.4. Построение сетки теоретического чертежа

Сетка теоретического чертежа вычерчивается в трех проекциях: бок, полуширота и корпус, она представляет собой комбинацию взаимно-перпендикулярных линий, являющихся проекциями плоскостей шпангоутов, ватерлиний и батоксов.

Требования к построению сетки теоретического чертежа изложены в /12/. Сетку целесообразно вычерчивать тушью или твердым карандашом тонкими линиями. Она должна быть вычерчена

тщательно, так как неточности, допущенные при ее построении могут сделать невозможным согласование ТЧ. При вычеркивании сетки необходимо использовать выверенные металлические линейки.

В зависимости от размеров судна теоретический чертеж выполняется в масштабах  $1 : 25$ ,  $1 : 50$ ,  $1 : 100$ ,  $1 : 200$ ; длина судна не должна превышать  $1,75 - 2,00$  м

— В отечественной практике длину сетки принимают равной расчетной длине судна между перпендикулярами ( $L$ ), за которую берется расстояние между носовым и кормовым перпендикулярами. Первым перпендикуляром является линия, проходящая перпендикулярно к основной линии (ОЛ) через точку пересечения форштевня с ГВЛ, а вторым — либо ось баллера руля (что характерно для подавляющего большинства судов), либо перпендикуляр к ОЛ, сдвигающийся в  $0,03 \cdot L_{ГВА}$  от точки пересечения ахтерштевня с ГВЛ (если длина кормового свеса значительна), либо перпендикуляр к ОЛ, проходящий через точку пересечения транца с ахтерштевнем (для некоторых судов с транцем и кормой).

Высота и ширина сетки определяются в зависимости от положения ватерлинии (КВЛ) — самой верхней ватерлинии сетки, построенной как можно ближе к расчетной грузовой ватерлинии. Строго говоря, высота сетки должна быть равна расчетной осадке судна по ГВЛ  $T_{ГВА}(T)$  и ее ширина — расчетной ширине судна по ГВЛ  $B_{ГВА}(B)$  при автоматизированном проектировании теоретического чертежа с помощью ЭВМ. При проектировании без ЭВМ для удобства построения сетки и повышения точности вычислений значение высоты сетки округляют таким образом, чтобы делилось на требуемое количество ватерлиний (не считая нулевую ВЛ в основной плоскости) без остатка или с остатком при максимум двух знаках после запятой (рис. 3.27).

Гидростатические характеристики судна, соответствующие расчетной  $T_{гва}$ , определяются позднее, по кривым элементов теоретического чертежа, ввиду чего целесообразно допустить, что  $T_{квв} > T_{гва}$ . Сетка, при необходимости,

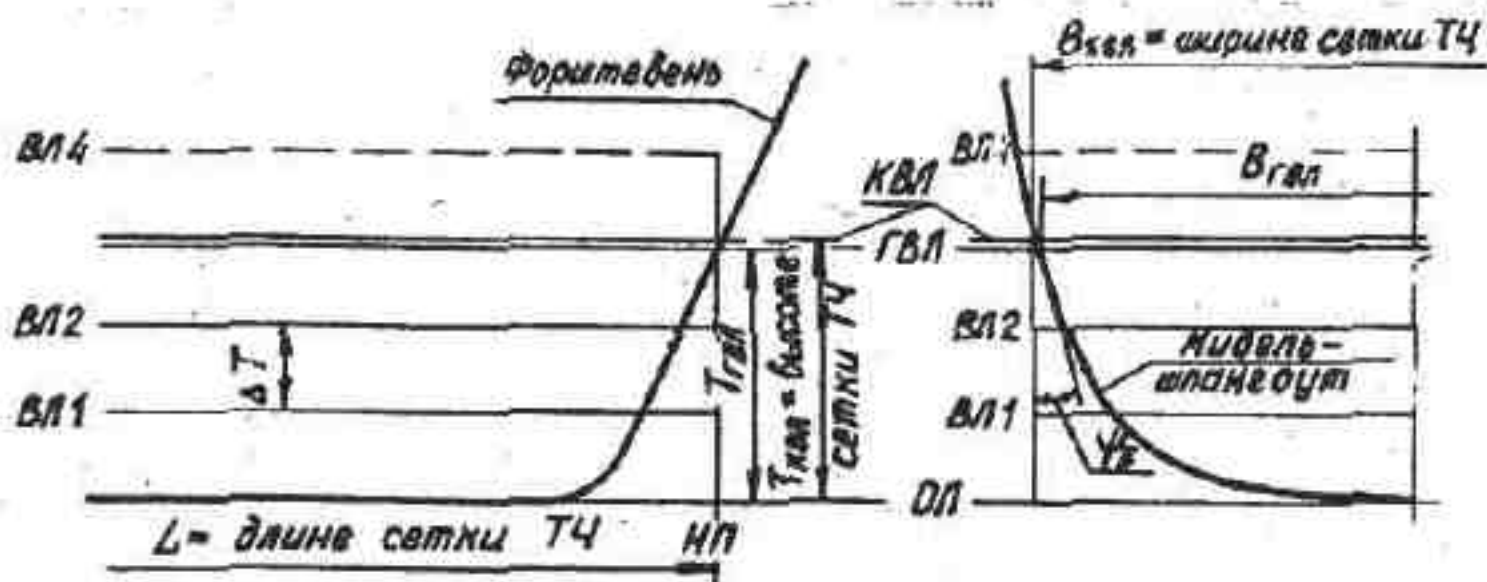


Рис. 3.27. Положение конструктивной и грузовой ватерлиний судна в связи с выбором длины, ширины и высоты сетки теоретического чертежа

может быть продолжена выше КВЛ на один-два значения  $\Delta T$ . Ширина сетки для судов с вертикальными бортами в любом случае будет равна расчетной ширине судна ( $B_{гва}$ ), а для судов с наклонными или овальными бортами для ее определения необходимо знать угол наклона борта в районе ГВЛ (см рис. 3.27). Поэтому во втором случае производить вычерчивание сетки на проекции "корпус" целесообразно после построения обвода мидель-шпангоута.

Сетка теоретического чертежа обычно вычерчивается при количестве основных шпангоутов равном II (включая концевые шпангоуты-перпендикуляры), а чаще 2I шпангоуту. Допускается построение дополнительных шпангоутов, располагаемых на половине принятой шпации, как правило, в оконечностях как перед, так и за перпендикулярами.

Общее количество ватерлиний может колебаться в зависимости от сложности обводов корпуса от четырех до восьми, а



количество батоксов с каждого борта - от двух до четырех.

При выполнении всех проекций ТЧ на одном листе бок располагается в верхней левой части листа, под ним - полушироту или широту, а справа от проекции бок на одном уровне с ним - корпус. При наличии цилиндрической вставки с целью уменьшения длины чертежа проекцию корпуса можно располагать в средней части проекции бок.

### 3.5. Разработка диаметрального батокса

Разработка диаметрального батокса включает построение штевней, килевой линии, линий верхней палубы и основных надстроек (бака, юта и т.п.) в соответствии с заданным перед проектированием теоретического чертежа архитектурно-конструктивным типом судна.

Тип форштевня (см. разд. 2) можно выбрать в зависимости от принятой формы носовых обводов, если нет каких-либо дополнительных условий, а тип ахтерштевня определяется выбранным в зависимости от формы кормовых обводов типом кормы, типом и расположением движителей, а также рулевого устройства. Наибольшую сложность представляет проектирование формы ахтерштевня для одновальных судов с крейсерской и крейсерско-транцевой кормой.

При построении линии форштевня на проекции бок сетки теоретического чертежа необходимо помнить, что она должна проходить через точки пересечения носового перпендикуляра (линии нулевого теоретического шпангоута) и грузовой ватерлинии (см. рис. 3.27).

Для большинства судов килевая линия совпадает с основной линией теоретического чертежа, однако для судов, имеющих конструктивный дифферент, необходимо отдельное построение килевой линии в соответствии с выбранным углом дифферента.

Перед построением палубной линии диаметрального батокса необходимо решить вопрос о наличии погоны бимсов, так как расчётная высота борта ( $H$ ) измеряется по бортовой линии палубы. В этой связи необходимо знать о существовании в современном судостроении тенденции отказа от погоны бимсов на всех палубах.

Кроме того, в соответствии с заданным архитектурно-конструктивным типом судна необходимо принять решение по седловатости верхней палубы и расположению основных палубных надстроек (бака, юта и т.д.), которые в теоретическом чертеже необходимо выточить в состав корпуса как его естественное продолжение.

При разработке диаметрального батокса необходимо помнить, что он является важной частью силуэта судна, поэтому нужно следить за тем, чтобы все его элементы эстетически соответствовали друг другу по требованиям дизайна. Для примера можно вспомнить о роли линии фальшборта (которая должна присутствовать на теоретическом чертеже) в силуэте судна как связующей корпуса и надстроек с учетом выбранной формы штевной.

#### 4. ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА МЕТОДОМ ХУДОЖЕСТВЕННОГО РИСОВАНИЯ

После выполнения всего объема подготовительных работ, т.е. построения строевой по шпангоутам, грузовой ватерлинии, мидель-шпангоута, сетки и диаметрального батокса можно переходить к непосредственной разработке теоретического чертежа любым существующим методом. Из существующих методов проектирования теоретического чертежа /1,2/ в качестве примера целесообразно рассмотреть метод художественного рисования, который является традиционным для проектантов и наиболее универсальным по отношению к рассмотренным формам корпуса.

Построение теоретического чертежа состоит из двух последовательных этапов – построения подводной и надводной частей корпуса. Метод художественного рисования подводной части корпуса заключается в построении каждого теоретического шпангоута, формировании на основе разработанной проекции «корпус» проекций «полуширота» и «бок» и в дальнейшем корректировке линий ТЧ при согласовании всех проекций между собой.

Для построения теоретических шпангоутов на практике используется несколько способов (рис. 4.1), наиболее распространенным из которых можно считать способ И.А.Яковлева [2,6].

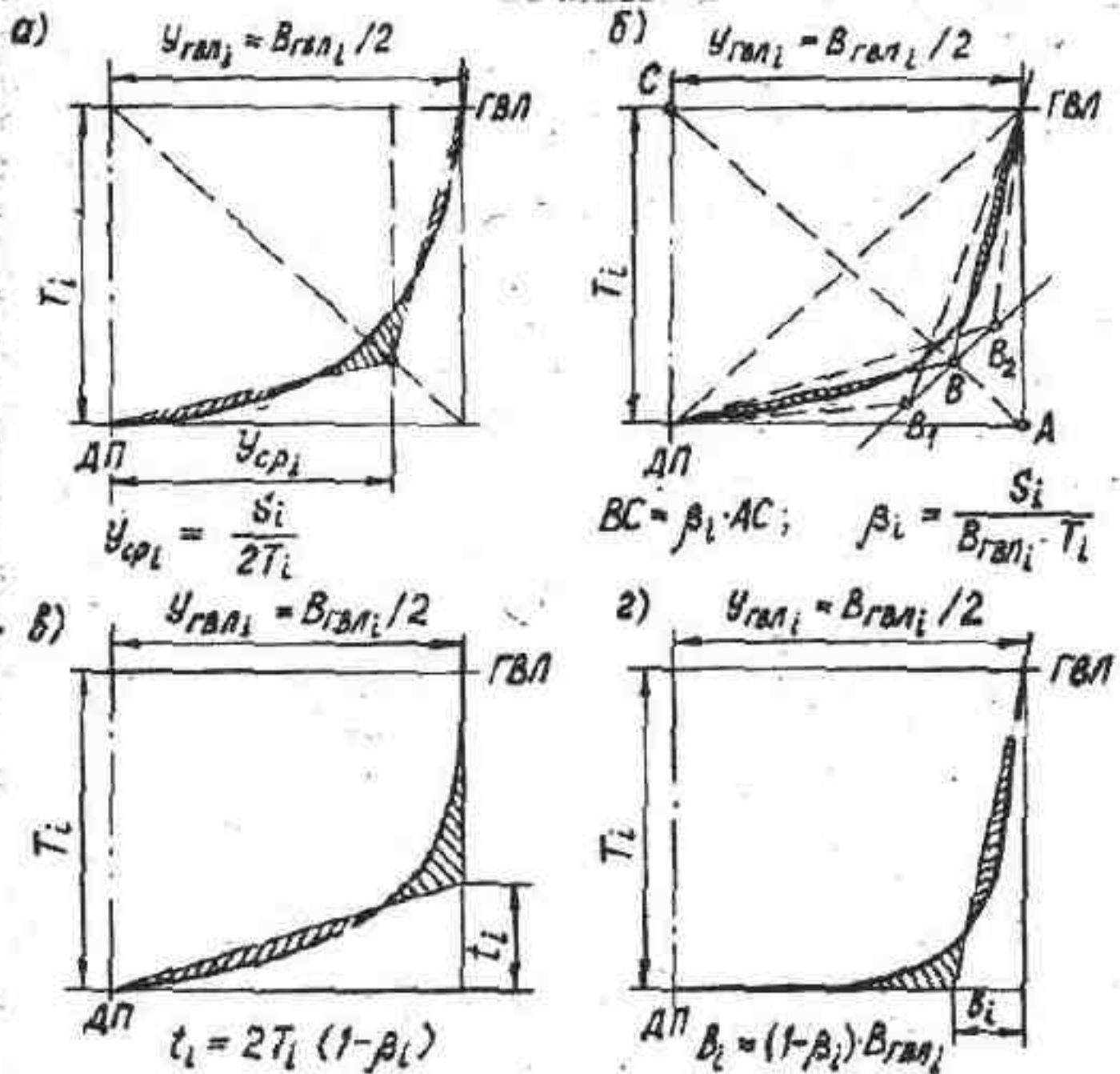


Рис. 4.1. Способы построения шпангоутов: а - И.А.Яковлева (средней ординаты); б - скользящей точки; в, г - трапеция

Однако независимо от выбранного способа для построения каждого шпангоута необходимо иметь набор следующих исходных данных:

I) площадь шпангоута, определяемую по строевой по шпангоутам ( $S_i$ );



2) ширину шпангоута на ГВЛ, равную удвоенной ординате грузовой ватерлинии  $B_{ГВЛ} = 2y_{ГВЛ}$  ;

3) осадку шпангоута  $T_1$ , снимаемую на проекции бок по диаметральному сечению.

Дополнительно, в случае использования прямолинейных бортовых и днищевых ветвей обвода шпангоута в сочетании со скругленiem его в районе скулы по окружности можно воспользоваться способами, изложенными при рассмотрении построения модель-шпангоута (см. разд. 3.3).

Построение теоретических шпангоутов в оконечностях необходимо производить полностью в соответствии с заданными обводами корпуса. В частности, для носовых и кормовых шпангоутов при заостренных обводах построение шпангоута сводится к обеспечению его формы: U - , U-V - , V - образной (см. габл. I I, рис. 4.2).

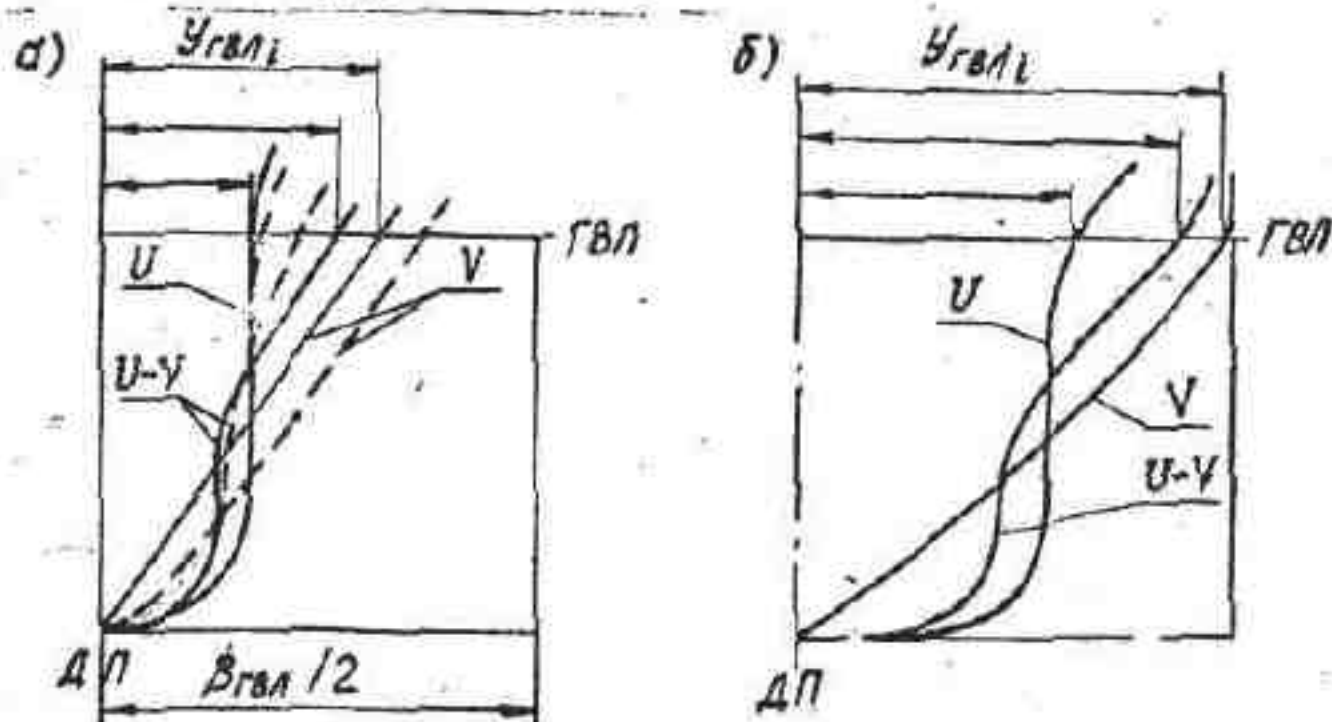


Рис. 4.2. Возможные формы шпангоутов: а - носовых; б - кормовых

В целом кормовые шпангоуты для одновальных судов имеют более сложную форму, чем носовые, поэтому Ченгом и Хедлером [4] разработан условный критерий, позволяющий классифицировать эти шпангоуты по форме. Этим критерием является параметр  $\tau$  (рис. 4.3), представляющий собой тангенс угла, образованного касательной к IВ-му шпангоуту на уровне оси гребного вала.



если  $\tau < 0,10$ , шпангоуты

$U$  - образной формы;

если  $0,10 < \tau \leq 0,40$ , шпангоуты

$U - V$  - образной формы,

причем при  $0,10 < \tau \leq 0,30$  шпангоуты умеренно  $U$  - образной формы,

а при  $0,30 < \tau \leq 0,40$  - умеренно  $V$  - образные;

если  $\tau > 0,40$ , шпангоуты

$V$  - образной формы.

При построении  $U$  - образных

носовых шпангоутов для цилиндрических обводов корпуса судов с отношением  $R_{ск}/B$ , близким к 0,5, радиус скругления обводов

в районе скулы ( $R_{ск}$ ), как правило, увеличивается по мере приближения к носовому перпендикуляру с переходом к закруглению форштевня при радиусе  $R_0 = (0,4 \dots 0,5)\tau$  (рис. 4.4).

Для ориентировочной оценки значений  $R_{ск}$ , необходимых для построения таких шпангоутов, можно воспользоваться графиком (рис. 4.5) /4/.

Для ориентировочной оценки значений  $R_{ск}$ , необходимых для построения таких шпангоутов, можно воспользоваться графиком (рис. 4.5) /4/.

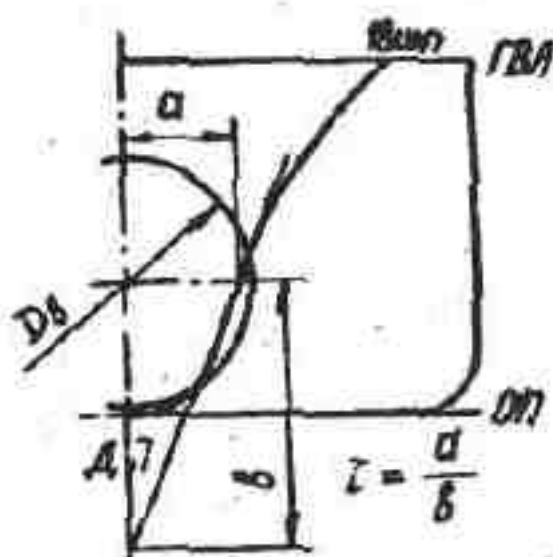


Рис. 4.3. Схема для определения параметра  $\tau$

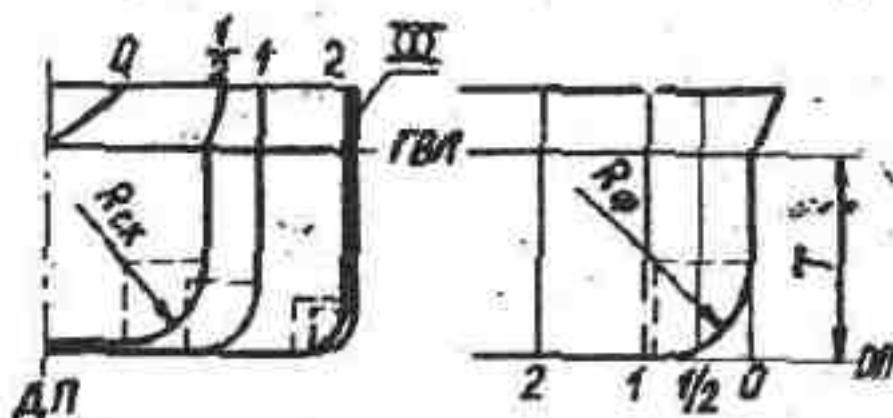


Рис. 4.4. Цилиндрические носовые обводы с увеличенным радиусом закругления форштевня

В некоторых случаях в ходе построения носовых шпангоутов при заданных значениях  $S_i$ ,  $У_{гвд}$ ,  $T_i$  :: линии форштевня может не обеспечиваться требуемая форма ветви шпангоута, что свидетельствует о противоречиях между заданной формой носовых

обводов и спроектированными строевой по шпангоутам, ГВЛ и линией форштевня. Такие несоответствия могут быть устранены первоначально за счет корректировки линии форштевня и ГВЛ, а затем и строевой по шпангоутам. В крайнем случае, некоторой корректировке может быть подвергнута и форма носовых шпангоутов.

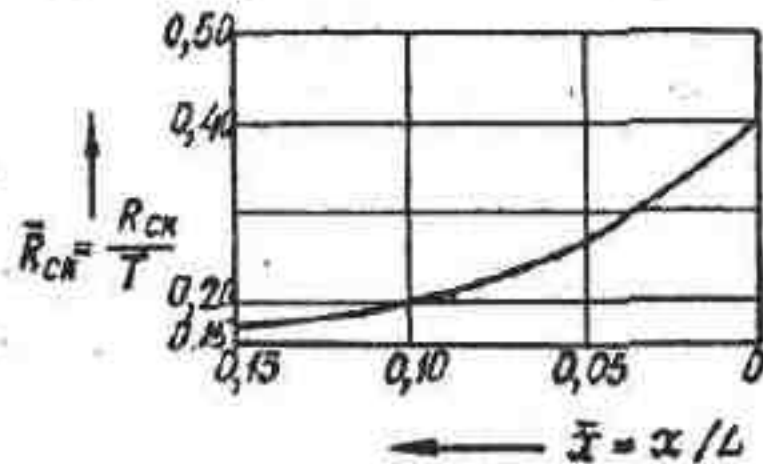


Рис. 4.5. Зависимость для определения радиуса скругления скулы ( $R_{ск}$ ) по длине носовой части корпуса с цилиндрическими обводами

При построении носовых ватерлиний на основании полученных шпангоутов необходимо следить за тем, чтобы углы заострения их были не больше, чем у ГВЛ (если нет бульбовых образований).

При построении ватерлиний в кормовой оконечности необходимо учитывать требование безотрывности течения к кормовым обводам, т.е. пре-

дотвращения возможного отрыва пограничного слоя. Это требование частично выполняется при правильном определении длины кормового заострения и угла заострения кормовой ветви ГВЛ (см. разд. 3.1 и 3.2), однако для ватерлиний, расположенных ниже ГВЛ, оно имеет также важное значение.

По рекомендациям А.Ф.Пустошного и Ю.С.Базилевского [4] при заостренных обводах кормы с U-, U-V- и V-образными шпангоутами (см. табл. 1.2) для полного исключения отрыва потока углы наклона между касательными к ватерлиниям и диаметральной плоскостью должны быть не более  $33^\circ$ .

В целом при построении ватерлиний на проекции "полуширота" необходимо особое внимание уделять их плавности, что достигается попеременной корректировкой линий и ватерлиний до тех пор, пока плавность всех ватерлиний не окажется достаточной.

При корректировке линий шпангоутов их площадь должна оставаться постоянной в соответствии со строевой по шпангоутам.

После построения шпангоутов и ватерлиний приступают к прорисовке батоксов на проекции "бок", с помощью которых производится согласование линий на всех трех проекциях. Для облегчения процесса согласования целесообразно строить отдельные батоксы от шпангоутов и ватерлиний. При этом по опыту проектирования теоретических чертежей корректировать при согласовании легче шпангоуты. В этом случае шпангоутный батокс подгоняется под батокс, построенный по ватерлиниям, если последние удовлетворяют условиям плавности линий.

После окончательного геометрического согласования всех проекций ТЧ необходима тщательная проверка площадей шпангоутов на проекции "корпус" на соответствие площади по строению по шпангоутам, которую необходимо производить приближенным интегрированием по ординатам шпангоутов.

Построение теоретического чертежа подводной части корпуса желательно производить с учётом формы надводной части корпуса, при этом необходимо правильно выбрать угол притыкания линий шпангоутов к ГВЛ на проекции "корпус" (рис. 4 б). В противном случае можно допустить лом линий шпангоутов по ГВЛ, но такое решение принимается редко, так как приводит к увеличению буксировочного сопротивления при качке судна. Поэтому, приступая к построению ТЧ надводной части корпуса с учётом заданной формы носовой и кормовой оконечностей, выбирают линии шпангоутов на границе с ГВЛ, которые обеспечивают форму надводной части корпуса в соответствии с гребусмой площадью палуб, т.е. их линиями в плане.

Как уже отмечалось ранее, при построении теоретического чертежа надводной части корпуса необходимо учитывать наличие основных надстроек (бака, мачта, среднего острова), являющихся неотъемлемой частью корпуса судна как архитектурного объекта, а также имеющих фальшбортов.

В заключение рассмотрим систему обозначений, принятую для чтения теоретического чертежа.

В отечественной практике шпангоуты нумеруются арабскими цифрами с носа в корму, т.е. нулевой шпангоут совпадает с носовым перпендикуляром, десятый (или пятый при II теоретических



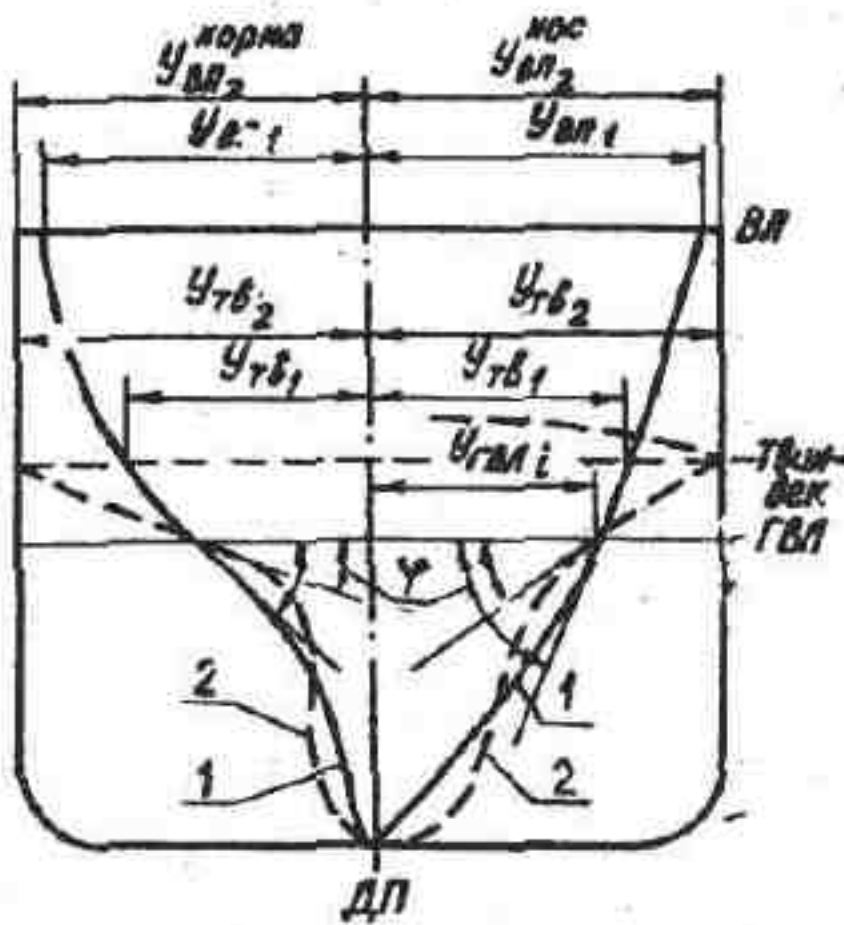


Рис. 4.6. Обводы шпангоутов одной и той же площади и ширины по ГВЛ, но предусматривающие различную форму надводной части корпуса: 1 - шпангоут; 2 - со слонами

Ватерлинии, лежащая в основной плоскости. Номера ватерлиний на проекции "бок" проставляются за полем сетки вдоль перпендикуляров, на проекции "корпус" - за полем сетки вдоль борта, на проекции "полуширота" - над каждой ватерлинией в носу и корме (рис 4.7, в), а при необходимости - у точки притыкания её к ДП.

Батоксы нумеруются римскими цифрами от ДП к борту (см. рис. 4.7, б, в).

На всех проекциях проставляются названия палубных линий и фальшбортов.

Базовые линии на всех проекциях обозначаются: ДП, ОЛ, ОШ.

На каждом теоретическом чертеже должна быть таблица главных размерений и элементов судна:

шпангоутах) соответствует модель-шпангоуту, а двадцатый совпадает с кормовым перпендикуляром. Шпангоуты, расположенные в нос от носового перпендикуляра, обозначаются со знаком "минус".

Номера шпангоутов на проекции "бок" проставляются под ОЛ, на проекции "полуширота" - под линией ДП, на проекции "корпус" - над каждым шпангоутом (рис 4.7)

Ватерлинии нумеруются арабскими цифрами снизу вверх. За кучевую ВЛ принимается





Длина наибольшая  $L_{нб}$ , м;

Длина по КВЛ (ГВЛ)  $L_{квл}$ , м;

Длина между перпендикулярами  $L_{пв}$ , м;

Ширина  $B$ , м;

Высота борта  $H$ , м;

Осадка по КВЛ (ГВЛ)  $T$ , м;

Водоизмещение объемное по КВЛ (ГВЛ)  $V$ , м<sup>3</sup>;

Абсцисса центра величины по КВЛ (ГВЛ)  $x_c$ , м;

Апplikата центра величины по КВЛ (ГВЛ)  $z_c$ , м;

Коэффициент общей полноты по КВЛ (ГВЛ)  $\delta$ ;

Коэффициент полноты КВЛ (ГВЛ)  $\alpha$ ;

Коэффициент полноты мидель-шпангоута по КВЛ (ГВЛ)  $\beta$ .

Таблица главных размеров и элементов судна размещается в правой части чертежа на свободном месте, обычно под проекцией "корпус" или над основной надписью чертежа.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ногид Л.М. Проектирование формы судна и построение теоретического чертежа. - Л.: Судпромгиз, 1962.-236 с.
2. Ашик В.В. Проектирование судов. - Л.: Судостроение, 1985.-320 с.
3. Справочник по теории корабля: В 3 т. Под ред Я.И. Бунского. - Т. I. - Л.: Судостроение, 1985.-768 с.
4. Турбал В.К., Шпаков В.С., Штумф В.М. Проектирование обводов и двигателей морских транспортных судов. - Л.: Судостроение, 1983.-304 с.
5. Бронников А.В., Букшев А.В., Челпанов И.В. Материалы к построению теоретического чертежа, проверочным расчетам и разработке общего положения судна: Учеб.пособие. - Л., ЛКИ - 1980.-30 с.
6. Разработка теоретического чертежа в курсовом и дипломном проектировании: Метод.указания/ Сост.: Л.Б.Винокур, В.Г.Бугаев.-Владивосток: ДВШ, 1979.-28 с.
7. Ногид Л.М. Проектирование морских судов. - Л.: Судостроение, 1976.-208 с.

8. Александров М.Н. Судовые устройства. - Л.: Судостроение, 1982.-318 с.

Reed A.M., Nowacki Horst. *Interactive creation of fair ship lines* // *Journal of Ship Research* :- 1974. - V. 18. - №2. - P. 96-112.

10. Лаптев В.А. Основы проектирования морских торговых судов: В 2 ч. Ч. 2 Форма корпуса судна и составление теоретического чертежа. - Л.: Госуд. транспортное изд-во, 1933.

11. ГОСТ 1062-80. Размеры и надводных кораблей и судов главные. Термины, определения и буквенные обозначения.

12. ГОСТ 2.419 - 68. Правила выполнения документации при плазовом методе производства.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛНОТЫ И АБСЦИССЫ ЦЕНТРА ВЕЛИЧИНЫ КОРПУСА СУДНА

Существует множество рекомендаций по выбору основных коэффициентов полноты корпуса  $\delta$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  и абсциссы центра величины  $X_c$  для различных типов надводных судов.

Во избежание грубых ошибок в их определении при обязательном соблюдении соответствия используемой формулы назначению (типу) судна и диапазону аргумента необходимо знать общие пределы возможного изменения этих характеристик.

На рис. П.1 представлены пределы изменения коэффициента общей полноты  $\delta$  в зависимости от числа Фруда  $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$  для судов с вертикальными бортами (без развала) и без килеватости днища. Выбранное значение коэффициента общей полноты  $\delta$  должно находиться в заштрихованной зоне.

Штриховые линии на рисунке показывают на экстремальные отклонения  $\delta$ , встречающиеся на практике, но значения коэффициента общей полноты, находящиеся между заштрихованной зоной и штриховыми линиями, не должны выбираться без специального обоснования, которое может быть вызвано особенностями формы корпуса проектируемого судна или специальными требованиями, предъявляемыми к судну.

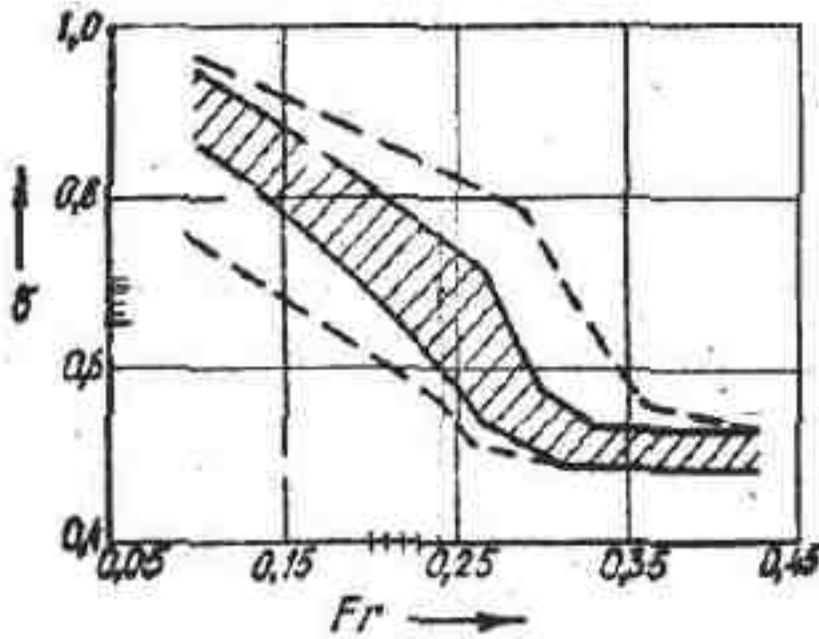


Рис. П.1. Пределы изменения коэффициента общей полноты  $\beta$

На рис. П.2 заштрихованной зоной представлены пределы изменения коэффициента полноты мидель-шпангоута ( $\beta$ ) в зависимости от  $\delta$  (для судов без развала бортов и килеватости днища).

Нижняя граница экстремальных значений  $\beta$  показана штриховой линией. При  $\delta = 0,48 - 0,60$  она соответствует оптимальным по жесткости значениям  $\beta$ , однако

выбор коэффициента полноты мидель-шпангоута в этом случае должен быть обоснован с позиций глобального критерия оптимизации, так как снижение  $\beta$  может привести к изменению конфигурации трюмов в нижней части и, как следствие этого, значительному неиспользованию кубатуры грузовых помещений ниже ГВЛ.

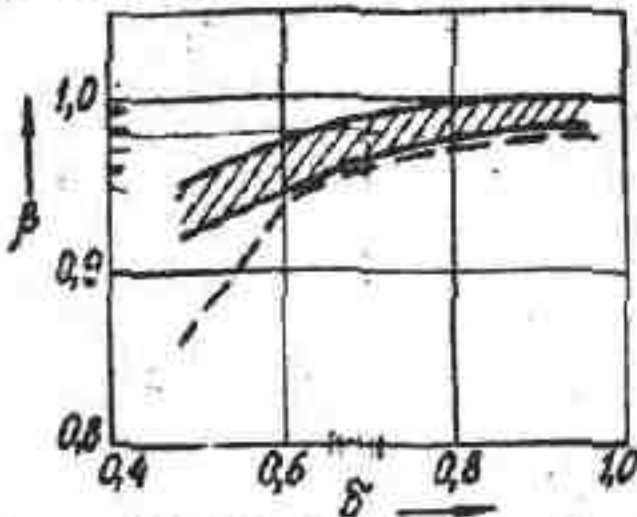


Рис. П.2. Пределы изменения коэффициента полноты мидель-шпангоута  $\beta$

Как известно, коэффициент полноты грузовой ватерлинии ( $\alpha$ ) наиболее точно определяется в функции от коэффициента продольной полноты  $U = \delta / \beta$

(рис. П.3). Заштрихованная зона соответствует коэффициентам полноты ГВЛ для обычных эвент-

рених с обеих сторон ватерлиний (см. рис. П.2, в). При этом значения  $\alpha$ , соответствующие  $U$  - эвентным носовым шпангоутам, должны находиться в нижней половине заштрихованной зоны, а значения  $\alpha$ , соответствующие  $V$  - образным шпангоутам или цилиндрическим носовым обводам с закругленной носовой ветвью ГВЛ ( $U > 0,76$ ). - в верхней половине этой



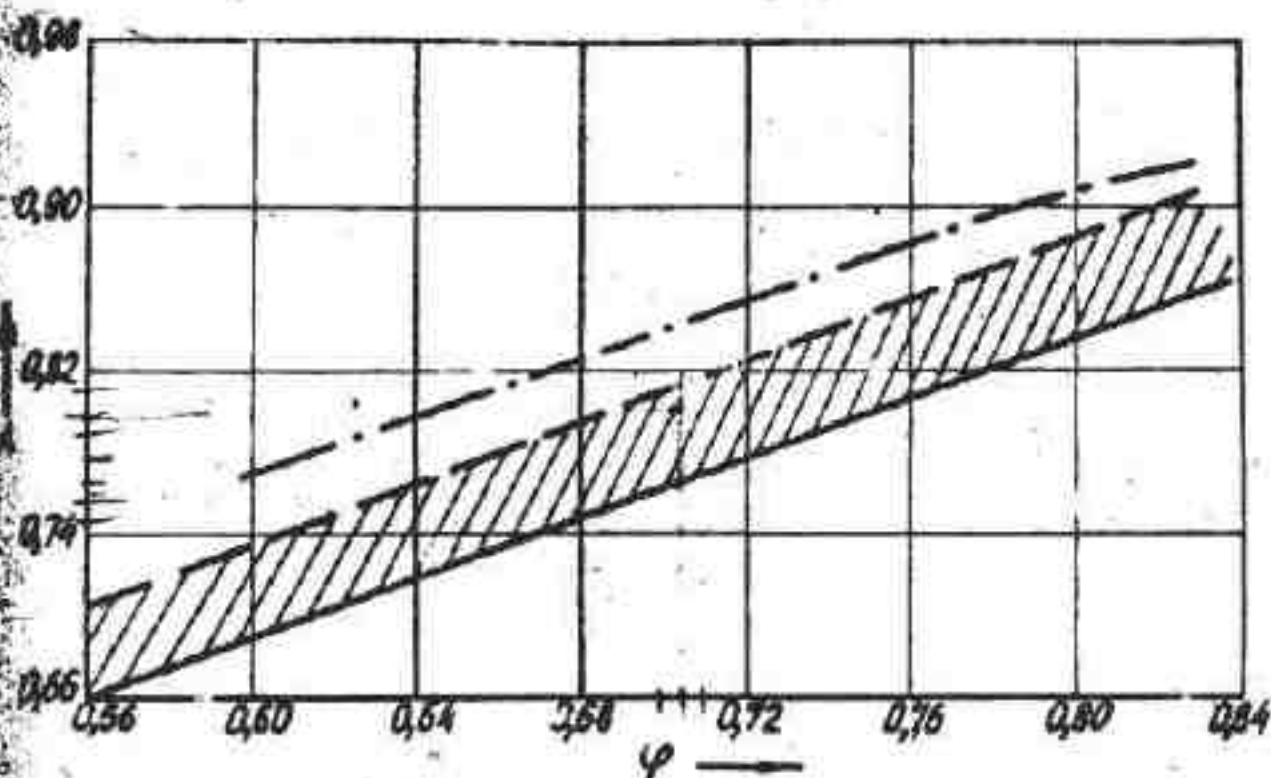


Рис. П.3. Пределы изменения коэффициента полноты грузовой ватерлинии  $\alpha$ : ——— заостренная с обеих сторон ГВЛ с V-образными носовыми шпангоутами; - - - - заостренная с обеих сторон ГВЛ с V-образными носовыми шпангоутами или при цилиндрических носовых обводах; - · - · - клинообразная ГВЛ

Использование кормы транцевого типа ведет к значительному увеличению коэффициента полноты ( $\alpha$ ), который зависит от относительной ширины ГВЛ на уровне кормового перпендикуляра  $B_{кв}/B$  (см. рис. 3.4) или ширины транца  $B_{тр}/B$ . В качестве примера на рис. П.3 штрих-пунктирной линией показана зависимость  $\alpha = f(\varphi)$  при  $B_{тр} = B^{0,75}$ . При  $B_{тр} < B$  значения  $\alpha$  будут занимать промежуточное положение между этой линией и заштрихованной зоной.

Коэффициенты полноты ГВЛ корпусов с транцевой кормой или цилиндрическими носовыми обводами можно непосредственно получать путем перестроения традиционной заостренной с обеих сторон ватерлинии, коэффициент  $\alpha$  для которой определяется обычным порядком по формулам или графикам. Для перестроения ГВЛ с транцевой кормой необходимо знать значения  $B_{тр}$  или  $B_{кв}$ , которые определяются конструктивными особенностями корпуса судна в районе кормовой части ГВЛ (например, наличием устройств или вооружения); или значение ширины ГВЛ на уровне диска гребного винта, которое определяется соотношением диаметра гребного винта к осадке (см. рис. 3.22). Кроме того, значения  $B_{тр}$  и

Вал могут быть получены непосредственно при построении корпусной ветви ГВЛ (см. рис. 3.21).

Для перестроения ГВЛ корпусов с цилиндрическими носовыми обводами необходимо знать относительную длину носового заострения  $L_{нз}^{вЛ}$ , минимальное значение которой при круговых обводах (см. табл. 3.1)  $(L_{нз}^{вЛ})_{\min} = 0,5B$  (рис. П.4).

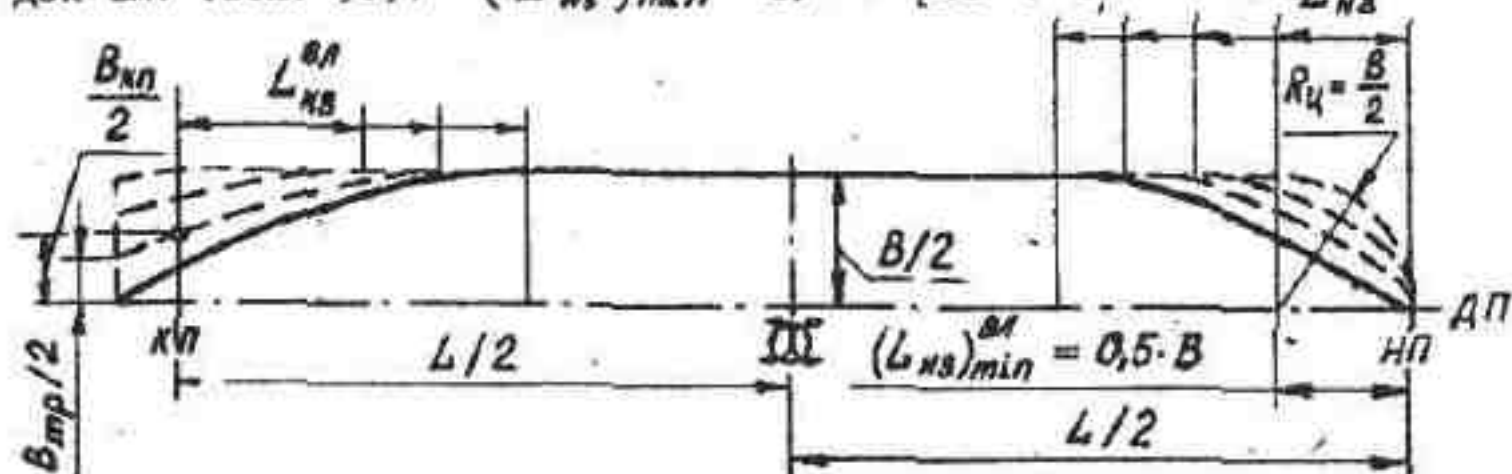


Рис. П.4. Перестроение обычной заостренной грузовой ватерлинии

При цилиндрических обводах  $L_{нз}^{вЛ}$  будет совпадать с длиной носового заострения ( $L_{нз}$ ) корпуса, значение которой определяется в зависимости от числа  $Fr$  или коэффициента общей полноты (см. рис. 3.1). Для построения круговых цилиндрических обводов при известном значении  $L_{нз} = L_{нз}^{вЛ}$  в первом приближении можно пользоваться упрощенным приемом, основанным

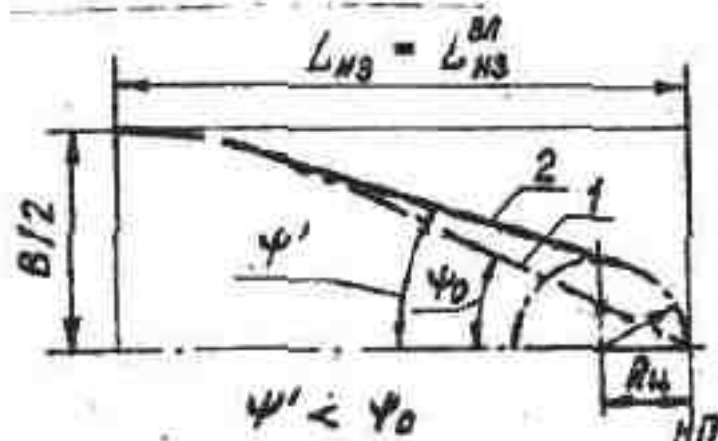


Рис. П.5. Схема построения ГВЛ с носовыми цилиндрическими обводами круговой формы: 1 - заостренная ватерлиния; 2 - касательная к окружности с радиусом  $R_{ц}$  и заостренной ватерлинии

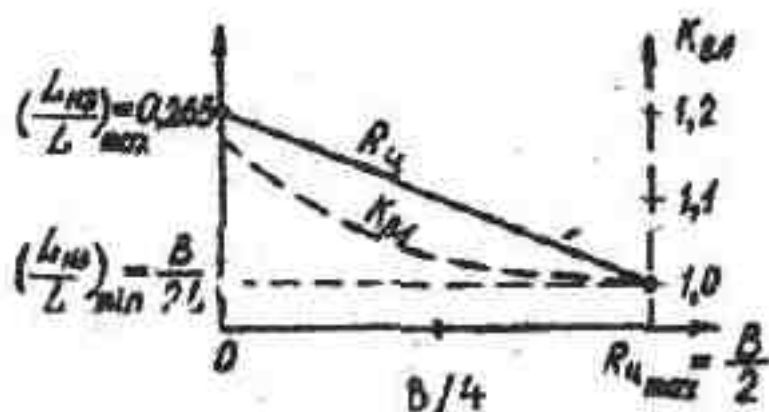
на пропорциональном изменении радиуса цилиндрического скругления ( $R_{ц}$ ) от  $L_{нз}/L$ , как это показано на рис. П.5 и П.6. Максимальное значение  $(L_{нз}/L)_{\max} = 0,265$

было получено по графику Линдблада (см. рис. 3.1) для минимального значения коэффициента общей полноты  $\delta_{\min} = 0,75$ , при превышении которого уже целесообразно применение цилиндрических носовых обводов (при  $L/B < 6,0$ ).

Рис. П.6. Графики для определения радиуса окружности ( $R_{\text{н}}$ ) и коэффициента  $K_{\text{н}}$ :

$$R_{\text{н}} = f(L_{\text{нз}}/L; B)$$

$$K_{\text{н}} = f(R_{\text{н}})$$



На рис. П.7 представлены пределы изменения относительной абсциссы центра величины ( $x_c/L$ ) в зависимости от коэффициента общей полноты ( $\delta$ ) для судов без развала бортов и килеватости днища. Заштрихованная зона, ограниченная сплошными линиями, соответствует обычным заостренным в оконечностях обводам корпуса, с правой верхней стороны этой зоны при  $\delta > 0,75$  построена штрих-пунктирная линия для корпусов с цилиндрическими носовыми обводами при заостренной корме, имеющих наибольшие положительные значения  $\bar{x}_c$  при  $L_{\text{нз}}^{\text{нз}}/B = 0,5$ .

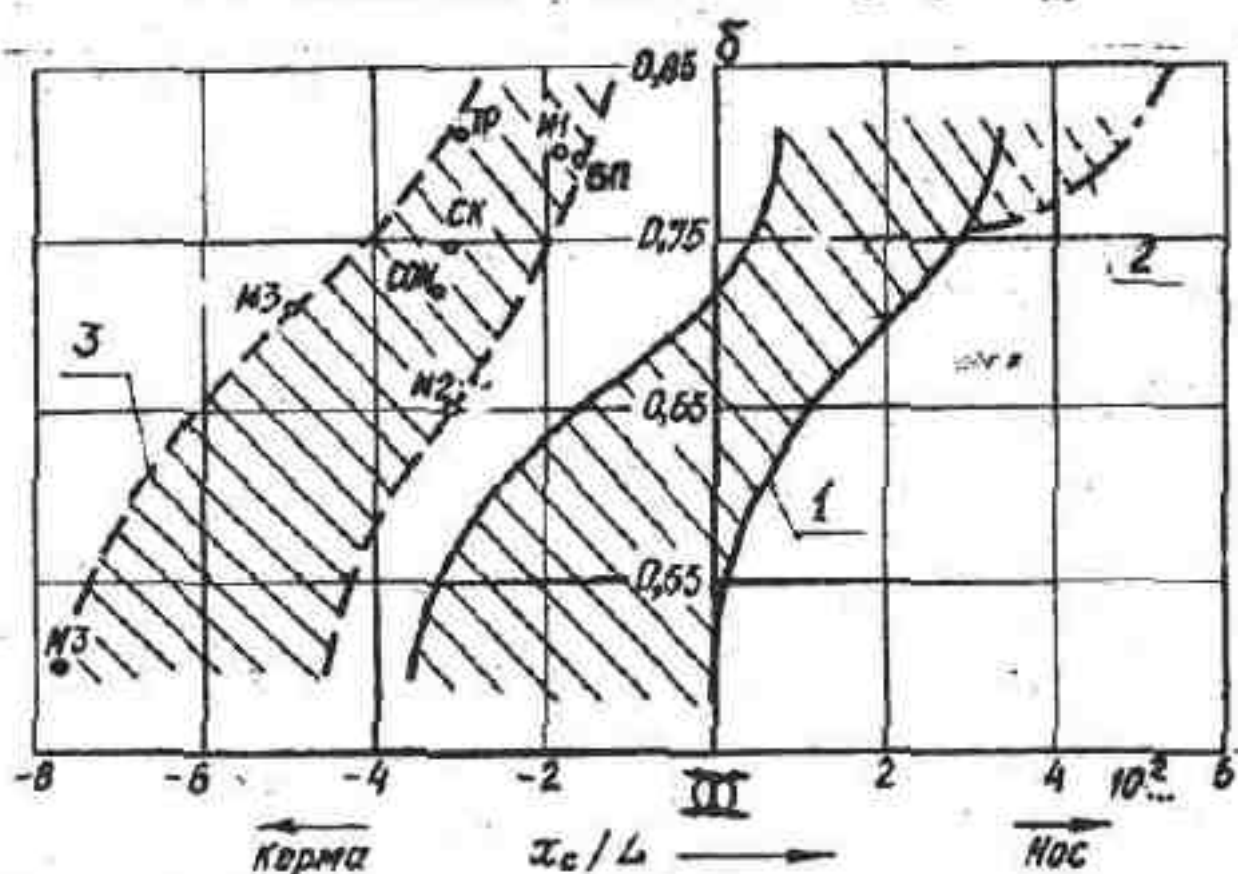
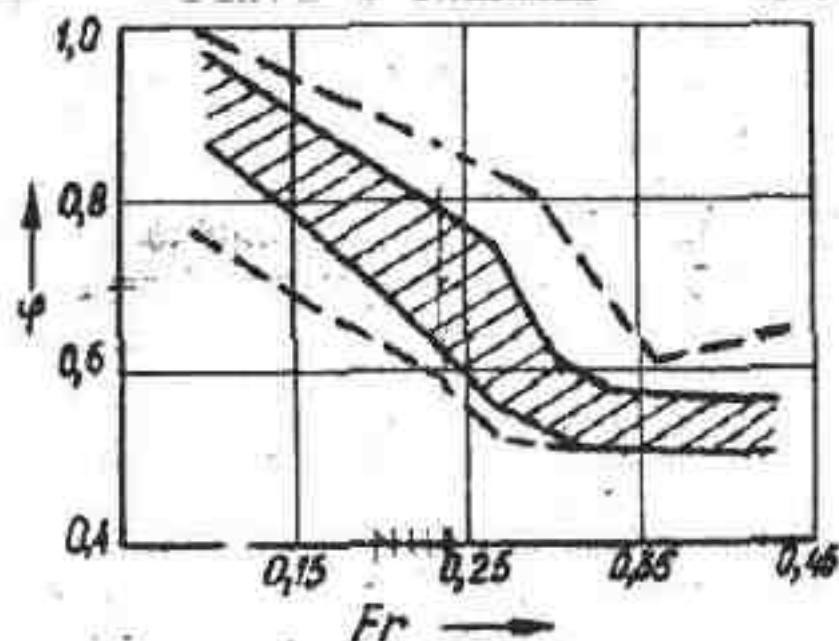


Рис. П.7. пределы изменения относительной абсциссы центра величины  $x_c/L$ : 1 - для заостренных носовых и кормовых обводов; 2 - для цилиндрических носовых и заостренных кормовых обводов (при  $\delta > 0,75$ ); 3 - для заостренных носовых и санообразных кормовых обводов при  $B_{\text{нз}} = B$



Заштрихованная зона, ограниченная триховыми линиями, соответствует заостренным носовым и сарнеобразным кормовым обводам корпуса при относительной ширине транца  $B_{\text{тр}}/B = 1$  (или близкой к единице). Такие обводы, особенно при V-образных носовых шпангоутах, приводят к значительному смещению центра величины в корму.

В случае использования на судах развала бортов или килеватости днища (см. рис. 3.23), что приводит к непосредственному уменьшению коэффициента полноты мидель-шпангоута ( $\beta$ ), определение коэффициентов формы корпуса необходимо начинать с коэффициента продольной полноты ( $\gamma$ ), который, как известно, наиболее точно отражает зависимость волнового сопротивления от полноты корпуса судна. При  $\beta \approx 1,0$ , определение коэффициентов формы принято начинать с коэффициента общей полноты, что методически считается более удобным, так как позволяет при  $\delta \approx \gamma$  достаточно точно определять буксировочное сопротивление судна.



На рис. П.8 показаны пределы изменения коэффициента продольной полноты ( $\gamma$ ) в зависимости от  $Fr$ , аналогичные показанные на рис. П.1. Положение центра величины по длине судна в зависимости от  $\gamma$  можно оценивать по графику (рис. П.9).

Коэффициент полноты мидель-шпангоута ( $\beta$ ) при изменении

Рис. П.8. Пределы изменения коэффициента продольной полноты  $\gamma$

формы поперечного сечения корпуса определяется заданными углами наклона борта и килеватости, или конфигурацией поперечного сечения корпуса. При этом радиус скулы можно принимать таким же, как для поперечного сечения без развала бортов и килеватости днища, определение  $\beta$  для которого, в свою очередь, необходимо производить по зависимости вида  $\beta = f(\gamma) / \eta$ .



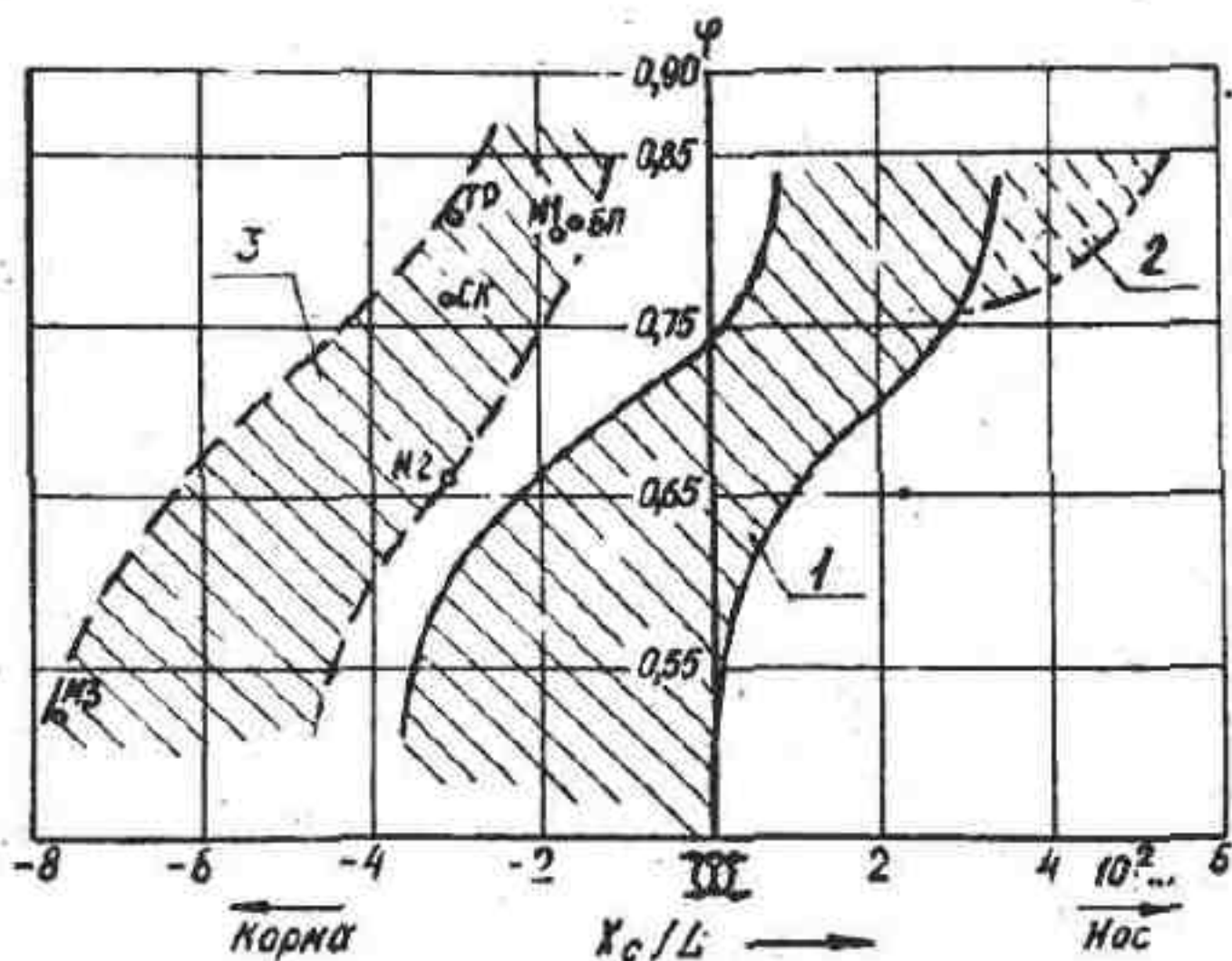


Рис. П.9. Пределы изменения относительной абсциссы центра тяжести  $X_c/L$  в зависимости от  $\psi$  : I - для заостренных носовых и кормовых обводов; II - для цилиндрических носовых и заостренных кормовых обводов (при  $\psi > 0,75$ ); III - для заостренных носовых и сандвичевых кормовых обводов при  $B_{кн} = B$

Приведенные зависимости пределов изменения коэффициентов формы корпуса и его относительной абсциссы центра тяжести удобно использовать в оптимизационных расчетах для определения приемлемых диапазонов изменения данных параметров.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	3
I. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ОБВОДОВ КОРПУСА СУДНА . . . . .	5
2. ВЫБОР ФОРМЫ ОКОНЕЧНОСТЕЙ И ШТЕВНЕЙ . . . . .	12
3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА . . . . .	29
3.1. Разработка строевой по шпангоутам . . . . .	30
3.2. Разработка грузовой ватерлинии . . . . .	52
3.2.1. Заостренная с обеих сторон ГВЛ с цилиндрическим носом . . . . .	58
3.2.2. Усеченная с кормы ГВЛ . . . . .	60
3.2.3. Клинообразная ГВЛ при $B_{ка} = B$ . . . . .	62
3.3. Построение обвода мидель-шпангоута . . . . .	63
3.3.1. Мидель-шпангоут без развала борта и килеватости днища . . . . .	64
3.3.2. Мидель-шпангоут без развала борта и с килеватостью днища $A_k$ . . . . .	64
3.3.3. Мидель-шпангоут без килеватости днища и с развалом борта . . . . .	65
3.4. Построение сетки теоретического чертежа . . . . .	67
3.5. Разработка диаметрального батокса . . . . .	69
4. ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА МЕТОДОМ ХУДОЖЕСТВЕННОГО РИСОВАНИЯ . . . . .	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	78
ПРИЛОЖЕНИЕ. Выбор коэффициентов полноты и абсциссы центра величины корпуса судна . . . . .	79

Николай Александрович Кьтник

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА  
КОРПУСА СУДНА

Учебное пособие

Научный редактор С. В. Кошкин, канд. техн. наук, доц.

Редактор Г. Н. Горькавал

Подписано в печать 28.12.92

Формат 60x84 Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 4,5 Тираж 200. Заказ 8957.

Цена 26 р

Комсомольский-на-Амуре политехнический институт  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27

Полиграфическая лаборатория

Комсомольского-на-Амуре политехнического института.  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.