

# ON THE DESIGN OF LINES FOR MERCHANT SHIPS

by  
Anders Lindblad

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБВОДОВ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ

*Перевод с английского язык. Э. Г. Логвинова*

*Научное редактирование и предисловие  
проф. доктора техн. наук В. В. Ашкина*



В книге рассматриваются вопросы выбора главных размерений, коэффициентов податливости, формы обводов судовых корпусов с коэффициентами облей волноты 0,56—0,81. Отдельно главы посвящены быстротходным пассажирским судам с желой осадкой, приспособленным для заправки в арктике. Приведен значительный статистический материал и обобщены данные серийных испытаний моделей судов в Гётеборге, а также данные других экспериментов. Подробно рассматриваются факторы, влияющие на выбор характеристик теоретического чертежа транспортных судов, приводятся большое число примеров и много теоретических чертежей.

Книга рассчитана на специалистов по проектированию судов, преподавателей и студентов кораблестроительных вузов и факультетов.

#### ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА

По вопросам проектирования судовых обводов и связанным с этим проблемам в настоящее время в распоряжении кораблестроителя имеется обширная литература. Эта литература в большинстве своем состоит из статей в технических журналах или трудов и сообщений различных технических обществ. Наши знания в этой области пополняются также сообщениями опытных бассейнов всего мира.

Однако многие из этих публикаций труднодоступны, многие устарели. Поэтому необходима книга, которая обобщает опыт испытаний моделей за последние десятилетия. В связи с этим я хотел дать такие сведения и результаты экспериментов, которые, мне кажется, имеют особое значение при проектировании обводов обычных судов.

Объем книги ввиду необходимости ограничен. Малые суда, например траулеры, буксиры и суда прибрежного плавания, в книге вообще не рассматриваются, так как им посвящаются обширная литература. Из этой литературы кораблестроитель может получить необходимую информацию, в том числе о проектировании обводов. Не рассмотрены также вопросы выбора обводов военных кораблей.

Андерс Ландблад

#### ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Выпускаемая в русском переводе книга по проектированию обводов транспортных судов принадлежит перу Андерса Ландблада, профессора Высшей технической школы им. Чальмерса в Гётеборге (Швеция). Автор книги известен нашему читателю по ссылкам на его работы в ряде книг советских специалистов по проектированию и ходкости судов.

Как известно, для выбора теоретического чертежа, обеспечивающего проектируемому судну наилучшие показатели, в распоряжении проектианта должен находиться материал по проведению в натуре или хотя бы в бассейне обводов других судов,

близких к проектируемому. В публикуемой книге содержится обширный материал по обводам значительного количества транспортных судов с коэффициентами общей полноты от 0,81 до 0,50. Этот материал основан частично на исследованиях автора, выполнившего ряд работ в Швеции и в США, а частично на критически рассмотренных автором исследованиях других специалистов.

Приводимые в книге многочисленные теоретические чертежи грузируются по величине коэффициентов общей полноты, что облегчает пользование книгой как справочником, так как для судов сределевального типа коэффициенты общей полноты изменяются в сравнительно ограниченных пределах.

Для каждой группы судов, соответствующей определенным пределам изменения коэффициента общей полноты, в книге даны рекомендации по выбору обводов, сопровождающиеся критическими замечаниями по публикуемым чертежам. Следует отметить, что эти рекомендации основываются, главным образом, на соображениях по ходкости, но также по устойчивости, жесткости и прочности (борьба со слеммингом).

Иж. Э. Г. Логанович, переведший книгу с английского языка,<sup>1</sup> выполнял большую работу по пересчету величин, характеризующих обводы судов, с английских мер в метрические или в безразмерные, что делает книгу более удобной для читателя.

Книга рекомендуется в качестве пособия при проектировании теоретического чертежа кораблестроителям-конструкторам, работникам испытательных бассейнов, студентам и преподавателям.

<sup>1</sup> Перевод книги со шведского языка на английский язык в 1961 г. и был выполнен И. Т. Фергюсоном под редакцией К. Фоллома.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- $B$  — ширина судна, м
- $\odot = \frac{EPS}{\delta D^3} = 0,0033 \frac{\mu}{D^3} \quad \mu$  — коэффициент буксировочной ходкости в английской системе характеристик ходкости судов (американский коэффициент по В. Фруду).<sup>1</sup>
- $D$  — диаметр цилиндрической гонимости, м
- $\frac{DHP}{\delta HP}$  — действит. г.
- $Fr = \frac{0,514v}{\sqrt{L}}$  — относительная скорость (число Фруда).
- $R_{гв}$  — радиус дельты в борту (калевность), м
- $L$  — длина судна (лодки), м
- $L_f$  — длина судна, фута
- $L_{г.л.}$  — длина между переборками, м
- $L_{в.л.}$  — длина по конструктивной ватерлинии, м
- $L_{в.з.}$  — длина носового заострения, м
- $L_{к.л.}$  — длина цилиндрической гонимости, м
- $L_{к.з.}$  — длина кормового заострения, м
- $L = \frac{L}{\sqrt{V}}$  — относительная длина.
- $\odot = \frac{0,514 v}{\sqrt{\frac{R_{гв}^2 \mu, л}{2\pi}}} = Fr \sqrt{\frac{2\pi}{v}}$  — безразмерный коэффициент скорости.<sup>1</sup>
- $R_k$  — диаметр сокращения, м
- $R_{ок}$  — радиус окружного закругления, м
- $S_m$  — погружаемая площадь киля около любого диаметра (модель киля-платформа), м<sup>2</sup>.
- $T$  — осадка судна, м
- $V$  — объемное displacement, м<sup>3</sup>.
- $v$  — скорость хода, узлов
- $X_c$  — относительная величина от средней длины судна.

<sup>1</sup> Подробнее — см. Я. И. Войткевич, Р. Я. Пермяк и А. Та-род, Справочник по теории корабля, Судостроение, 1960, стр. 232—234.—Прим. авт.

- \* — коэффициент полноты конструктивной (грубой) ватерлинии
- \*<sub>кк</sub> — угол ватерлинии конструктивной ватерлинии (угол носового заострения).
- β — коэффициент полноты мидель-эллипса.
- Δ — носовое удлинение, ант. т.
- ξ — коэффициент общей полноты.
- ξ<sub>к</sub> — коэффициент полноты водонизводящей носовой части судна.
- ξ<sub>к</sub> — коэффициент полноты водонизводящей кормовой части судна.
- γ — коэффициент продольной полноты.
- γ<sub>к</sub> — коэффициент продольной полноты носовой части судна.
- γ<sub>к</sub> — коэффициент продольной полноты кормовой части судна.
- U — скорость поворота, м.

Сокращения

- С.Т.Н. — Chalmers Tekniska Högskola.
- I.E.S.S. — Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland.
- I.N.A. — Institution of Naval Architects.
- N.E.C.I. — North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders.
- S.N.A.M.E. — Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- S.S.R. — The Shipbuilding and Shipping Record.
- T.M.B. — Taylor Model Basin.

ГЛАВА I  
ВЫБОР ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СУДА

В сведениях о судне, как правило, приводятся длина между перпендикулярами  $L_{1,1}$ . Коэффициенты формы также обычно относятся к этой длине.

Зачастую, особенно при расчетах ходкости, более правильно пользоваться «действующей» длиной по ватерлинии  $L_{в.л.}$ , что, однако, вызывает некоторые практические затруднения. Обычно длину между перпендикулярами можно определить на самой ранней стадии проектирования, прежде чем устанавливаются длину и форму кормы, которыми определяется длина по ватерлинии. Для одновинтовых судов не всегда возможно сразу определить длину амбразуры гребного вала.

В этом случае можно воспользоваться данными ван Ламмерена по расчетной длине  $L_{\lambda} = L_{в.л.}$ , которыми учитывается наличие крейсерской кормы и амбразуры гребного вала [23]. Расчетами установлено следующая зависимость между  $L_{\lambda}$  и  $L_{1,1}$ :

Для судов с крейсерской кормой:	
одно- и трехвинтовых . . . . .	$L_{\lambda} = 1,01L_{1,1}$
двух- и четырехвинтовых . . . . .	$L_{\lambda} = 1,03L_{1,1}$
Для судов с эллиптической кормой:	
одно- и трехвинтовых . . . . .	$L_{\lambda} = 0,99L_{1,1}$
двух- и четырехвинтовых . . . . .	$L_{\lambda} = L_{1,1}$

В указанных случаях важно знать, как располагаются середины длин  $L_{\lambda}$  и  $L_{1,1}$  одна относительно другой. Это особенно важно, когда сравниваются разнородные данные, касающиеся наиболее выгодного положения центра вращений по длине  $L_{\lambda}$ . Например, на рис. 1, а следует, что если для случая I центр вращений расположен на  $0,01 L_{1,1}$  в нос от  $L_{1,1}/2$ , то это эквивалентно его положению на  $0,015 L_{1,1}$  в нос от  $L_{\lambda}/2$ .

Для приближенного определения длины судна предложены различные формулы. Одна из наиболее известных — формула Позднина [31]:

$$L = cV^{1/3} \left( \frac{v}{v+2} \right)^2, \quad (1)$$

где  $c$  — коэффициент, первоначальное значение которого было принято равным 7,65. Позже для Ламмерен, основываясь на

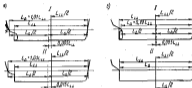


Рис. 1. Зависимость между расчетной длиной  $L_k$  и длиной между перпендикулярами  $L_{1-1}$ :  
а — крейсерская корма.  
б — одно- и трехмачтовый суды: окоренка  $L_{1-1}$  — на 0,05  $L_{1-1}$  и нос от середины  $L_{1-1}$ ;  $L_k$  — двухмачтовый суды: окоренка  $L_{1-1}$  — на 0,05  $L_{1-1}$  и нос от середины  $L_{1-1}$ .

в — аллютежеская корма.  
г — одно- и трехмачтовый суды: окоренка  $L_{1-1}$  — на 0,05  $L_{1-1}$  и корму от середины  $L_{1-1}$ ;  $L_k$  — двухмачтовый суды: окоренка  $L_{1-1}$  совпадает с серединой  $L_{1-1}$ .

данных Голландского опытового бассейна, нашел следующие величины этого коэффициента [23]:

	н. ум.	c
Для одномастных судов	11—15,5	7,30
• двухмачтовых	15,5—18,5	7,35
• быстрозащитных лайнеров	>20	7,65

Егер критически пересмотрел формулу Позднина и предложил другую, которая, как полагают, дает приемлемые значения длины судна [17]:

$$\sqrt{L_{1-1}} = \sqrt[3]{p+q} + \sqrt[3]{p-q}, \quad (2)$$

Формулу (2) вряд ли можно рассматривать, так как при всей своей сложности она не обладает повышенной точностью. Значительно большей интерес представляет простая формула Я. М. Носова:  $L=2,33 v^{1/3} V^{1/3}$  — *Прож. паров. ред.*

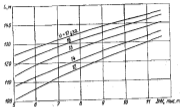


Рис. 2. Примерная длина сухогрузных судов заданной 5000—12000 т.

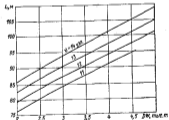


Рис. 3. Примерная длина сухогрузных судов заданной 2000—5000 т.

где

$$\rho = \Delta D^{1/3},$$

$$q = \Delta D^{1/3} V \sqrt{\sigma^2 - 2D^{1/3}},$$

$\delta$  — коэффициент, значения которого следующие:

Для буксиров, судов прорывного плавания и подобных судов, движущихся с высокой скоростью . . . . .	2/3
Для грузовых, грузо-пассажирских, пассажирских судов, судов проливных плаваний, мотовалов и крейсеров . . . . .	3/5
Для трансатлантических судов более 30 000 т . . . . .	1

Однако формулы (1) и (2) применяются довольно редко. Большинство кораблестроителей предпочитают при разработке

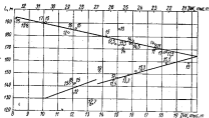


Рис. 4. Примерная длина танкеров водоизм. 10 000 — 32 000 т. Цифры обозначают скорость хода в узлах.

проекта использовать данные по построенным судам. При этом суда обычно группируют в соответствии с их типом и назначением и строят графики для каждой отдельной группы.

Диаграммы, представленные на рис. 2, 3 и 4, построены именно таким образом. Они дают средние значения длин всевозможных судов, многие из которых — дизельные.

Большое отклонение от значений диаграммы рис. 2 частично зависит от того, оборудовано ли судно паровой машиной или дизелем, клеваное оно или сварное.

Диаграмма рис. 3 дает длину сухогрузных судов водоизм. 2—5 тыс. т. Сюда не относятся танкерные суда прибреж-

ного плавания, размеры которых зачастую определяют с учетом ограничительных условий, например существующих глубин в портах.

На размеры пассажирских судов настолько большое влияние оказывают размеры надстроек и число палуб, что обобщить данные по длинам этих судов невозможно. В шире большей степени это относится к шваране таких судов.

Для грузо-пассажирских судов с небольшим количеством пассажирских мест можно использовать диаграммы рис. 2 и 3.

На рис. 4 показана длина танкеров. Эти суда заметно отличаются от сухогрузных как по коэффициенту использования водоизмещения, так и по отношению  $L/B$ .

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ СУДА

### Отношение длины к ширине

При данном водоизмещении сопротивление трения всегда возрастает с увеличением длины. С другой стороны, волновое сопротивление с увеличением длины понижается. Поэтому для данного водоизмещения, как правило, существует определенная длина, которая дает минимум полного сопротивления. Эту длину нетрудно определять по стандартной серии Тэйлора.

По указанному вопросу было выполнено много исследований. Они показали, что если несколько уменьшить длину против обеспечивающей минимальное сопротивление, соответственно увеличив ширину, сопротивление возрастет незначительно. Поэтому из практических соображений всегда выбирают меньшую длину, чем та, которая соответствует минимальному сопротивлению, и увеличивают другие размеры, особенно ширину.

Испытания моделей показали, что можно, не увеличивая значительно сопротивление, принимать гораздо большую ширину судов, чем считали допустимым ранее; практический опыт подтвердил это.

Статистика судостроения также подтверждает, что не следует опасаться строить широкое суда.

Ширину устанавливают, исходя главным образом из соображений устойчивости. На сухогрузных судах, как и на пассажирских, необходимость увеличения помещений для экипажа и пассажиров привела к росту размеров надстроек и соответственно к смещению центра тяжести вверх. Это вынуждает увеличивать ширину таких судов.

Для паромов и экскурсионных судов также необходимо назначать очень большую ширину.

## Отношение ширины к осадке

Влияние, которое оказывает отношение  $B/T$  на сопротивление, подробно исследовано как для сопротивления трения, так и для волнового сопротивления.

При низких скоростях сопротивление трения составляет очень большую долю полного сопротивления. Например, для судна длиной 120 м при скорости 10—11 узлов сопротивление трения зачастую достигает 80—85% от полного. Даже для острых судов при более высоких скоростях доля сопротивления трения может составлять значительную часть полного. Для 120-метрового судна при 16 узлах оно все еще составляет 70—

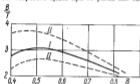


Рис. 5. Зависимость волнового сопротивления  $\Omega$  от коэффициента  $\delta$  и отношения  $B/T$ .

I — ширина осадочной поверхности; II — отношение ширины к осадке на 7%.

75% от полного сопротивления. Поэтому ясно, что при установлении размеров судна следует уделять внимание величине смоченной поверхности и ее изменению при различных значениях  $L/B$  и  $B/T$ .

Увеличение длины всегда сопровождается увеличением смоченной поверхности  $\Omega$ . Влияние отношения  $B/T$  на величину  $\Omega$  изучали различные исследователи, в среди них — Рота [34] и Тэйлор [40].

Весма научительная диаграмма приведена в книге Карп [18]; она показана на рис. 5. Эта диаграмма хорошо согласуется с расчетами, выполненными по нескольким сериям моделей, испытанных в Мичиганском университете.<sup>1</sup>

Из рис. 5 видно, что при высоких коэффициентах общей волноты следовало бы принимать наибольшие значения  $B/T$ . При  $\delta = 0,60$  наиболее выгодна величина  $B/T = 2,25$ , а при  $\delta = 0,70$  минимум значения  $\Omega$  дает  $B/T = 2,6$ . Для меньших коэффициентов общей волноты наилучший результат достигается при  $B/T = 3,0$ . Кроме того, диаграмма показывает, что можно заме-

<sup>1</sup> Из известной формулы Мумфорд соответствующим минимуму смоченной поверхности волноты  $\frac{B}{T} = \frac{L}{\lambda}$ , что близко совпадает с кривой I рис. 5 в пределах  $\delta = 0,55 - 0,60$ . — Прим. перек. ред.

нить  $B/T$  в довольно широких пределах, не увеличивая заметно величину  $\Omega$ , т. е. выбирать  $B/T$ , исходя из известных первоочереднейших соображений, не связанных с сопротивлением.

Большим средом форштевня и укорочением нижних ватерлиний в носовой оконечности можно уменьшить величину  $\Omega$  существенно, чем за счет изменения ширины к осадке.

На волновое сопротивление отношение  $B/T$  влияет гораздо сильнее, чем на сопротивление трения.

Иногда отношение  $B/T$  необходимо изменять при достоянной погруженной площади мидель-шпангоута и фиксированном водоземлеании. Для полных судов, очевидно, чем меньше отношение  $B/T$ , тем меньше становится волновое сопротивление и, как правило, полное сопротивление.

Наиболее практический предел значения  $B/T$  зачастую определяют с учетом условий устойчивости и существующих глубин в портах. Значений  $B/T$ , меньших чем примерно 2,15, как правило, следует избегать.

Даже для острых судов волновое сопротивление почти всегда наименьшее при малых значениях  $B/T$ , но минимум сопротивления трения зачастую достигается при  $B/T = 2,7 - 3,0$ . Полное сопротивление обычно минимально при  $B/T = 2,4 - 2,6$ .

Для быстродвижных судов малого водоизмещения вышеуказанное не является справедливым; для них необходимо принимать большие отношения  $B/T$ .

При достоянной площади мидель-шпангоута можно изменять отношение  $B/T$  в разумных пределах, не вызывающих большого изменения волнового сопротивления. Это положение, первоначально сформулированное Фрудом, действительно даже для большинства новых типов судов с умеренными и высокими скоростями хода.

## ОТНОШЕНИЕ ДЛИНЫ К ШИРИНЕ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

При выполнении проекта кораблестроителя не всегда может в полном объеме прийти в расчет все imaginable выше о сопротивлении. Вместо этого чаще приходится использовать материалы по построенным судам.

На рис. 6 показаны значения  $L/B$  для большого числа судов. По-видимому, для меньших судов другие значения принимают относительно большую ширину, чем для крупных.

Бушеры, парамы и траулеры имеют необычно большую ширину по отношению к их длине. Ниже даны характерные значения  $L/B$  для разных судов:

Бушеры	3,5—4,5
Суда прибрежного назначения	3,3—4,5
Крупные грузовые суда	6,5—8,5

Связь между шириной и длиной часто выражают формулой

$$B = 0,1L + K, \quad (3)$$

где  $K$  — численный коэффициент.

Эта зависимость и типичные значения коэффициента  $K$  показаны на рис. 7.

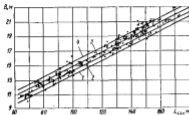


Рис. 6. Взаимозависимость между длиной и шириной.

1 —  $B = 0,1L + 3,05$  м; 2 —  $B = 0,1L + 4,35$  м; 3 —  $B = 0,1L + 4,81$  м; 4 —  $B = 0,1L + 5,48$  м;  $\Gamma$  — танкер.

Для более крупных судов значения  $K$  находятся в пределах от 4,3 до 5,2; для судов длиной 110—150 м оно обычно равно 4,5—5,2. Для более крупных танкеров величину  $K$  принимают

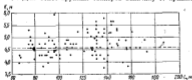


Рис. 7. Значения коэффициента  $K$  в формуле (3) для построенных судов (1950 г.).

1 —  $K = 4,81$  м; 2 —  $0,1L + 4,81$  м.

равной 5,2—6,1; для больших океанских пассажирских судов этот коэффициент иногда достигает 6,1—7,3. На рис. 7 точками обозначены суда, построенные в Швеции.

## ГЛАВА II

### ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ

#### КОЭФФИЦИЕНТ ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ

Коэффициент общей полноты  $\delta$  следует определить одновременно с главными размерениями. Этот коэффициент зависит главным образом от заданной скорости хода и выбранной длины.

Некоторые другие факторы также влияют на выбор коэффициента  $\delta$ . Совершенно очевидно, что чем больше этот коэффициент у судна и чем оно короче, тем дешевле его постройка. С этой точки зрения предпочтительно возможно большее значение  $\delta$ .

Следует также учитывать длину предполагаемых рейсов и характерные для них метеорологические условия. Например, при плавании в Северной Атлантике трудно сохранить скорость хода в свежую погоду, если у судна большой коэффициент общей полноты, чем если бы оно имело более острые обводы. Кент показал, например, что волны высотой всего в 1 м могут увеличить сопротивление волных судов примерно на 15% [20].

С другой стороны, для судов арктического плавания и судов, эксплуатируемых в спокойных водах, могут быть экономически выгодными большие коэффициенты  $\delta$ .

При выборе коэффициента  $\delta$  следует также принимать во внимание то, что волнение и ветер влияют на крупные суда меньше. Например, 150-метровый танкер без риска можно спроектировать гораздо более полным, чем 90-метровый.

На рис. 8 даны величины коэффициента общей полноты, рекомендуемые различными авторами.

Один из наиболее ранних предложений — предложение Хьба [15], основанные на данных по испытаниям натурных судов, почти совпадают с более поздней кривой Файфа [13].

Восьмая раскрасотраненная формула для подсчета коэффициента  $\delta$  дана Александром:

$$\delta = k - 1,68 Fv. \quad (4)$$

Коэффициент  $k$  обычно принимают в пределах 1,04—1,06 (раньше часто принимали  $k = 1,04$ —1,06).



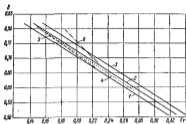


Рис. 8. Зависимость коэффициента  $\delta$  от числа  $Fr$ .  
 1 —  $k = 1,04 - 1,08$   $Fr$ ; 2 —  $k = 1,06 - 1,08$   $Fr$ ; 3 —  $k = 1,08 - 1,08$   $Fr$ ; 4 — Веллеровской формулы; 5 — Фабба; 6 — Хейкзера.

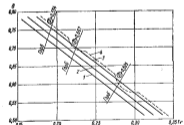


Рис. 9. Зависимость коэффициента  $\delta$  от числа  $Fr$  в горбах сопротивления.  
 1 —  $k = 1,04 - 1,08$   $Fr$ ; 2 —  $k = 1,06 - 1,08$   $Fr$ ; 3 —  $k = 1,08 - 1,08$   $Fr$ ;  
 4 — формула Фаббы (параллельные участки —  $k = 1,08 - 1,08$   $Fr$ ).

Величина коэффициента  $\delta$  в значительной степени зависит от того, в какой зоне волновой интерференции должно плавать судно. По этому вопросу Бакер и Кент дали очень ценные материалы [4].

В зависимости от интерференции носовой и кормовой систем волн на корме сопротивления при различных скоростях хода возникают горбы и впадины. Наиболее трудно спроектировать удачные обводы судна в районе повышенного сопротивления.

На диаграмме рис. 9, основанной на теории Бакера и Кента, показаны области, в которых можно ожидать неблагоприятной

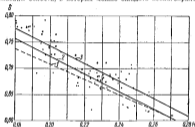


Рис. 10. Зависимость коэффициента  $\delta$  от числа  $Fr$ .  
 1 —  $k = 1,08 - 1,04$   $Fr$  (Хейкзер); 2 —  $k = 1,06 - 1,08$   $Fr$ ; 3 —  $k = 1,08 - 1,08$   $Fr$ .

интерференции волн. В районе горба сопротивления следует назначать пониженный коэффициент  $\delta$ . Веллер [41] рекомендовал понижать  $\delta$ , как показано на его кривой на рис. 9, где она нанесена пунктиром вместе с кривыми, основанными на формуле Александра (сплошные линии).

При повышенных скоростях хода лучше принимать  $\delta = 1,08 - 1,08$   $Fr$ . В районах горбов сопротивления обычно достаточно снизить коэффициент  $k$  до 1,06.

На рис. 10 даны коэффициенты общей полноты большого Числа построенных судов (коэффициент общей полноты отнесения  $K_{L,1}$ ). Эта диаграмма показывает, что при пониженных скоростях хода (до  $Fr = 0,195$ ) можно уверенно пользоваться формулой Александра с коэффициентом  $k = 1,10$ . При более высоких скоростях следует обычно придерживаться величин  $k = 1,06 - 1,08$ . Соответствующие кривые нанесены на рис. 10; кроме того, на рисунке дана кривая Хейкзера [14].

### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ МИДЕЛЬ-ШАНГОУТА

Коэффициент полноты мидель-шангоута  $\beta$  можно, как правило, определить на ранней стадии проектирования — он тесно связан с коэффициентом  $\delta$ .

На рис. 11 показаны значения  $\beta$ , рекомендуемые различными авторами. Кривые, полученные ранее, например кривая Скрибанти, дают меньшие величины, чем приведенные в настоящее время.

Последние модельные испытания показали, что обычно можно достигнуть минимума сопротивления при большой площади мидель-шангоута.

Судостроительная практика отражена на рис. 12, где даны значения коэффициентов  $\beta$  для большого числа построенных судов (1950 г.). Особенно показательна большая величина  $\beta$  у танкеров и других грузовых судов с большим коэффициентом  $\delta$ <sup>1</sup>.

Подробно выбор подходящего коэффициента полноты мидель-шангоута рассмотрен в последующих разделах книги.

### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ ГРУЗОВЫХ ВАТЕРЛАНИИ

Коэффициент полноты грузовой ватерлинии  $\alpha$  не всегда является непосредственным критерием величины сопротивления. Практически его можно изменять в более широких пределах, чем другие коэффициенты формы, без большого изменения сопротивления. Это особенно справедливо для кормовой части площади ватерлинии.

Однако необходимость оценки начальной остойчивости зачастую требует ясного представления о волноте ватерлинии, так как величина момента инерции площади ватерлинии зависит от коэффициента ее полноты.

Форма шангоутов оказывает большое влияние на волноту ватерлинии. Если, например, принимать V-образные шангоуты, ватерлинии будет иметь большую полноту, чем при U-образных. Это частично объясняет, почему в различных случаях рекомендуют разные значения  $\alpha$  (рис. 13).

В настоящее время правила безопасности требуют выполнения норм остойчивости. Поэтому значения  $\alpha$  принимают большими, чем рекомендуют Бауэр [9] и Скрибанти. Хорошим пособием служит рис. 14, где показаны коэффициенты  $\alpha$  для построенных судов.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Исходя из современных тенденций, коэффициент  $\beta$  можно определять по формуле:  $\beta = \delta^2$  или даже  $\beta = \delta^2 + 0,01 + 0,03$ . — Прим. автора ред.

<sup>2</sup> Средние кривые для рис. 14 можно быть выражены зависимостью  $\alpha = 0,36\delta^2$ . — Прим. автора ред.

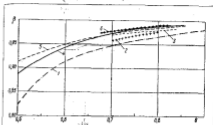


Рис. 11. Зависимость коэффициента  $\beta$  от коэффициента  $\delta$ .  
1 — Скрибанти; 2 — The Shipbuilding and Shipping Record; 3 — Лоури-Брай; 4 — Мюр; 5 — Фалк; 6 — Денблор.

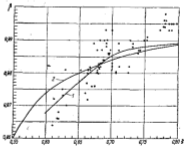


Рис. 12. Коэффициенты  $\beta$  для построенных судов (1950 г.).  
1 — танкеры (ОКЛ); 2 — грузовые суда (БГ).

### КОЭФФИЦИЕНТ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНОТЫ

Для тихоходных судов коэффициент общей волноты  $\delta$  служит хорошим критерием для оценки ходкости. Для острых судов нужно также знать величину коэффициента продольной волноты  $\varphi$ . Это объясняется следующим.

Между коэффициентом продольной волноты и другими коэффициентами формы существует соотношение:  $\varphi = \delta/\beta$ . Если определены значения  $\delta$  и  $\beta$ , тем самым установлено значение коэффициента продольной волноты. Но при высоких коэффициентах общей волноты величина  $\beta$  обычно изменяется весьма мало для определенного значения  $\delta$ . Поэтому зачастую удобнее определять сопротивляемость в зависимости от коэффициента общей волноты.

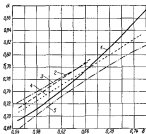


Рис. 13. Коэффициент  $\varphi$ .

1 — серия морских однокорпусных судов С. Т. Н.; 2 — The Admiralty Cruiser (высокая скорость); 3 — серия морских двухкорпусных судов С. Т. Н.; 4 — баржа; 5 — The Admiralty Cruiser (средняя и малая скорости).

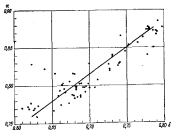


Рис. 14. Коэффициенты  $\varphi$  для острых судов (1930 г.).

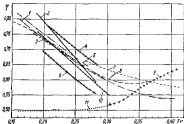


Рис. 15. Зависимость коэффициента  $\varphi$  от числа Fr.

1 — фрегат; 2 — канонерка; 3 — баркас; 4 — Ланет (100—120); 5 — баржа; 6 — Ланет (120—140); 7 — Кора (посадочная скорость); 8 — The Admiralty Cruiser (быстро); 9 — Тройлер; 10 — Византийский баркас; 11 — The Admiralty Cruiser (низкая скорость).

С другой стороны, при более высоких скоростях хода и меньшей волноте обводов можно выбирать величину  $\delta$  и широким пределом, и таким образом при одинаковом коэффициенте общей волноты получать различные значения коэффициента продольной волноты. В районе этих скоростей для анализа и оценки обводов и сопротивляемости следует знать величину  $\varphi$ .

Эксперименты Тэйлора хорошо показали, что не следует выбирать наибольшую возможную величину  $\varphi$ , зачастую лучше принимать более высокие его значения при определенных высоких скоростях. Это особенно важно при  $Fr > 0,30$  (см. также гл. VII).

Равным образом необходимо знать величину коэффициента продольной полноты, когда неслучается зона горбов и впадин сопротивления. Вокер поэтому включил значения  $\varphi$  в свои диаграммы (2). Тэйлор и некоторые другие также выражали результаты исследований в зависимости от величины  $\varphi$ .

На рис. 15 и 16 показаны значения  $\varphi$ , рекомендуемые различными авторами. Наиболее известные кривые даны вначале Файфом [13], а затем Бэйтсом [8].

Из диаграмм видно, что эти кривые совпадают почти до  $Fr = 0,3$ . The Shipbuilding Cyclopedic дает гораздо большие значения  $\varphi$  для более высоких скоростей, что соответствует данным Тэйлора.

Интересно рассмотреть кривую, которая согласно The Shipbuilding Cyclopedic дает минимальное сопротивление (на рис. 15

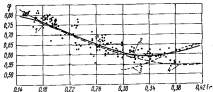


Рис. 15. Зависимость коэффициента  $\varphi$  от числа  $Fr$ .

1 — Файфу; 2 — The Shipbuilding Cyclopedic (Бэйтс); 3 — Тэйлор (минимальное сопротивление); 4 — Файфу.

эта кривая // известна для низких скоростей, для высоких скоростей она совпадает с кривой Тэйлора). Если учесть другие факторы, кроме сопротивления, то окажется, что выбор малых значений  $\varphi$  при низких скоростях неэкономичен и нецелесообразен; т. е. кривая // не имеет практического значения.

Значения  $\varphi$  для большого числа построенных судов известны на рис. 16, где можно видеть, насколько разнообразны эти значения.

## ГЛАВА III

### ПОЛНЫЕ СУДА С КОЭФФИЦИЕНТОМ ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ 0,81—0,75

К рассматриваемому интервалу коэффициентов  $\delta$  относятся, главным образом, коэффициенты танкера, рудовозов и других тихоходных грузовых судов. Судя прибрежного плавания старой постройки также принадлежит к этой группе.

#### ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОДЫ

Сначала обычно находят приблизительную длину судна по кривым, аналогичным показанным на рис. 2, 3 и 4. Затем назначают ширину и высоту борта. Осадку, как правило, определяют с учетом глубины в портах.

Результаты испытаний значительного числа систематических серий моделей показывают, как влияет отношение ширины к осадке на сопротивление полных судов. Систематические изменения выполнялись различными путями:

- 1) увеличивали ширину при сохранении осадки постоянной;
- 2) увеличивали в одинаковой пропорции ширину и осадку и, следовательно, сохраняли постоянным отношение  $B/V S_{\Sigma}$ ;
- 3) увеличивали ширину, а осадку уменьшали при сохранении постоянной площади мидель-шпангоута.

Последний способ редко применим к полным судам, поэтому следует рассмотреть только первые два.

1) Ширина увеличивается, а осадка неизменна. Это условие исследовал Кент и привел результаты в статье [19]. Широкие исследования также проводил Братт [10].

Ясно, что водоизмещение в этом случае возрастает прямо пропорционально увеличению ширины. С другой стороны, сопротивление повышается не в прямой пропорции с ростом водоизмещения, а в степени, меньшей единицы. Прирост водоизмещения на 10% обычно приводит к увеличению смоченной поверхности примерно на 5%.

Модельные эксперименты Сэдлера показали, что сопротивление возрастает приблизительно на 7% при увеличении водоизмещения на 10% [26].

2) Шарниры и осадки увеличиваются так, что  $B/T = const$ . Доказано, что наиболее экономично увеличение ширины и осадки в одинаковой пропорции. Однако зачастую этот путь невозможен из-за недостаточной глубины в портах. Вместо этого следует главным образом увеличивать ширину, причем для больших ширин коэффициент общей полноты необходимо снижать в определенной зависимости от увеличения ширины, что особенно подчеркивал Ловетт [28].

#### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА

На рис. 12 показано, что в настоящее время принимают очень высокие значения коэффициента  $\beta$ . Это особенно относится к крупным танкерам, которые могут иметь величину  $\beta$  до 0,995.

Вообще коэффициент  $\beta$  принимают равным примерно 0,992 для значений  $\delta$  в пределах 0,81—0,77. При  $\delta=0,77$  величину  $\beta$  следует снизить до 0,990.

Длище судна можно принимать совершенно плоским, без искривлений, не увеличивая сопротивления. Многие построенные суда имеют плоские днища, но обычно по причинам, не связанным с сопротивлением, делают поперек днища к борту из 40—50 мм.

Применяемые являются небольшая килеватость и наибольший возможный радиус скулового закругления. При большом радиусе скулового закругления легче осуществить постепенный переход от мидельной части к оконечности судна.

#### ДЛИНА И ПОЛОЖЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВСТАВКИ

При построении эскизов по шпангоутам обычно сначала определяют длину и положение цилиндрической вставки. Диаграммы модельных испытаний Тэйлора — очень хорошее пособие при назначении этой длины, однако для полных судов без неблагоприятных последствий можно принимать несколько меньшую длину, чем рекомендует Тэйлор. В том случае, если скорость завышена для принятого коэффициента  $\delta$  или назначена особенно большая ширина, нужно соблюдать осторожность при выборе длины цилиндрической вставки.

На рис. 17 и в табл. I приведены рекомендуемая длина цилиндрической вставки при различных коэффициентах общей полноты и показано ее положение по длине. Этот вопрос был предметом систематического изучения и модельных эксперимен-

тов многих исследователей, в том числе Бокера, Робертсона и Брэтта.

Иногда можно непосредственно снизить волновое сопротивление заострением носовой оконечности, но если из-за этого необходимо увеличивать длину кормовой оконечности, то возрастает вихревое сопротивление.

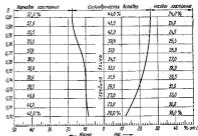


Рис. 17. Длина и положение цилиндрической вставки.

При полных обводах кормы не удастся избежать повышения сопротивления, обусловленного вихреобразованием [6]. Для ограничения вихревого сопротивления важно, чтобы кормовое закругление

Таблица I

Длина цилиндрической вставки, кормовое и носовое заострения, в процентах от длины судна

Коэффициент общей полноты $\beta$	Носовое заострение $L_{н.з}$	Цилиндрическая вставка $L_{ц.в}$	Кормовое заострение $L_{к.з}$	Отношение $\frac{L_{н.з}}{L_{к.з}}$
0,81	24,0	44,0	32,0	0,750
0,80	24,0	43,5	32,5	0,737
0,79	24,5	42,0	33,5	0,732
0,78	25,5	39,0	35,5	0,718
0,77	26,0	37,0	37,0	0,702
0,76	27,0	34,5	38,5	0,702

острешье было достаточно длинным и не очень толстым. Этого можно достигнуть смещением цилиндрической вставки в нос, так чтобы кормовое заострение было длиннее носового.

Бикер и Кент дали следующую формулу для определения минимальной длины кормового заострения  $L_{к.з.}$  позволяющей устранить вихревое сопротивление [4]:

$$L_{к.з.} = 4,08 \sqrt{S_k} \quad (5)$$

Формула (5) может быть написана в виде:

$$L_{к.з.} = \delta B, \quad (6)$$

При  $\beta = 0,99$  коэффициент  $\delta$  имеет следующие значения:

B/T	$\delta$	B/T	$\delta$
2,1	2,80	2,5	2,57
2,2	2,74	2,6	2,52
2,3	2,68	2,7	2,47
2,4	2,62		

Наилучшее распределение водоизмещения зачастую дает отношение  $L_{н.з.}/L_{к.з.}$  в пределах 0,73—0,85. При определении главных размерных соотношений, даваемые в табл. 1 для длины кормового заострения, приводит в соответствии с формулой (5) к удовлетворительным значениям длины для судов с обычными соотношениями главных размерений, имеющих  $\delta = 0,76—0,78$ .

При высоких коэффициентах  $\delta$  не удается полностью избежать вихреобразования, особенно вдоль верхних ватерлиний вблизи кормы. Однако оно может быть снижено устройством криволинейной кормы.

Вихреобразование вдоль нижних ватерлиний можно уменьшить путем небольшого укорочения цилиндрической вставки только в районе этих ватерлиний за счет увеличения радиуса скулового закругления. Это почти незаметно на строковой по шпангоутам, вычерченной в обычном масштабе.

Крупные танкеры, несмотря на высокие скорости хода, имеют большие коэффициенты полноты. Чтобы они не теряли скорость даже в плохую погоду, цилиндрическую вставку следует несколько укоротить, а носовое заострение удлинить по сравнению с обычными полными судами.

Соотношения для носового и кормового заострений, приведенные в табл. 1, показывают, что центр изгиба существенно сдвинут в нос от середины длины. Это необходимо с точки зрения сопротивления; вообще центр впадины следует располагать на  $(0,015—0,020) L$  в нос от середины длины.

## СТРОЕВАЯ ПО ШПАНГОУТАМ

Некоторые типичные строения по шпангоутам показаны на рис. 18.

Строевая по шпангоутам должна быть подобна строеным, использованным Робертсоном для его серии моделей «ново-

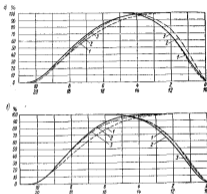


Рис. 18. Строевая по шпангоутам.

a — корабль с  $\epsilon = 0,85$ .

1 — Сп. Т. 71; 2 — Тодд и Фарелл; 3 — макс. для Кларк

б — заостренное судно с  $\epsilon = 0,79$ .

1 —  $\delta = 0,775$ ; 2 —  $\delta = 0,793$ ; 3 —  $\delta = 0,811$ .

вичных грузовых судов [33]. На рис. 26 показана рекомендуемая строевая по шпангоутам судна с  $\delta = 0,775$ .

Для самых больших коэффициентов  $\delta$  носовая часть строевой по шпангоутам должна быть прямой или слегка выпуклой. У перехода от цилиндрической вставки к носовой части строевой должен быть крутой изгиб. Резкое снижение строевой достигается, в первую очередь, увеличением радиуса скулы.

Когда форштевень имеет крутой вынос и большой подрез в нижней части, как на современных судах (например, на крупных танкерах), строения по шпангоутам в носу не получается пилулой или совершенно прямой. Она несколько выгнута на коротком участке у форштевня, что почти не снижает волновое сопротивление, но немного уменьшает смоченную поверхность, а тем самым и сопротивление трения. В носовую посылу и на большом волнении это дает практическую выгоду. При этом можно получить почти прямые нижние ватерлинии, что в сочетании с некоторым заострением шпангоутов препятствует развитию слеминга.

Важнее всего при обработке формы кормового заострения, как указано выше, попытаться избежать вихреобразования. Строения по шпангоутам поэтому здесь должна быть возможно ближе к прямой, без резких изменений формы. Переход к шпеларической вставке должен быть более длинным и постепенным, чем у носовой вставки строения.

При крейсерской корме обычных размеров на строеной у армового перпендикуляра всегда получается выгнутость. Кажется, что это противоречит вышеуказанной рекомендации о максимально возможном спрямлении строений. В действительности, однако, эту часть можно рассматривать как не изменяющую других характеристик строеной добавку к первоначальной строеной по шпангоутам.

Крейсерская корма служит главным образом для возможно большего продления верхних ватерлиний в корму и предотвращения этим вихреобразования. Только когда длина и погружение крейсерской кормы велики, можно удлинить и спрямить всю строеную. Такой способ, конечно, нельзя использовать для адвизорных судов, у которых обычно диаметр гребного вала невелик сравнительно с осадкой.

#### ГРУЗОВАЯ ВАТЕРЛИНИЯ

Ватерлинии должны иметь примерно такой же характер, как и строения по шпангоутам. Это особенно относится к носовой заостренности, где грузовая ватерлиния должна быть прямой или немного пилулой. Нижние ватерлинии не должны быть S-образными, за исключением случаев очень большого подреза в нижней части форштевня.

На небольшой длине непосредственно у кормы иногда приходится принимать слегка выгнутую форму.

На рис. 19 показаны углы входа грузовой ватерлинии, рекомендуемые различными авторами. Более глубокое изучение критериев показывает, что все они, по-видимому, основаны на данных, впервые приведенных Бикером в его различных статьях и монографиях. Требованиям Бикера, с хорошими результатами,

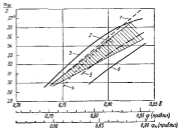


Рис. 19. Зависимость угла входа ватерлинии от коэффициента S.

1 — Ватерлинейный Селовиц; 2 — Бикер (В); 3 — Бикер (С. М. А. М. Е., табл. 1.1); 4 — Хиккер; 5 — Schlieff-Kalender; 6 — Бикер, Нижний предел (нижняя скорость).

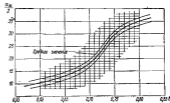


Рис. 20. Рекомендуемые углы входа ватерлинии.

следовал факультет корабельной архитектуры Высшей технической школы им. Чалмерса (Ch. T. H.) на различных юсмитных моделях.

На рис. 20 даны пределы, в которых следует выбирать значение угла входа ватерлинии<sup>1</sup>. Эта диаграмма показывает, что наклон грузовой ватерлинии к диаметральной плоскости (т. е. половина угла входа) может быть весьма большим, особенно при V-образных шпангоутах.

Бокер подчеркивал, что неблагоприятны и слишком малые углы входа. Если рекомендуемые углы входа ватерлинии снижены более чем на 5°, сопротивление увеличивается. Эта взаимосвязь обусловлена расположением носовых волн, которые как бы «прилипают» к корпусу, а не расходятся.

Таблица 2

Углы входа грузовой ватерлинии

Коэффициент обоей полноты $\delta$	0,62	0,61	0,60	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75
Половина угла входа грузовой ватерлинии $\alpha_{1/2}$ , град.	36,0	35,5	35,0	34,0	33,5	33,5	34,5	30,0

Величины рекомендуемых углов входа грузовой ватерлинии даны в табл. 2. При высоком коэффициенте  $\delta$  и коротком носовом заострении не следует увеличивать эти углы, но при более низких коэффициентах полноты и скоростях угол входа можно увеличить на 1,5–2°.

Кормовые ветви ватерлиний без необходимости заострять у киля, но, с другой стороны, следует опасаться делать их слишком полными или с очень большими углами заострения, что может усилить местные напоры у кормы и привести к ухудшению управляемости и пропульсивного коэффициента.

### ШПАНГОУТЫ

Для выяснения вопроса о форме носовых шпангоутов в течение многих лет проводились систематические исследования. Исчерпывающая работа опубликована Садлером и Брайтом [37]. Теоретические корпуса исследованных семи моделей и некоторые результаты испытаний соответственно показаны на рис. 21 и 22, причем, как правило, рекомендовано принимать V-образные шпангоуты.

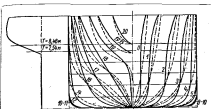


Рис. 21. Теоретические корпуса и обертывно кормы моделей, исследованных Садлером и Брайтом.

$L = 12,34$  м;  $B = 17,37$  м: — U-образная форма; - - - - V-образная форма; ————— прямоугольная форма.

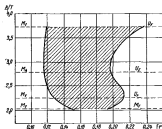
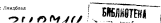


Рис. 22. Рекомендуемая форма шпангоутов по Садлеру и Брайту.

Заштрихованная область — оптимальное сочетание  $V_{\text{н}} + M_{\text{н,ст}}$   
 $V_{\text{н}}$  — V-образная  
 $U_{\text{н}}$  — U-образная  
 $M_{\text{н}}$  — прямоугольная  
 $M_{\text{н,ст}}$  — прямоугольная — кормовые шпангоуты.  
 } носовые шпангоуты.

<sup>1</sup> Т. е. угла носового заострения ватерлинии у форштея.— Прим. пер.





Новые модельные эксперименты, однако, показали, что полные модели с V-образными шпангоутами испытывают в бассейне ламинарное обтекание. Сравнение моделей с U- и V-образной формой шпангоутов оказывается поэтому благоприятным для V-образной формы. Систематические исследования по данному вопросу еще не опубликованы, но отдельные испытания показывают, что резковыраженные V-образные шпангоуты непригодны для носовой части с точки зрения сопротивления. Следует принимать умеренно выраженные V- или U-образные сечения.

При резковыраженных U-образных шпангоутах динки в носовой части получаются почти плоским. Опыт показал, что это неприемлемо и повышает опасность сдвигания.

В современной практике при сильно наклоненном форштевень с большим подрезом шпангоуты придают несколько большую V-образность в нижней части. Некоторые верфи применяют более V-образную форму шпангоутов, например, для крупных танкеров. Опыт эксплуатации показывает, что суда при этом обладают лучшей мореходностью и меньше теряют скорость ходом в плохую погоду, чем суда с U-образными шпангоутами.

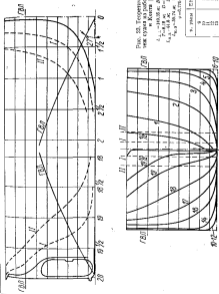
Для судов с большим отношением В/Т, вероятно, следует принимать более резковыраженные V-образные шпангоуты. Однако для этого случая нет определенных рекомендаций модельных испытаний.

Сопротивление трения зачастую достигает 75—80% от полного сопротивления для полных судов. Следовательно, изменение носовой оконечности при проектировании можно снизить только на 20—25% от полного сопротивления. Поэтому даже большая разница в полном сопротивлении изменяет полное сопротивление лишь на несколько процентов.

Установлено, что V-образные кормовые шпангоуты дают наименьшее сопротивление, а резковыраженные U-образные — наибольшее. Однако при V-образных шпангоутах обтекание становится неравномерным, с увеличением скорости у вершин заделочной террасы. Вследствие этого скорость воды, подтекающей к шпигу, очень неравномерна в разных точках его диска и идет с заметным снижением к п. д. При U-образных шпангоутах распределение потока более равномерно.

Поэтому возможны два решения: принять U-образные шпангоуты и иметь большее сопротивление, но лучший к. п. д., или принять резковыраженные V-образные шпангоуты и обеспечить меньшее сопротивление, но худший к. п. д.

Принять решение иногда бывает затруднительно. На него в некоторой степени влияет число оборотов винта. При высоком числе оборотов, которое, однако, является исключительным для рассматриваемых значений  $\delta$ , обычно следует принимать слегка V-образные шпангоуты; при низких скоростях и малых числах оборотов можно принимать резковыраженные U-образные шпангоуты.



Частою наиболее приемлемо промежуточное решение. Доказано, что U-образные шпангоуты не нужны на всей длине кормового заострения, достаточно вкрячать U-образность крайних оконечности кормового заострения. В связи с этим шпангоутам обшивки следует придавать бубльобразность, расширяемую вглубь.

Вышеуказанное относится к одноэвентным судам. Для двухэвентных можно, как правило, V-образные шпангоуты сделать U-образными



Рис. 24. Теоретический корпус углава.

$L_{1-1} = 18,24$  м;  $\delta = 18,54$  м;  
 $F = 7,07$  м;  $\lambda = 4,297$ ;  $\beta = 4,880$ ;  
 $\varphi = 0,880$ .



Рис. 25. Теоретический корпус модели 120В Эмерсона и Уитней.

$L_{1-1} = 21,02$  м;  $\delta = 17,18$  м;  $F = 7,12$  м;  
 $D = 12,861$  м;  $L_{0,0-0} = 36,58$  м;  $L_{0,0-1} =$   
 $40,36$  м;  $\delta = 3,782$ ;  $\varphi = 4,884$ .

№ ШПАНГ.	С
11	0,613
11	0,528
11	0,480
11,2	0,465
11	0,318
12,5	0,253
11	0,704

На рис. 26 показан современный теоретический чертеж модели с  $\delta = 0,775$ , разработанной и испытанной в Ч. Г. Н. Все эти модели имеют сравнительно малое сопротивление.

### ТИПИЧНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

На рис. 23 показан теоретический чертеж судна с  $\delta = 0,762$ . Эта удачная модель из опубликованных Бакером и Кантом [5] имеет шпангоуты, приемлемые для одноэвентного судна. В настоящее время следует, по-видимому, внести изменения, несколько обшив ватерлинии у шпангоута 14 и уменьшить площадь его поперечного сечения, увеличившем радиуса осевого закругления. В носу также необходимо уменьшить ширину самой верхней ватерлинии у шпангоута 4 и немного срезать скулу.

На рис. 24 показан теоретический корпус углава с  $\delta = 0,78$ . Если бы такое судно проектировалось в настоящее время как одноэвентное, следовало бы уменьшить площадь кормовой части грузовой ватерлинии, придав ей такую же форму, как и на рис. 23.

На рис. 25 приведен обшив ватерлинии Эмерсона и Уитней теоретический корпус 122-метрового судна с  $\delta = 0,765$  [11].

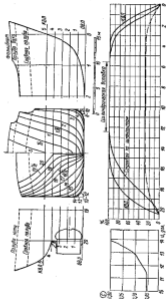


Рис. 26. Теоретический корпус, стрелки по шпангоутам и кривая сопротивления судна с  $\delta = 0,775$  (Ч. Г. Н.).  
 $L_{1-1} = 18,24$  м;  $\delta = 18,54$  м;  $F = 7,12$  м;  $\lambda = 4,297$ ;  $\beta = 4,880$ ;  $\varphi = 0,880$  м;  
 $\lambda = 4,297$ ;  $\beta = 4,880$ ;  $\varphi = 0,880$ ;  $\lambda = 4,297$ ;  $\beta = 4,880$ ;  $\varphi = 0,880$ .

ГЛАВА IV  
СУДА С КОЭФФИЦИЕНТОМ ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ  
0,75—0,71

ОБЩЕЕ

Многие быстро- и среднескоростные суда имеют коэффициент  $\delta$  в пределах 0,75—0,71. Для наиболее полных из них (с коэффициентом  $\delta$  выше 0,73) можно в большой степени применить рекомендации, изложенные в предыдущей главе.

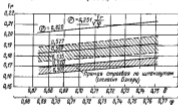


Рис. 27. Зависимость  $\delta$  от относительной скорости и коэффициента общей полноты.

Кривая показывает сопротивление при  $\delta = 0,65$  находится внутри нижней заштрихованной зоны неблагоприятного соотношения между  $\delta = 0,55 \cdot \frac{V}{V_0} - 0,57$ .

Некоторые полные суда попадают, однако, в район горб кривой сопротивления, соответствующего  $\delta = 0,564$ . На рис. 2 показаны полнота и скорости, при которых обычно возникает этот горб (ср. рис. 9). Верхняя заштрихованная область представляет собой пределы, внутри которых возникает неблагоприятная волновая интерференция.

Согласно Боксеру эта критическая зона смещается, если принимают более протяженную и близкую к прямой стрелую по эллипсам или грубую катериллю. Этим препятствуют образование горба и он проявляется менее резко. Крайни ( $\delta$ ) в таком случае монотонно растет с повышением скорости хода и не имеет характерного горба, за которым следует впадина. Нижняя заштрихованная зона для прямой стрелой по эллипсам на рис. 27 показывает пределы, для которых рекомендуется эта форма стрелой. Этот район, как можно видеть, очень ограничен, и прямая форма, вероятно, применяется весьма редко. Несколько испытаний Сп.Т.Н. не дали результатов, которые показали бы существенное уменьшение сопротивления.

Эту проблему, вероятно, следует решать другим способом. Прежде всего полезно в районе горба сопротивление несколько снизить коэффициент общей полноты. Кроме того, стрелые по эллипсам должны иметь немного изогнутую носовую часть. Угол наклона кривой у носового конца также следует несколько уменьшить против обычного. Этими мерами действие носовых волн можно заметно уменьшить и тем самым сильнее снизить сопротивление. В настоящее время не так опасаются интерференции волн, как прежде, и обычно этой зоны избегают косвенным путем.

Однако зачастую возникает другое затруднение. При обычных скоростях для коэффициентов  $\delta$ , равных 0,75—0,70, длина носового заострения иногда такова, что впадина носовой волны располагается у носовой скулы. В таком случае у скулы усиливается особая система волн, которая обычно качается с плавным ходом, что дает скачкообразное увеличение сопротивления. Боксер показал, что скорость, при которой это возникает, можно приблизительно определить по формуле [6]:

$$v = 1,975 \sqrt{L_{np}} \approx 2 \sqrt{L_{np}} \quad (7)$$

Поэтому скорость хода, полученную по формуле (7), не следует превышать. На рис. 28 приведена кривая скорости хода по формуле (7) в функции длины носового заострения.

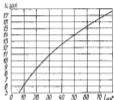


Рис. 28. Зависимость длины носового заострения от скорости хода по Боксеру.

### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ ИДЕАЛЬНО-ИШАНГОСТА

При высоких значениях коэффициента  $\delta$ , равных 0,74—0,75 коэффициент  $\beta$  можно принимать равным 0,985. Для более низких значений  $\delta$  и для меньших судов его можно несколько снизить, но даже при  $\delta = 0,7$  коэффициент  $\beta$  можно принимать до 0,98.

С точки зрения сопротивления подъем днища к бортам не является необходимым, тем не менее обычно делают небольшую килеватость (примерно 9 см для 120-метрового судна). Радиус скулового закругления всегда должен быть возможно большим.

### ДЛИНА И ПОЛОЖЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВСТАВКИ

В соответствии с величиной коэффициента  $\delta$  в рассматриваемом диапазоне длину цилиндрической вставки можно принимать очень большой. Однако ее необходимо значительно уменьшать при низких значениях коэффициентов полноты. Цилиндрическую вставку также следует укорачивать при увеличении ширины. В табл. 3 приведены приближенные значения рекомендуемой длины цилиндрической вставки при различных коэффициентах общей полноты и ширинах для судна длиной 122 м.

Таблица 3

Длина цилиндрической вставки для 122-метрового судна, в процентах от длины судна

Коэффициент общей полноты $\delta$	Ширина судна, м			
	17,4	17,7	18,0	18,3
0,75	33,0	32,0	31,0	30,0
0,74	31,5	30,5	29,5	28,0
0,73	29,5	28,5	27,5	26,0
0,72	27,0	26,0	25,0	23,5
0,71	23,0	22,0	21,0	20,5
0,70	20,0	18,0	17,0	16,5

Положение цилиндрической вставки играет большую роль так как оно влияет на положение центра величины по длине. Визер, Робертсон и другие исследователи приводят обширные материалы для оценки приемлемой длины носового заострения, цилиндрической вставки и кормового заострения. Рекомендации обычно дают в виде диаграмм зависимостей отношения  $L_{a2}/L_{0.2}$ .

Две такие диаграммы, показывающие наиболее приемлемую длину носового и кормового заострений и цилиндрической

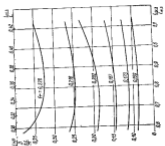


Рис. 30. Зависимость углавой полноты от длины носового заострения при разных скоростях хода.

$$L_a = 0.85L; \nu = 0.711.$$

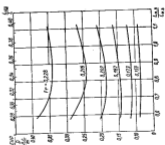


Рис. 30. Зависимость углавой полноты от длины носового заострения при разных скоростях хода.

$$L_a = 0.85L; \nu = 0.728.$$

вставки, приведенные на рис. 29 и 30. Они составлены на основе исследований Брета в Мичиганском университете. Эти исследования касались, главным образом, нижнего предела полноты и рассматриваемом диапазоне.

При большей полноте и меньшей скорости результаты зачастую отличаются от указанных, что иногда определяется наличием различных зон горба сопротивления. Можно также предполагать, что некоторые модели испытывались в ламинарном режиме.

Как правило, можно пользоваться диаграммой рис. 17, которая обобщает приведенные исследования. Конечно, могут быть незначительные изменения, особенно при меньших коэффициентах общей полноты. Для которых иногда несколько удлиняют кормовое заострение и укорачивают цилиндрическую вставку против показанного на диаграмме.

Некоторые типичные соотношения длин для судов умеренной полноты поданы в табл. 4. Приведенные в таблице длины носового заострения для обычных относительных скоростей в ряде случаев несколько меньше, чем требуется по формуле (7).

Таблица 4

Длина цилиндрической вставки, кормового и носового заострений, в процентах от длины судна

Коэффициент общей полноты $\delta$	Длина носового заострения $L_{нз}$ , %	Длина цилиндрической вставки $L_{цв}$ , %	Длина кормового заострения $L_{кз}$ , %
0,75	28,0	33,0	36,0
0,74	29,5	31,5	35,0
0,73	31,0	29,5	33,0
0,72	33,0	27,0	31,0
0,71	36,0	23,0	28,0
0,70	38,0	20,0	25,0

#### ПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРА ВЕЛИЧИНЫ ПО ДЛИНЕ

Положение цилиндрической вставки в большой степени определяет положение центра величины. Но при данной длине носового заострения может быть выбрана различная его полнота за счет чего в некоторых пределах можно изменить абсциссу центра величины.

Иногда можно значительно изменить положение центра величины, лишь некого изменяя сопротивление. Это установлено, особенно для больших коэффициентов общей полноты, в исследованиях Робертсона [32], Маллота [29] и Самла [36].

На рис. 31 показаны рекомендуемые различными авторами абсциссы центра величины. Из более ранних следует отметить кривую Венсана и кривые, опубликованные в Schiffbau-Kalender.

Рекомендации ван Ламмерена основываются на многочисленных данных голландского опытного бассейна. Кривая б представляет собой средние значения, кривые а и в показывают предельные носовое и кормовое положения центра величины. Если выйти из этих пределов, сопротивление всегда становится

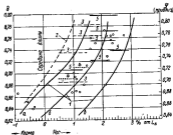


Рис. 31. Зависимость абсциссы центра величины от длины от коэффициента  $\delta$ .

1 — ван Ламмерен; 2 — Schiffbau-Kalender; 3 — Тоуд; 4 — Ламбли; 5 — Робертсон; 6 — Венсан и Уайт.

большее чем обычно; ван Ламмерен подчеркнул, что если центр величины лежит к корму от предела, обозначенного кривой а, то это приводит к ухудшению ходовых качеств.

Положение центра величины следует, конечно, устанавливать не только в зависимости от коэффициента  $\delta$ , но и в зависимости от скорости. Диаграмма рис. 32 ван Ламмерена показывает абсциссу центра величины в функции коэффициента  $\delta$  и относительной скорости  $Ft$ . Диаграмма в принципе правильна, во практически очень редко бывает такая большая свобода выбора положения центра величины, чтобы привести его в соответствие с диаграммой. Однако она может служить определенным пособием.

Например, при  $\delta=0,71$  и  $Ft=0,208$  по диаграмме рис. 32 наилучшее положение центра величины  $x_2 = +0,016 L_0$ .

Если желательно увеличить относительную скорость до  $Vr = 0,216$ , то носовое заострение следует удлинить, а центр величины переместить в корму; диаграмма показывает, что нужно принимать  $x_1 = +0,08 L_0$ . Если, наоборот, желательно уменьшить скорость до  $Vr = 0,200$ , то центр величины необходимо переместить до  $x_2 = -0,022 L_0$ .

Некоторые данные (см. рис. 31) неоднозначны. Практически они дают довольно широкую область, внутри которой можно

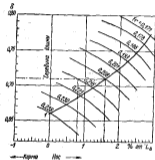


Рис. 32. Положение центра величины от середины длины в функции коэффициента общей полезной скорости хода.

$$l - l' = 1,08 + 1,08 Vr.$$

быть расположен центр величины. Например, по исследованиям больших коэффициентов  $\delta$  Робертсона при  $\delta = 0,772$  можно без заметного изменения сопротивления располагать центр величины в пределах  $(0,016 - 0,026) L_0$  [33].

Можно рекомендовать кривые ван Ламмерца (см. рис. 31). Установлено, что центры величин большинства зостроенных судов лежат между кривыми *a* и *b*. Следует, однако, отметить, что для наиболее полных судов при  $\delta = 0,80 - 0,74$  центр величины можно располагать несколько дальше в нос, а при  $\delta < 0,70$  — зачастую даже немного в корму от кривой *a*.

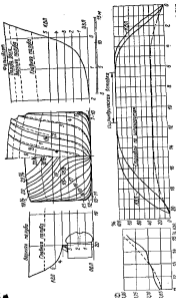


Рис. 33. Теоретический чертеж, стропы по тантограмме и аркам сопротивления экранов  $\delta = 0,772$ .  
 $\delta = 0,650$  и  $\delta = 0,700$ ;  $V = 0,185$  и  $V = 0,200$  м/с;  $V_{0,650} = 1,80$  м/с;  $V_{0,700} = 2,00$  м/с;  $\delta = 0,750$  и  $\delta = 0,800$ ;  
 $\delta = 0,850$ ;  $V = 0,216$ ;  $V = 0,231$ ;  $V = 0,246$ ;  $V = 0,261$ ;  $V = 0,276$  м/с;  $V_{0,850} = 2,20$  м/с;  $V_{0,900} = 2,40$  м/с;  $V_{0,950} = 2,60$  м/с;  $V_{1,000} = 2,80$  м/с.

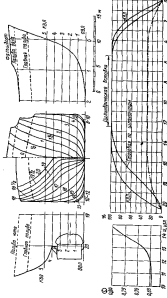


Рис. 34. Температурное поле, срезы по радиусу и кривые температурных срезов  $\epsilon = 0,75$ ,  $L_{1,1} = 10,0$  м;  $B = 0,2$  м;  $r = 1,0$  м;  $\nu = 0,3$ ;  $\alpha = 10^{-5}$  1/град;  $\beta_{\text{вн}} = 100$  м;  $\beta_{\text{вн}} = 0,01$  м;  $\beta = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$  1, 1, 1.

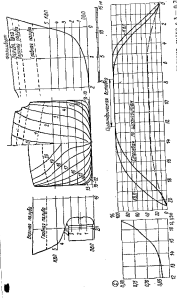


Рис. 35. Температурное поле, срезы по радиусу и кривые температурных срезов  $\epsilon = 0,75$ ,  $L_{1,1} = 10,0$  м;  $B = 0,2$  м;  $r = 1,0$  м;  $\nu = 0,3$ ;  $\alpha = 10^{-5}$  1/град;  $\beta_{\text{вн}} = 100$  м;  $\beta_{\text{вн}} = 0,01$  м;  $\beta = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$ ;  $\gamma_{\text{вн}} = 0,001$  1, 1, 1.

## СТРОЕВАЯ ПО ШПАНГОУТАМ

Важное исследование коэффициентов общей полноты в рассматриваемом диапазоне опубликовано Робертсоном и статистиком [32]. Это исследование особенно полезно при отыскании положения центра величины, дающего наименьшее сопротивление, соответствующих коэффициентов общей полноты носового и кормового заострений. С помощью более поздних исследований строевую по шпангоутам Робертсона можно улучшить, исключив лишь минимальные изменения.

В настоящее время форштевень обычно проектируют с кривым наклоном (около  $16^\circ$  к вертикали) и делают большей поперек и нижней его части у кила. При этом строевая по шпангоутам у носового ее конца не получается прямой (за исключением случая резковыраженности U-образных шпангоутов). Строевая по шпангоутам в этом месте весьма вогнута, как на рис. 35. Остальная часть строевой при  $\delta = 0,73-0,75$  должна быть прямой и в большей степени подходить на строевые Робертсона.

На рис. 34 показана строевая по шпангоутам для  $\delta = 0,73$ . При меньших коэффициентах общей полноты, например 0,72-0,70, следует придавать вогнутость большей части носовой части строевой по шпангоутам (рис. 35).

Кормовая часть строевой должна быть плавной и почти прямой. Вогнутость может допускаться лишь в районе амбразуры гребного вала или крейсерской кормы.

## УГОЛ ВХОДА ГРУЗОВОЙ ВАТЕРЛИНИИ

На рис. 19 показаны углы входа, рекомендуемые различными источниками. Две кривые даны Бинером: верхнюю можно использовать при V-образных шпангоутах и меньших скоростях хода, другую — при U-образных шпангоутах и более высоких скоростях. Кривая Вагенгенгемского опытового бассейна дает значения, близкие к верхней кривой Бинера.

Заметна большая разница в углах входа ватерлиний, например для  $\delta = 0,75$  и  $\delta = 0,70$ , что объясняется разными скоростями хода судов с этими коэффициентами  $\delta$ .

Таблица 4

Угол входа грузовой ватерлинии

Коэффициент общей полноты $\delta$	Угол входа грузовой ватерлинии $\alpha_{вх}$ , град.					
	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70
Половина угла входа грузовой ватерлинии $\alpha_{вх}/2$ , град.	30,0	27,0	24,5	22,0	20,0	18—16,5

Обычно углы входа ватерлинии находятся в промежутке между обеими кривыми Бинера. На рис. 20 и в табл. 5 приведены приемлемые средние значения углов входа.

## ШПАНГОУТЫ

То, что указывалось в предыдущих главах о выборе U- и V-образных шпангоутов, в большей степени относится и к судам, рассматриваемым в настоящей главе. При коэффициентах общей полноты 0,75-0,73 рекомендуется принимать умеренно V- или U-образные шпангоуты, а не резко V-образные.

В табл. 6 приведены некоторые результаты испытаний модели длиной 6,1 м с коэффициентом  $\delta = 0,75$ . Из факторов, влияющих на сопротивление, изменялись только форма носовых шпангоутов. Эти модели испытывались с проволочными турбуляторами. Видно, что разница в сопротивлениях, за исключением наименьших скоростей хода, незначительна.

Таблица 6

Коэффициенты сопротивления  $\zeta$  для 122-метрового судна

Относительная скорость (число Фруда) $v/\sqrt{g\ell}$	Форма носовых шпангоутов	
	умеренно V-образная	умеренно U-образная
0,149	0,645	0,672
0,163	0,663	0,689
0,178	0,689	0,698
0,193	0,689	0,698
0,200	0,712	0,710
0,223	0,753	0,768

С другой стороны, можно заключить, что при более низких коэффициентах  $\delta$  и более высоких скоростях U-образные шпангоуты дают меньшее сопротивление. Пример такого судна с коэффициентом  $\delta = 0,727$  дан на рис. 33. При  $Fr > 0,193$  V-образные шпангоуты дают на 3% большее сопротивление, чем U-образные.

В отношении проектирования кормовой оконечности и выбора формы кормовых шпангоутов действительно рекомендации предыдущей главы.

## ТИПИЧНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

Модель, показанная на рис. 33, разработана и испытана в С.Г.И. Были изготовлены две разные носовые оконечности с одинаковой строевой по шпангоутам.



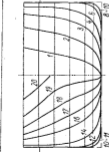


Рис. 36. Теоретический корпус модели 2331 Эмери  
6000 т в Уитнеем.

$L_{1,2} = 120,00$  м;  $B = 10,70$  м;  $T = 12,00$  м;  $\delta = 11,00$  м;  $\delta_{1,2} = 4,4$  м;  
 $45,17$  м;  $\delta_{1,2} = 6,00$  м;  $\beta = 0,126$ ;  $\gamma = 0,120$ ;  $\beta = 0,066$

п. разл.	①
11	0,000
12	0,000
13	0,000
14	0,100
15	0,100

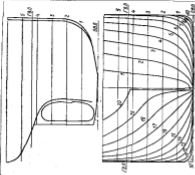


Рис. 37. Теоретический корпус модели Робертса.

На рис. 34 показана модель с  $\delta = 0,75$ , также спроектированная в Ш.Т.Н. Эта модель имеет низкое сопротивление и воспроизводит обычные судовые обводы.

Модель, спубанкованная Эмерсоном и Уитнеем, показана на рис. 36 [1]. Она воспроизводит обводы судна, построенного в Англии во время второй мировой войны. Модель имеет очень низкое сопротивление.

Модель Робертсона показана на рис. 37.

ГЛАВА V  
СУДА С КОЭФФИЦИЕНТОМ ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ  
0,70—0,86

ОБЩЕЕ

В настоящее время этим значением  $\delta$  соответствует одна большая группа быстроходных грузовых судов, обычно называемых грузовыми лайнерами.<sup>1</sup> Чаще всего эти суда имеют и большое число пассажирских мест, но к данной группе относятся также много грузо-пассажирских судов. По обводам также суда не отличаются заметно от обычных грузовых, хотя иногда имеют большую ширину для обеспечения остойчивости.

На судах, предназначенных главным образом для перевозки пассажиров, большие пассажирские помещения размещают в различных надстройках и рубках, влекаящих на остойчивость. Наряду с ограничениями глубин в портах это зачастую обуславливает необходимость проектировать такие суда с большой шириной и меньшей осадкой, чем обычные грузовые.

Наиболее быстроходные грузовые лайнеры имеют длину 105—145 м и скорость хода 14—19 узлов.<sup>2</sup> Следует, конечно, проектировать различные обводы для разных скоростей в пределах этого широкого скоростного диапазона. В частности, необходимо выбирать величину  $\delta$  в соответствии со скоростью хода, при этом следует учитывать наличие на кривых сопротивляемая горбов впадины.

На рис. 9 и 27 показано положение различных горбов и впадин по Бэкеру. Видно, что при скоростях хода 14,5—15 узлов для 122-метрового судна близок горб сопротивления, соответствующий  $\delta = 0,667$ . Горб возникает, когда третья подоперевозочная волновая система располагается в том месте, где обвод не должна образовываться подоперевозочная волна.

<sup>1</sup> Стройфлот (встл). — Прим. пер.

<sup>2</sup> В последнее время строятся быстроходные грузо-пассажирские лайнеры с большей скоростью хода (20—22 узла), имеющие меньший коэффициент  $\delta$ . — Прим. пер.

В своих работах Бэкер предупреждал об этой «опасной» зоне. В одном месте он даже писал: «Нельзя считать, что судно когда-либо будет хорошо работать при  $\delta = 0,667$ , и, как правило, этого  $\delta$  следует избегать». Возможно, это утверждение слишком категорично. Совершенно верно, что исправленно спроектированное судно имеет при таком  $\delta$  испорченно высокое сопротивление, но нельзя полностью избежать этого явления. Как будет показано ниже, в настоящее время можно спроектировать приемлемые обводы даже для этого критического района. Сам Бэкер, кстати, в работе [7] дает в этом отношении некоторые рекомендации.

ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ

Статистическое исследование современных судов показывает, что длина судов определенного назначения и с определенной скоростью хода изменяется в узких пределах. Поэтому длину судна зачастую выбирают с помощью кривых, аналогичных показанным на рис. 2 и 3.

Отношение длины к ширине  $L/B$  изменяется несколько больше, но чаще всего — в пределах 6,8—7,3. Можно с успехом брать  $L/B = 7,15$ , что дает ширину между  $B = 0,1L + 4,5$  м и  $B = 0,1L + 5,25$  м. В настоящее время чаще принимают  $B = 0,1L + 4,9$  м, что дает для 122-метрового судна ширину 17,1 м.

Отношение ширины к осадке  $B/T$  зачастую находится в пределах 2,3—2,6. Для большого числа пассажирских судов приняты еще большие значения, а для обычных быстроходных грузовых лайнеров приемлема средняя величина 2,4.

КОЭФФИЦИЕНТ ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ

Прежде обычно стремились принимать коэффициент  $\delta$  по нижнему пределу формулы Александера, особенно в районе горб сопротивления:  $\delta = 1,06—1,08$  Fr.

Позже обнаружили, что возможно некоторое повышение коэффициента  $\delta$ , но крайней мере в районе впадины кривой сопротивления. Удельный минимакс представляет собой кривая Веллера, в соответствии с которой можно принимать в районе впадины сопротивления  $\delta = 1,08—1,68$  Fr (см. рис. 9). В районе горба эта величина снижается на 0,02 [41].

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ МИДЕЛЬ-ШАНГГОУТА

При более высоких коэффициентах общей полноты можно с успехом принимать  $\beta = 0,980$ . Более осторожное значение  $\beta = 0,975$ , которому соответствует больший радиус скулового закручивания и большая плавность обводов у скулы. При меньших коэффициентах общей полноты можно снижать коэффициент  $\beta$  до 0,970.

Частицу подьем днища к борту принимают равным 75–150 мм. Однако большое число новых английских судов имеют плоское днище, без килеватости. Площадь шидель-шпангоута уменьшают только за счет скулового закручивания, что на сопротивлении в данном случае не влияет.

#### ДЛИНА И ПОЛОЖЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВСТАВКИ

При более высоких коэффициентах  $\delta$  длину цилиндрической вставки можно принимать равной 18–20% от длины судна. С уменьшением коэффициента  $\delta$  при более высоких скоростях длину цилиндрической вставки следует постепенно уменьшать, примерно до 6% от длины судна для  $\delta = 0,66$ . В табл. 7 даны ее приемлемые значения для различных коэффициентов общей полноты.

Таблица 7

Коэффициент общей полноты $\delta$	Длина цилиндрической вставки				
	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66
Длина цилиндрической вставки, в % от длины судна	18,0	14,5	11,0	8,5	6,0

Указанные Тейлором данные цилиндрической вставки, соответствующие минимуму сопротивления, несколько меньше, чем приведенные в таблице. Schiffbau-Kalender также рекомендует сравнительно низкие значения. Более поздние исследования показали, что можно несколько удлинить цилиндрическую вставку в соответствии с табл. 7. Это значит, однако, необходимо уменьшать при ширинах, больших, чем обычная, а также когда носовая стрелка по шпангоутам прямая.

Что касается положения цилиндрической вставки, то при больших коэффициентах  $\delta$  можно следовать рекомендации предыдущей главы и расположить середину цилиндрической вставки впереди в нос от середины длины судна. При более низких коэффициентах полноты середину цилиндрической вставки можно расположить примерно в середине длины или сместить назад, частично в корму от нее.

#### СТРОЕВАЯ ПО ШПАНГОУТАМ И ГРУЗОВАЯ ВАТЕРЛИНИЯ

В последние годы было опубликовано большое число статей по шпангоутам. Ниже некоторые из них будут рассмотрены. Перед этим следует кратко коснуться вопроса выбора углов

входа ватерлинии, который рассматривался разными исследователями.

Большие различия в значениях рекомендуемых углов наклона могут зависеть от принятой формы носовых шпангоутов — U- или V-образной. Можно использовать диаграмму рис. 20, приведенные в табл. 8 углы входа ваты из этой диаграммы.

Таблица 8

Углы входа грузовой ватерлинии

Коэффициент общей полноты $\delta$	0,70	0,68	0,66	0,67	0,66	0,65
Положение угла входа грузовой ватерлинии, град., 1940*	17,0–13,0	16,5–14,5	15,5–11,5	16,5–15,0	16,0–11,5	15,5–12,5

\* При более высоких скоростях здесь следует определять этот угол иначе в зависимости от скорости.

Бэкер дал несколько строевых по шпангоутам для коэффициента продольной полноты 0,70, что эквивалентно  $\delta = 0,685$  [7]. На рис. 38 показана рекомендуемая строевая по шпангоутам для однонитового судна и другая — для двухнитового.

Однонитовое судно Бэкера. Центр ватерлинии расположен на 0,0163L в нос от середины длины, т. е. значительно дальше в нос, чем для двухнитового судна. Цилиндрическая вставка достигает 12% от длины и расположена таким образом, что носовое заострение составляет 40%, а кормовое — 48% от длины судна. У входа строевая по шпангоутам довольно выгнута (стрелка погиби — около 5% от площади миделя). Строевая в корме почти прямая, с очень незначительной выгнутостью непосредственно у крейсерской кормы (стрелка погиби — до 3% от площади миделя).

Грузовая ватерлиния у входа имеет слабую выгнутость в пределах 0,1L от носа. По Бэкеру половина угла входа должна быть равна 12–14°.

В настоящее время считают приемлемым наклон форштевня к вертикали 12–15° и большой выдерз в нижней части носа. В местах перехода от цилиндрической вставки к носовому и кормовому заострениям следует обеспечивать плавность обвода постепенным увеличением радиуса скулы.

Двухнитовое судно Бэкера. Центр ватерлинии судна расположен на 0,0086L в корму от середины длины, что позволило несколько увеличить крейсерскую корму. В остальном строевая по шпангоутам имеет тот же характер, что и у однонитового судна.

Интересно сравнить строевые Бэкера с некоторыми другими строевыми по шпангоутам, показанными на рис. 38, а и Строения Линдблада опубликована в 1929 г. [24], т. е. раньше чем строевая Бэкера. По сравнению со строевой по шпангоутам Бэкера часть площади этой строевой перемещена из носовой

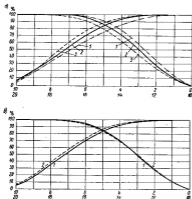


Рис. 38. Строевые по шпангоутам: а — 1 — Бэкер, одностоевное судно; 2 — Бэкер, двухстоевное судно; 3 — Линдبلاد, двухстоевное судно; б — 1 — Бэкер,  $\varphi = 0,700$ ; 2 — ван Ламмерена,  $\varphi = 0,707$ .

перехода к цилиндрической вставке к кормовому. Если эту строевую продлить, включив крейсерскую корму, она будет весьма похожей на строевую Бэкера. Модель Линдблада почти так же удачна, как и модель Бэкера.

На рис. 39, а показана строевая по шпангоутам модели W1 — типичный пример исправленной строевой. Большие площади из мест носового и кормового перехода к цилиндрической вставке перемещены в оконечности. Строевая должна быть более S-образной, особенно в оконечностях.

На рис. 40 показано несколько строевых по шпангоутам, опубликованных ван Ламмереном [23], на рис. 38, б — сравнение со строевой Бэкера для двухстоевного судна. Центр величины строевой Бэкера расположен дальше в нос, и его модель имеет коэффициент  $\varphi$ , равный 0,700, что незначительно меньше, чем

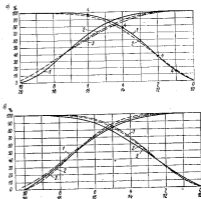


Рис. 39. Строевые по шпангоутам: а — 1 — ван Ламмерен,  $\varphi = 0,70$ ; 2 — модель W1,  $\varphi = 0,70$ ; 3 — Бэкер,  $\varphi = 0,692$ ; 4 — Бэкер; б — 1 — ван Ламмерен,  $\varphi = 0,70$ ; 2 —  $\varphi = 0,696$ ; 3 —  $\varphi = 0,670$ .

у модели ван Ламмерена ( $\varphi = 0,707$ ). Носовое заострение строевых почти одинаково. Возможно, целесообразно, как следовало ван Ламмерену, усилить площадь кормового заострения. Обе модели превосходны; можно лишь рекомендовать изменить строевую по шпангоутам у носа, так чтобы она получила несколько большую выпуклость у  $1/2$  шпангоута.

Из сравнения с одностоевным судном (см. рис. 39, б) видно, что носовые заострения почти одинаковы. Строевые, однако, не вполне сравнимы, так как строевые Бэкера охватывали на длине

между перпендикулярами, а стропые ван Ламмерена — дине по азимуту. Если последние перестроить на ту же длину, они выгнутся и у кормы будут больше пологи

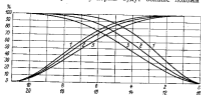


Рис. 40. Стропые по шпангоутам моделей ван Ламмерена.  
 $1-2-0,70$ ,  $x_0 = -0,06$ ;  $3-4-0,8$ ,  $x_0 = -0,07$ ;  $5-6-0,9$ ,  $x_0 = -0,08$ ;  $7-0,95$ ,  $x_0 = -0,09$ .

стропые Бюкера. Центр тяжести стропы ван Ламмерена тоже несколько больше смещен в корму.

На рис. 41 и 42 показана модель WII с  $\varphi=0,70$ . Кормовое заострение ее стропы почти такое же, как у стропы Бюкера

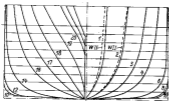


Рис. 41. Теоретические корпуса моделей W1 и WII.  
 $L_{1,1} = 11,0$  м;  $\beta = 35,0$  м;  $Z = 7,15$  м;  $\gamma = 0,80$ ;  $\delta = 0,70$ ;  
 $\lambda = 0,25$ .

по площади в месте носового перехода к цилиндрической она существенно уменьшается, и стропые по шпангоутам спрямлена. Модель имеет почти отвесный форштевень и небольшое среза в нижней его части.

Носовое заострение исходной модели W1 было изменено так, что непосредственно в носу стропые получила немного большую закруглость, подоминимение из-за этого уменьшилось только

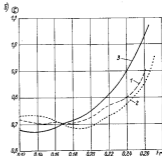
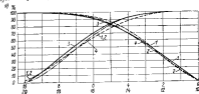


Рис. 42. Стропые по шпангоутам в корме сопоставлены аналогичных моделей: а — стропые по шпангоутам; б — кривые коэффициентов полного сопротивления.  
 $1-W1$ ;  $2-WII$ ;  $3-Бюкер$ ;  $4-The Shipbuilding Corporation$ .

на 0,33%. Полученная таким образом модель WII при повышенных скоростях имеет на 6% меньшее сопротивление. На рис. 42, а стропые по шпангоутам модели WII приведены в сравнении с другими стропыями.

Последние модельные испытания показали предпочтительность несколько большего сужения площади и придачи ей большей изогнутости строевой в носовой оконечности. Формате

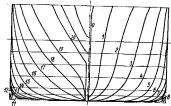


Рис. 43. Теоретический корпус двушпангоутного судна.  
 $\delta = 1,02$ ;  $\beta = 0,70$ ;  $\beta = 1,04$ .

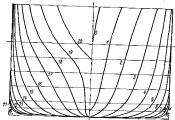


Рис. 44. Теоретический корпус одишпангоутного судна.  
 $\delta = 0,67$ ;  $\beta = 0,66$ ;  $\beta = 1,06$ .

вень должен быть передан путем увеличения наклона и уменьшения большего подреза у перехода к килю.

На рис. 43 и 44 показаны теоретические корпуса моделей Ламмерера. На двушпангоутных судах (рис. 43) следует

дать немного больший подрез в носу, а также несколько заострить грузовую ватерлинию в непосредственной близости к носу. При более высоких скоростях желательнее немного ушить грузовую ватерлинию в корме у 19 и 20 шпангоутов.

У одишпангоутного судна (рис. 44) кормовая часть менее U-образна и объем расположен ближе к килю, что придает шпангоутам более U-образный вид. Это сделано для более равномерного обтекания. Вероятно, не следует продвигать U-образные шпангоуты в нос до цилиндрической вставки, как это сделано на модели ван Ламмерера.

#### ТИПИЧНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

В Ш.Т.Н. было разработано несколько серий моделей, главным образом для исследования возможных сочетаний коэффициентов полноты носовой и кормовой частей судна, а также для изучения приемлемого положения центра величины по длине. Это были модели двухшпангоутных судов [25].

Были изготовлены четыре носовых и четыре кормовых части. Сочетая их различным образом, можно получить 16 разных моделей. Были получены три группы моделей — с коэффициентами  $\delta$ , равными 0,68, 0,69 и 0,70 соответственно, с тремя различными положениями центра величины по длине. Судно, соответствующее этим моделям, имеет следующие размеры и характеристики:  $L_{\text{пл}} = 121,92$  м;  $L_{\text{пол}} = 125,45$  м;  $B = 17,67$  м;  $T = 7,11$  м;  $\beta = 0,975$ ;  $L_{\text{в}} = 0,16 L_{\text{пл}}$ .

Теоретические корпуса показаны на рис. 45. Шпангоуты носового заострения умеренно U-образной формы, кормового заострения — резко выраженной V-образной. Так как модели предназначались для двухшпангоутных судов, крейсерская корма весьма большая. Шпангоут на кормовом перекадикуляре имеет площадь, равную 3% от площади мидель-шпангоута, и погружение, примерно равное 20% от осадки. Форштевень — с наклоном 15,5 к вертикали и весьма большим срезом в нижней части.

На рис. 46 показаны строевые по шпангоутам. В носу они имеют наибольшую изогнутость, со стрелой около 5% от площади мидель-шпангоута. В корме строевые почти прямые, с изогнутостью непосредственно перед крейсерской кормой.

Грузовая ватерлиния в носу остра. Половина угла входа равна 12°2'—16°2' в зависимости от полноты носовой части. В корме ватерлиния волнистая, чем у предыдущих моделей.

На рис. 47 показаны полученные результаты испытаний — кривые  $\zeta$  в функции положения центра величины по длине. Из диаграмм ясно видна важность правильного выбора положения  $x_c$  и неблагоприятные последствия расположения центра

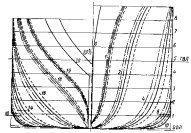
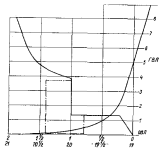


Рис. 48. Теоретические корпуса и обертывание носа и кормы моделей Ч. Т. Н.

величины в нос от середины длины. Другими словами, следует так подобрать коэффициенты полноты носовой и кормовой частей, чтобы заострение носовой части достигалось увеличением объема кормовой.

На рис. 48 показаны районы, в которых сопротивление повсюду не более чем на 1% против минимального. Руководствуясь этим, на рис. 49 вычерчены строевые по шпангоутам; эти строевые для судов с коэффициентами  $\delta$ , равными 0,68 и 0,70, дают низкое сопротивление.

На рис. 50 сравниваются строевая по шпангоутам Ч.Т.Н. для коэффициента  $\delta = 0,70$  и аналогичная строевая для Ламме-

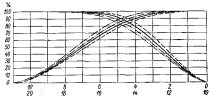


Рис. 49. Строевые по шпангоутам моделей 94, 95, 96 и 97.

реша. Их носовое заострение почти одинаково, хотя у первой строевой незначительно большая площадь у перехода к цилиндрической вставке. В корме эта строевая выгнута и несколько сплюснута.

Как уже отмечалось, теоретические корпуса на рис. 45 показывают, что модели Ч.Т.Н. имеют умеренно U-образную форму носовой оконечности. Зачастую желательнее принимать более V-образные шпангоуты, чтобы увеличить грузоемкость. Испытания модели с носовыми шпангоутами такой формы показали значительно большее ее сопротивление, чем при умеренно U-образных шпангоутах: при скорости хода 15 узлов сопротивление было выше на 9,8%, при 16 узлах — на 8,5%.

В Ч.Т.Н. испытано несколько моделей однонитовых судов. Очевидно, что кормы этих моделей должны быть несколько шире, чем у двухнитовых судов. Обычно амбразура гребного вала настолько большая, что можно устроить аррейберскую корму с весьма ограниченным погружением. Далее, следует

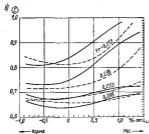
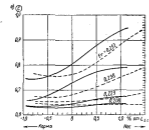


Рис. 47. Влияние расположения центра тяжести на длину на сопротивление: а —  $\delta_1/\delta_2 = 0.40$ , б —  $\delta_1/\delta_2 = 0.25$ .

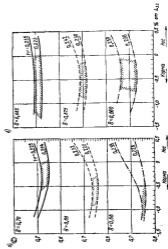


Рис. 48. Влияние расположения центра тяжести на длину на сопротивление: а —  $\delta_1/\delta_2 = 0.40$ , б —  $\delta_1/\delta_2 = 0.25$ .



обратить внимание на то, чтобы обтекание было более равномерным, чем при резко выраженных V-образных днищах.

Поэтому для таких моделей приняты более U-образные днища. По сравнению с V-образной формой верхние части

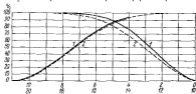


Рис. 49. Строевые по днищам судов с  $\beta$ , равными 0,70 и 0,68.  
 $\beta = 1 - 0,70$ ;  $\beta = 2 - 0,68$ .

линии стали менее волнистыми, а нижние — более полными. Известно, что это несколько повышает сопротивлению, но, с другой стороны, продольные качества обычно ухудшаются. Тем не менее не следует стремиться к крайней U-образности и не-

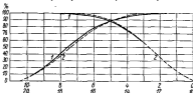


Рис. 50. Строевые по днищам судов с  $\beta = 0,70$  как Дампера и Ш. Т. Н.  
1 — ма Дамперс; 2 — Ш. Т. Н.

необходимости придавать U-образность большей части корабельного заострения.

На рис. 51 показан теоретический корпус грузо-пассажирского судна с большим отношением ширины к осадке ( $B/T = 2,54$ ). Если бы это судно строилось в настоящее время, следовало бы сделать гораздо больший подрез в носу.

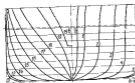


Рис. 51. Теоретический корпус грузо-пассажирского судна.

$L_{\text{пл}} = 120,0$  м;  $B = 17,4$  м;  $T = 6,80$  м;  
 $\beta = 0,68$ ;  $\beta = 0,70$ ;  
 $\beta = 0,68$ ;  $\beta = 0,74$ .

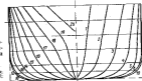


Рис. 52. Теоретический корпус модели 2900С Эмерсона и Уитнес.

$L_{\text{пл}} = 147,5$  м;  $B = 19,3$  м;  $T = 6,52$  м;  
 $\beta = 0,68$ ;  $\beta = 0,70$ ;  
 $\beta = 0,68$ .

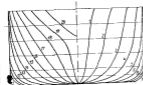


Рис. 53. Теоретический корпус модели 2967D Эмерсона и Уитнес.

$L_{\text{пл}} = 147,5$  м;  $B = 19,3$  м;  $T = 6,52$  м;  
 $\beta = 0,68$ ;  $\beta = 0,74$ ;  
 $\beta = 0,68$ .

На рис. 52 и 53 показаны две модели, опубликованные Эмерсоном и Уаттсом [11]. У первой из них стреловая по шпангоуту почти прямая а носу, вторая — со значительной выгнутостью. Можно заметить, что выгнутая стреловая по шпангоутам дает значительно меньшее сопротивление, чем прямая. Обе модели можно улучшить, если переместить центр величины дальн в корму, например на середину длины.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Для полных судов с коэффициентами  $\delta = 0,70-0,67$  можно дать следующие рекомендации:

1) Стреловая по шпангоутам в носу должна быть слегка выгнутой, со стрелкой выгнутости около 5% от площади мидель-шпангоута. В корме стреловая должна быть почти прямой и только у самого носа ей следует придавать небольшую выгнутость.

2) Для скоростей хода до 14 узлов для 122-метрового судна можно принимать  $\delta = 0,71$ . Центр величины необходимо раскладывать между серединой длины и  $0,005 L$  в корму от середины длины.

3) Для скоростей хода до 15 узлов с успехом можно брать  $\delta = 0,70$ . Центр величины также следует располагать между серединой длины и  $0,005 L$  в корму от носа.

4) Выше до скорости хода 16 узлов можно принимать  $\delta = 0,69$  — по крайней мере при подобии форм обводов серии Сн.Т.Н. Центр величины необходимо располагать между  $0,005 L$  и  $0,01 L$  в корму от середины длины.

5) Наилучшие результаты получаются при умеренно U-образной форме носовых шпангоутов. Для однонитовых судов следует принимать U-образные шпангоуты и в корме, но для двухнитовых необходимо выбирать кормовые шпангоуты, приближающиеся к V-образным.

#### ГЛАВА VI

### СУДА С КОЭФФИЦИЕНТОМ ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ

0,66—0,69

#### ОБЩЕЕ

Большинство судов с коэффициентами  $\delta$  в пределах 0,66—0,69 пассажирские или грузо-пассажирские. В последние годы построены грузовые суда, например фруктовыми,<sup>1</sup> с такими же низкими коэффициентами общей полноты. Некоторые суда этой группы имеют небольшие размеры и предназначены исключительно для арабского плавания.

Как видно на рис. 9, 122-метровое судно при скорости 16 узлов попадает в район горба сопротивления при  $\Phi = 0,667$ . К следующему горбу при  $\Phi = 0,695$  приближаются только суда с наименьшим коэффициентом общей полноты из рассматриваемого интервала. Следовательно, эти суда в большой степени находятся в районе упадка кривой сопротивления, что облегчает проектирование приемлемых обводов. В частности, несколько менее ограничен выбор положения центра величины по длине.

#### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА

Чтобы определить коэффициент  $\beta$ , можно воспользоваться диаграммой рис. 11. При более высоких коэффициентах  $\delta$  обычно принимают  $\beta = 0,98$ , а при более низких значениях  $\delta$  его постепенно снижают до 0,96.

Вообще можно рекомендовать стремиться к нижнему пределу, однако некоторые специалисты, например Бокер, получили хорошие результаты при гораздо больших коэффициентах  $\beta$ . Мидель опубликовал результаты испытаний быстрого пассажирского лайнера, для которого был принят коэффициент  $\beta = 0,987$ , несмотря на то, что  $\delta = 0,616$ .

<sup>1</sup> См. список 2 на стр. 52 — Прад. пер.

**ПОЛОЖЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПОЛНОГО ШПАНГОУТА  
И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВСТАВКИ**

При  $\delta = 0,66$  длина цилиндрической вставки примерно равна 6% от длины судна, а при меньших коэффициентах  $\delta$  цилиндрическая вставка вообще не рекомендуется.

Сэдлер, Бэкер и другие исследовали положение наиболее полного шпангоута. На рис. 54 показаны некоторые результаты этих исследований. Очевидно, что для относительных скоростей

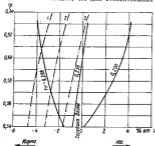


Рис. 54. Расположение по длине наиболее полного шпангоута.  
— по Бэкеру.  
1 — наиболее высокая скорость хода; 2 — средняя скорость хода; 3 — наиболее низкая скорость хода.

до  $Fr = 0,24$  наиболее полный шпангоут следует располагать либо посередине длины, либо немного в нос от середины длины. При более высоких скоростях наиболее полный шпангоут необходимо переместить несколько в корму от середины длины.

Бэкер получил аналогичные результаты при более низких скоростях для серии моделей с  $\varphi = 0,621$  [6]. Эти модели имели, однако, цилиндрическую вставку длиной  $0,1L$ , и, вероятно, наличие данной цилиндрической вставки в некоторой степени исказило результаты.

При рассматриваемых коэффициентах  $\delta$  обычно длина носового заострения больше, чем длина кормового. На рис. 55 приведены также кривые Венсана [42]. Эти кривые показывают, что только при низких скоростях носовое заострение должно быть короче кормового.

Вообще точное положение наиболее полного шпангоута не имеет существенного значения. Главную роль играет положение центра везелитов по длине, которое определяется главным образом коэффициентами полноты носовой и кормовой частей. Подход к этому вопросу показан на примерах рассмотрения конкретных теоретических чертежей.

**ТИПИЧНЫЕ МОДЕЛИ, ИХ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ,  
СТРОЕНИЕ ПО ШПАНГОУТАМ И ГРУЗОВЫЕ ВАТЕРЛИНИИ**

**Модель 56С Бэкера**

Эта модель характерна для рассматриваемого интервала коэффициентов полноты. Она опубликована до 1914 г. и отличается низким сопротивлением. До настоящего времени считают, что модель приемлема для широкого диапазона скоростей. Она

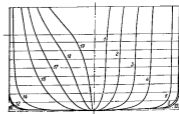


Рис. 55. Теоретический корпус модели 56С Бэкера.  
 $L = 1,20$  м;  $B = 0,30$  м;  $T = 7,08$  м;  $\delta = 0,66$ ;  $\varphi = 0,62$ ;  $\beta = 0,04$ .

являлась исходной моделью для многих последующих проектов; среди других Аккерсомом [2] была испытана серия из 15 моделей, исходя из модели Бэкера 56С. Теоретический корпус модели 56С показан на рис. 55, а ее стреловая по шпангоутам — на рис. 56.

В некоторых отношениях модель 56С заслуживает критики. Вследствие остроты верхних ватерлиний носовые шпангоуты почти вертикальны и днище весьма плоское. С точки зрения буксировочного сопротивления такая резковыраженная U-образная форма шпангоута имеет преимущества, но на волнении

и при килевой качке она крайне неблагоприятна. Плоское днище ударяется о воду во время движения его вниз, что приводит к сотрясениям и вибрации носовой части корпуса, сопровождающимся большими напряжениями в связях корпуса. На некоторых судах в результате этого произошли большие повреждения клеевых соединений, что вызвало необходимость переделки всей носовой оконечности.

Суда последней постройки в этом отношении улучшены. В настоящее время принимают умеренно U-образные шпангоуты, которые в нижней части почти V-образны. Кроме того

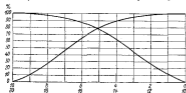


Рис. 56. Строение по шпангоутам модели 565 Бюкера.

форштевень почти всегда придает большой наклон (не является исключением угол наклона его к вертикали 10—15°) и значительно срезают его внизу.

#### Серия моделей Ch.T.H. с $\delta = 0,65$

Это исследование опубликовано в 1946 г. Главной целью было изучение приемлемых коэффициентов полноты носовой и кормовой частей. В то же время исследование должно было дать наиболее приемлемое положение центра величины по длине.

Были выбраны следующие характеристики судна:  $L_{11} = 121,92$  м;  $B = 17,07$  м;  $T = 7,11$  м;  $\beta = 0,975$ ;  $R_{ок} = 1,98$  м;  $b_{ок} = 0,152$  м.

На рис. 57 показаны теоретические корпуса и профиль модели 72, 74 и 80. Носовые шпангоуты умеренно U-образны, особое внимание было обращено на то, чтобы днище не было плоским в носу. Наклон форштевня к вертикали 16°. Принята крейсерская форма умеренных размеров, ее длина  $0,035 L_{11}$ , погружение — около 20% от осадки. На рис. 58 приведены строение по шпангоутам и грузовые ватерлинии модели этой серии.

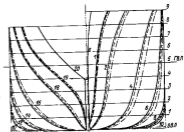
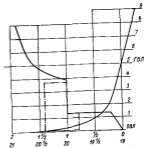


Рис. 57. Теоретические корпуса и овертеку носа и кормы модели Ch. T. H.

— 72 — — — — 74 — — — — 80.

На рис. 59 показано, как алинет положение центра величины на сопротивлении. При относительных скоростях  $Fr < 0,208$  можно принимать  $\chi_0$  равным  $(0,01-0,02) L_{11}$  в корму от середины длины. При  $Fr > 0,223$  оптимальное положение центра величины — между 2 и 2,5% в корму от середины длины.

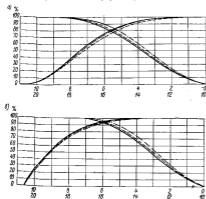


Рис. 58. Строение по шпангоутам и грузовой материалю моделей  
 Ш. Т. Н.: а — срезом; б — ватерлинией.  
 ———— 72; - - - - - 74; ······ 80.

Некоторые другие серийные испытания моделей показали, что сопротивление снижается при уменьшении коэффициента полноты носовой, а не кормовой части.

Часто, особенно по соображениям устойчивости, желательны иметь несколько более V-образные носовые шпангоуты. При более низких скоростях хода различия в сопротивлении модели с V-образными носовыми шпангоутами незначительны, при более высоких скоростях, однако, V-образная форма носа дает значительно худший результат. При  $Fr = 0,238$  изменение фор-

мы шпангоутов привело к увеличению сопротивления на 5% по сравнению с первоначальной U-образной формой носа.

Описанные выше модели предназначались для двухвинтовых судов. Позже испытана модель с  $\delta = 0,65$ , у которой кормовая часть была переделана для одновинтового судна. Эта модель показана на рис. 60. Ее шпангоуты в кормовой части сблизились по форме с U-образными.

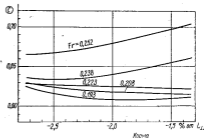


Рис. 59. Влияние положения центра величины по длине на сопротивление судна с  $\delta = 0,65$ .

Модель оказалась удачной. Ее сопротивление только немного выше, чем у модели двухвинтового судна.

#### Серия моделей Тэйлора с $\delta = 0,615$

Тэйлор [39] провел широкое исследование при более низких коэффициентах  $\delta$ . Исследовались модели двух серий — с коэффициентами  $\varphi$ , равными 0,64 и 0,60 соответственно. При  $\beta = 0,96$  это дает коэффициенты  $\delta$ , равные 0,615 и 0,576.

Модели имели слабо выраженную бульбообразную форму носовых шпангоутов и вертикальные форштевень и ахтерштевень. Центр величины располагался на середине длины судна по ватерлинии. Ясно, что серия Тэйлора непосредственно не применима к судам современной постройки, но в некоторых случаях она служит хорошим руководством по выбору формы строевых по шпангоутам и ватерлинии.

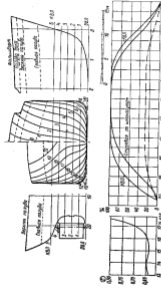


Рис. 65. Тороидальный вентиль, стержень по осям  $x$  и  $y$  в срезах соответственно  $x=0$  и  $y=0$ .  
 $\delta_{x,1} = 12,10$  мм;  $\delta_{x,2} = 11,03$  мм;  $\delta_{x,3} = 1,13$  мм;  $\delta_{y,1} = 10,05$  мм;  $\delta_{y,2} = 10,02$  мм;  $\delta_{y,3} = 1,08$  мм;  $\delta_{x,4} = 1,13$  мм;  $\delta_{y,4} = 1,12$  мм;  
 $\delta_{x,5} = 0,81$  мм;  $\delta_{y,5} = 0,80$  мм;  $\delta_{x,6} = 0,73$  мм;  $\delta_{y,6} = 0,78$  мм;  $\delta_{x,7} = -0,87$  мм;  $\delta_{y,7} = -0,87$  мм;  $\delta_{x,8} = -0,87$  мм;  $\delta_{y,8} = -0,87$  мм.

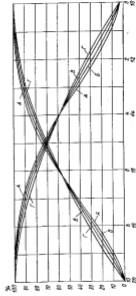


Рис. 61. Состояние деформации цилиндра при  $x=0$  и  $y=0$ .  
 A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z.



Рис. 62. Важные формы створной по шпангоутам в форме ватерлинии на величине сопротивления судна с  $\gamma = 0,64$  и  $\beta = 0,96$ .  
Формы ватерлиний (коэффициент) — — — — — острая — тупая;  
острая — ватерлиния; — — — — — острая — ватерлиния;  
острая — ватерлиния; — — — — — острая — ватерлиния.

Рассмотрим верную из упомянутых серий Тэйлора (серию более острых моделей см. в гл. VII). Строеные по шпангоутам серии с  $\gamma = 0,64$  показаны на рис. 61, результаты испытаний — на рис. 62.

При относительных скоростях до  $Fr = 0,24$  следует выбирать более пологую створную. Приемлемые значения дают створные по шпангоутам B и B. При  $Fr = 0,27 - 0,30$ , напротив, створные по шпангоутам должны быть почти прямыми.

Что касается влиятельной формы ватерлинии, то из рис. 62 можно заключить, что наиболее острая носовая оконечность в сочетании с наиболее полной зормой дает наилучшие результаты. Следовательно, необходимо выбирать U-образные носовые шпангоуты и резко выраженные V-образные кормовые шпангоуты.

#### Серия моделей Ch.T.H. с $\delta = 0,625$

Эта серия включает большое число моделей с одинаковым коэффициентом общей полноты, но с разным положением центра величины [26]. Характер обводов моделей показан на рис. 63. На рис. 64 показаны соответствующие створные по шпангоутам к ватерлинии. Размеры судна следующие:  $L_{\perp} = 121,92$  м;  $B = 17,07$  м;  $T = 7,10$  м;  $\beta = 0,967$ .

На рис. 65, в можно найти значения коэффициента сопротивления  $\zeta$  для различных скоростей хода при разном положении центра величины по длине (в заштрихованной зоне сопротивления отличается от минимального не более чем на 1%). С очевидием, что при  $\delta = 0,625$  центр величины следует располагать на  $(0,03 - 0,04) L_{\perp}$  от середины длины. Однако такое положение центра величины зачастую практически неприемлемо, и поэтому приходится иногда располагать центр величины ближе к носу. Если  $x_c = -0,025 L_{\perp}$ , то сопротивление, по величине, повысится примерно на 2,5%.

Наклучшим из описанных моделей имела коэффициент полноты носовой части 0,596 и кормовой части 0,704. Центр величины расположен на  $0,039 L_{\perp}$  в корму от середины длины, половина угла входа грузовой ватерлинии равна  $10^\circ$ .

Эти серии спроектированы для двухцилиндровых судов. Удачная модель одноцилиндрового судна показана на рис. 66. Его ширина незначительно больше, а центр величины находится на  $0,038 L_{\perp}$  в корму от середины длины; в корме приняты несколько более U-образные шпангоуты. В других отношениях эта модель похожа на модели двухцилиндровой серии Ch.T.H., что видно по характеру ее створной и ватерлинии.

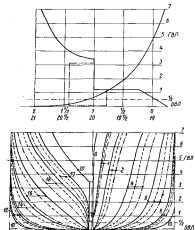


Рис. 63. Теоретические кривые в овертапе носа и корня шдлей  
 Ш. Т. Н.

Шдлей части: — 247 F. Кармелов части: — 249 A.  
 — 262 F. — 261 F. — 261 A. — 253 A.

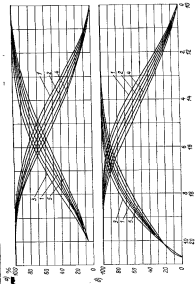


Рис. 64. Шдлей по шдлоготу и груное поперекте шдлей Ш. Т. Н.: а — стрдлей;  
 б — шдлогот.

1 — шдлогот 20; 2 — шдлогот 30; 3 — шдлогот 40; 4 — шдлогот 50; 5 — шдлогот 60; 6 — шдлогот 70; 7 — шдлогот 80.



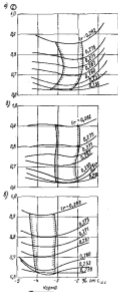


Рис. 65. Векторы поперечной центра полей в центре на сопряжениях:  $\alpha = 1 - 0,905$ ;  $\beta = 2 - 0,615$ ;  $\beta = 3 = 0,325$ .

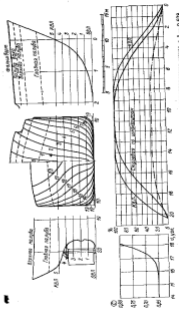


Рис. 66. Трёхмерный эффект, стрелки по направлению и краевая компонента поля  $\alpha = 0,628$ .  $L = 0,125 \text{ м}$ ;  $R = 0,127 \text{ м}$ ;  $r = 0,11 \text{ м}$ ;  $R/r = 1,18$ ;  $V = 900 \text{ м}^3$ ;  $\beta = 2,0$ ;  $\alpha = 0,628$ ;  $R_{\text{ок}} = 1,08 \text{ м}$ ;  $R_{\text{вн}} = 1,107 \text{ м}$ ;  $L = 0,125 \text{ м}$ ;  $L_0 = 0,075$ .  $L_1 = 0,050 \text{ м}$ ;  $L_2 = 0,075 \text{ м}$ ;  $\beta = 0,75$ ;  $\beta = 0,70$ ;  $\beta = 0,65$ ;  $\beta = 0,60$ ;  $\beta = 0,55$ ;  $\beta = 0,50$ .

При этих коэффициентах полноты автором [26] проведено несколько испытаний. Главные размеры — такие же, как у судов серии с  $\delta = 0,625$ . Теоретические чертежи, строевые по шпангоутам и ватерлинии показаны на рис. 63 и 64.

Главной целью испытаний было исследование влияния на сопротивление положение центра ватерлинии по длине. Испытания показали, что для этих коэффициентов полноты при всех скоростях центр ватерлинии следует располагать между  $0,02 L_{\text{в.л.}}$  и  $0,03 L_{\text{в.л.}}$  в корму от середины длины. Оказалось, что центр ватерлинии можно перемещать до  $0,035 L_{\text{в.л.}}$  в корму от середины длины; увеличивая этим сопротивление не более чем на 3% (см. рис. 63).

#### Модель быстрого пассажирского судна

Для пассажирских судов особенно важно знать влияние на сопротивление изменения главных размеров, так как для этих судов следует назначать сравнительно большую ширину.

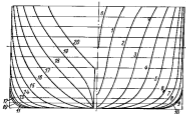


Рис. 67. Теоретический чертеж модели Св Асвадо.

Ряд таких исследований провели Фруд, Тэйлор и Кент. Они установили, что ширину можно немного увеличивать при меньших коэффициентах  $\delta$  (например, равных 0,64—0,58), не увеличивая заметно сопротивление. Это справедливо, если осадка уменьшается в той же пропорции, т. е. когда площадь мидель-шпангоута сохраняется постоянной.

Теоретический корпус типичного быстрого пассажирского судна с большой шириной показан на рис. 67. Эта модель была испытана

Асвадо в Эль-Парао, Мадрид [1]. Размеры и характеристики судна следующие:  $L_{\text{в.л.}} = 175,0$  м;  $B = 23,0$  м;  $T = 8,15$  м;  $\delta_{\text{в.л.}} = 0,6449$ ;  $\delta_{\text{в.д.}} = 0,6161$ ;  $\varphi_{\text{в.д.}} = 0,6244$ ;  $\varphi_{\text{в.л.}} = 0,6535$ ;  $\beta = 0,9868$ ;  $L/B = 7,608$ ;  $B/T = 2,822$ . Ширина судна соответствует формуле:  $B = 0,1L + 5,5$  м.<sup>1</sup>

Форма строевой по шпангоутам и грузовой ватерлинии показана на рис. 68. Половина угла выхода грузовой ватерлинии равна  $8^{\circ},5$ , центр ватерлинии расположен на  $0,0239 L_{\text{в.л.}}$  в корму от середины длины. Полнота мидель-шпангоута очень большая, чему способствует то, что днище плоское, без киляватости.

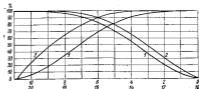


Рис. 68. Строевая по шпангоутам и грузовой ватерлинии модели Св Асвадо.  
1 — строевая; 2 — ватерлиния.

Строевая по шпангоутам заметно S-образна, стрелка вогнутости достигает 7% от площади мидель-шпангоута. Носовая часть очень пологой на модели Св.Т.Н., по грузовой ватерлинии в корме принята менее полой. Кривая сопротивления удовлетворительна.

<sup>1</sup> Число знаков в значениях коэффициентов и составлении главных размеров по модели мадрасского бассейна является прототипическим. — Прим. научн. ред.

Для тихоходных судов сопротивлению хорошо оценивается по коэффициенту  $\delta$ . Для острых судов, наоборот, решающим является коэффициент  $\varphi$ . Как уже отмечалось в гл. II, наибольшее значение  $\varphi$  достигают, наименьшую величину  $\delta$ . По-видимому, при меньших значениях  $\delta$  следует принимать сравнительно большой коэффициент  $\varphi$  и не стремиться уменьшать его. Это объясняется тем, что при малом коэффициенте продольной полноты строение по шпангоутам имеет сильную S-образность и весьма острые концы, особенно в носу.

При малых коэффициентах  $\delta$  в рассматриваемом интервале и высоких скоростях на волнообразовании влияет вся носовая часть судна. При  $Fr=0,282$  длина носовой волны составляет примерно 50% от длины судна, а при  $Fr=0,297$  она может достигать 67%. Поэтому недостаточно заострить только носовую оконечность, острой должна быть вся носовая часть судна, расположение шпандрической вставки должно учитывать длину возмущающей носовой волны. Следует обеспечить возможность обтекания корпуса примерно по диагональным рыбкам, а не только по горизонтали вдоль ватерлиний.

Из вышесказанного ясно, что следует сочетать не очень большой коэффициент  $\delta$  с не слишком малым коэффициентом  $\varphi$ . Вероятно, впервые высказал это Тэйлор.

На рис. 15 и 16 показаны значения обычно принимающихся коэффициентов  $\varphi$ . На рис. 16 кривая Тэйлора дает значения  $\varphi$ , соответствующие минимальному сопротивлению. При более низких скоростях, как правило, приходится принимать значительно большие коэффициенты  $\varphi$  и пользоваться кривой на The Shipbuilding Cyclopaedia.

#### ПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРА ВЕЛИЧИНЫ И НАИБОЛЕЕ ПОЛНОГО ШПАНГОУТА

Этот вопрос рассматривали различные исследователи. Оптимальное положение наиболее полного шпангоута при коэффициентах  $\varphi$ , равных 0,597 и 0,621, изучал Бюкер [3].

Для серии моделей с более острыми обводами оптимальное положение наиболее полного шпангоута по этим исследованиям при относительных скоростях  $Fr < 0,229$  — между 0,02L и 0,04L в корму от середины длины. При более высоких скоростях он расположен между 0,035L и 0,05L в корму от середины длины. Для более полной серии согласно исследованиям при относительных скоростях  $Fr < 0,238$  носовое заострение, наоборот, должно быть короче кормового, но когда  $Fr=0,268$ , наиболее полный шпангоут должен находиться примерно в пределах (0,035—0,05)L в корму от середины длины.

## ГЛАВА VII

### СУДА С КОЭФФИЦИЕНТОМ ОБЩЕЙ ПОЛНОТЫ МЕНЬШЕ 0,60

#### ОБЩЕЕ

Коэффициенты  $\delta$  менее 0,60 имеют быстрозадвижные пассажирские суда малых размеров, таромы, яхты, тральщики, буксиры и т. д., а также большое число крейсеров и эсминцев. Корабли береговой охраны здесь не рассматриваются; тем, кто ими интересуется, можно рекомендовать статью Ханжуэла [16].

Из рис. 9 видно, что при указанных выше малых значениях  $\delta$  и высоких скоростях многие суда попадут в район горба с протавления при  $\varphi=0,895$ .

Почти у всех рассматриваемых судов малое отношение  $L/B$  и большое отношение  $B/T$ .

Рис. 9 и 10 помогают выбрать коэффициент  $\delta$ , который в последнее время для этих судов увеличился. Его значение за эту ступю можно принимать по формуле:  $\delta=1,085-1,68 Fr$ .

#### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ ИДЕАЛЬНО-ШПАНГОУТА

На рис. 11 и 12 приведены значения  $\beta$  для построения судов, а также рекомендации специалистов в Валенингенском бассейне. Однако следует обращать внимание на особенности судов различных типов, например на серпантинные осадки. Зачастую коэффициент  $\beta$  необходимо принимать меньшим, чем для кривая Валенингенского бассейна (например, для траулеров, больших яхт).

При  $\delta=0,60$  коэффициент  $\beta$  можно обычно принимать значениями 0,96—0,97. При  $\delta=0,55$  его целесообразно снижать примерно до 0,93—0,94. Однако иногда коэффициент  $\beta$  приходится принимать еще меньшим, чем указано выше.

Аналогичные результаты получены в исследовании Сэдлера [35]. Он испытал две серии моделей — с коэффициентами  $\phi$ , равными 0,538 и 0,606 соответственно. Испытание первой серии с  $\phi=0,538$ , показало, что при  $Fr < 0,238$  наиболее полный шаггоут можно располагать в пределах 0,025L в нос к корме с середины длины без заметного изменения сопротивления. Насколько больше изменения, чем эти, не имеют существенного значения, но при относительных скоростях  $Fr > 0,297$  наиболее полный шаггоут следует располагать между серединой длины и до 0,03L в корму от нее.

В исследованиях Бокера и Сэдлера, таким образом, выявилась одинаковая тенденция. При большей длине обводов наиболее полный шаггоут следует располагать дальше в корму при больших скоростях его необходимо располагать дальше в корму, чем при более низких. На основе результатов, полученных Бокером и Сэдлером, составлена табл. 9, в которой приведены рекомендуемые положения наиболее полного шаггоута для различных скоростей и коэффициентов  $\phi$ .

Таблица 9

Положение наиболее полного шаггоута, в процентах от длины судна в корму от середины длины

Относительная скорость (число Фруда) $u/\sqrt{gL}$	Коэффициент продольной полноты $\gamma$				
	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54
0,267	3,5—5,5	2,3—4,3	1,5—3,5	1,4—3,9	1,0—2,7
0,292	4,0—5,7	2,8—4,5	1,7—2,6	0,4—2,9	0,0—2,4
0,297	—	4,0—5,8	2,8—4,5	2,1—3,7	1,5—3,3

Из этих испытаний, однако, нельзя непосредственно получить данные о положении центра величины по длине. Тем не менее ясно, что эту точку следует располагать немного в корму от наиболее полного шаггоута. Данные о приблизительном положении центра величины приведены ниже, где описаны исследования, выполненные в Сh.T. H.

#### ТИПИЧНЫЕ МОДЕЛИ, ИХ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ И СТРОЕНЫЕ ПО ШАГГОУТАМ

##### Строевые по шаггоутам Фруда

Наиболее исчерпывающие исследования строевых по шаггоутам и ватерлайн выполнил Фруд [12] и позднее Тэйлор [3]. Результаты их исследований подробно рассмотрены ниже.

Исследования Фруда [12] выполнены на моделях типичных крейсеров начала XX века с глубоко погруженной крейсерской кормой и с таранной формой носа. Результаты испытаний — величина  $\zeta$  представлены кривыми разных значений  $\phi$  в функции  $\zeta$ . Эти символы, на основе которых привел кривые Фруд, в настоящее время вышли из употребления, хотя еще применяются для осрких судов. Поэтому кривые перестроены в зависимости коэффициента  $\zeta$  от относительного водоклинеания<sup>2</sup> при равных относительных скоростях.

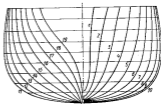


Рис. 66. Теоретический корпус модели Фруда (тип 1).  
L = 106,66 м; B = 17,57 м; T = 6,70 м;  $\delta = 0,607$ ;  $\delta = 0,545$

На рис. 69 показан теоретический корпус исходной модели Фруда. Были разработаны пять строевых по шаггоутам из исходной строевой путем укорочения носовой и кормовой частей.<sup>3</sup> Всего было получено шесть строевых для различных коэффици-

<sup>1</sup>  $\zeta$  и  $\phi$  — характеристика водности в дилативной системе, подробнее см. Я. И. Войткусский, Р. Я. Першин, И. А. Татон, Справочник по теории корабля, Судостроение, 1963, стр. 232—234. Валечка  $\zeta = \frac{0,3857L\delta}{\sqrt{\Delta}}$

<sup>2</sup>  $\frac{L_{AA}}{\sqrt{D}}$ , т. е. представляет собой относительную длину. — Прим. пер.

<sup>3</sup> Вальева, образки (с которыми постоянным коэффициентом) кривую относительной длины. — Прим. пер.

<sup>4</sup> Укорочение осуществлено от первоисходника, причем при укорочении формы пруживающая теоретическая корма усложнилась. Результаты испытаний приведены для постоянной длины моделей путем изменения масштаба. — Прим. пер.

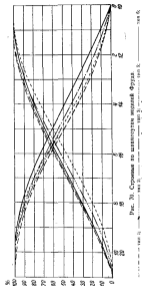


Рис. 70. Стромы по шпангоутам моделей Фруда.

..... тип 1 — криволинейный килей 3 и 6.  
 — тип 2 — тип 3 — тип 4 — тип 5 — тип 6.

диаметов  $\delta$  — от 0,487 до 0,541. Эти стромые показаны на рис. 70. Характеристика формы пяти производных стромых дана ниже:

Тип 2 — тип 1, но с укорочением кормы на 3,05 м;

Тип 3 — тип 2, но с укорочением кормы еще на 3,05 м;

②

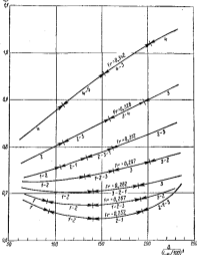


Рис. 71. Кривые наименьшего сопротивления моделей сорки А Фруда.

Тип 4 — тип 3, но с укорочением носа на 1,52 м;

Тип 5 — тип 4, но с укорочением носа еще на 1,52 м;

Тип 6 — тип 5, но с укорочением носа еще на 3,05 м.

В этом исследовании были приняты два различных значения отношения ширины к осадке: сорки А —  $B/T = 2,59$ ; сорки В —

— $B/T=3,74$ . Коэффициент полноты модель-шпангоута при равнии 0,8775. Исследовалось несколько значений относительного водоизмещения при изменении отношения длины к ширине в пределах 9,5—4,7. В табл. 10 [6] приведены размеры и коэффициент  $\delta$  судна длиной 121,92 м.

Результаты испытаний моделей серии А показаны на рис. 7. Цифры, стоящие между стрелками, — размеры оптимальных строек по шпангоутам для данной области. Первая цифра в кавычках самый лучший тип строек, за исключением — те строек, которые дают более высокие значения коэффициента  $\delta$  но не выше чем на 1%.

Таблица

Характеристики судна длиной 121,92 м, соответствующего моделям Фруда

Тип строек	Ширина В, м	Осадка Т, м	Коэффициент продольной полноты			Длина, м		Половина угла заострения $L_{0,5}$ в строек $L_{0,5}$	Половина угла заострения $L_{0,2}$ в строек $L_{0,2}$ , град.	Форма грузовой ватерлинии у форштева
			носовой части %	кормовой части %	область $\gamma$	носовой $L_{0,5}$	кормовой $L_{0,5}$			
1	19,63	7,59	0,526	0,570	0,548	61,57	60,35	7,5	S-образная	
2	20,21	7,80	0,526	0,600	0,562	63,40	58,52	7,5	S-образная	
3	20,82	8,02	0,526	0,635	0,578	65,23	56,69	7,5	S-образная	
4	21,09	8,11	0,539	0,635	0,584	64,60	57,30	10,0	Слабо S-образная	
5	21,46	8,26	0,554	0,635	0,592	63,70	56,22	14,0	Прямая	
6	22,13	8,53	0,585	0,635	0,609	61,87	60,05	20,0	Выпуклая	

Как пользоваться диаграммой, ясно из следующего примера. Предположим, что судно с относительным водоизмещением  $\frac{\Delta}{L_{0,5}^3 10^6} = 150^1$  будет иметь относительную скорость  $Fr=0,297$ . По диаграмме  $\textcircled{C}$  — 0,74 для строек по шпангоутам 1, а для строек 2 и 3  $\textcircled{C}$  выше на 1%.

<sup>1</sup> Водоизмещение — в английских тоннах, длина — в футах; при  $L=5,7$  — Прок. мтр.

Из табл. 10 видно, что для строек 1  $\varphi=0,548$ , длина носового заострения  $L_{0,5}=61,57$  м и  $\varphi_{0,5}=0,595$ . Длина кормового заострения  $L_{0,5}=60,35$  м,  $\varphi_{0,5}=0,570$ . Грузовая ватерлиния S-образная, половина угла входа Т, В. Стройка по шпангоутам также заметно S-образная.

Как видно из рис. 71, острая форма корпуса всегда дает наилучшие результаты при умеренных скоростях. Только при  $Fr=0,312$  несколько лучше строек 4 и 5.

Сравнительно с другими крейсерская корма всех моделей Фруда, очевидно, была обычно большой. Ее длина составляла 5—6% от длины по грузовой ватерлинии.

### Модели Тэйлора с $\varphi=0,60$

Как уже упоминалось в предыдущей главе, Тэйлор провел широкие исследования серий моделей с коэффициентами  $\varphi=0,60$  и  $\beta=0,95$ .

Стройки по шпангоутам показаны на рис. 72, ватерлинии — на рис. 73, результаты — на рис. 74.

При относительных скоростях  $Fr < 0,24$ , по-видимому, преимущество носового S-образия строек по шпангоутам. Можно рекомендовать строек примерно посередине между строек В и В. Наилучшее сочетание — острая ватерлиния в носу и полная в корме.

При относительных скоростях  $Fr=0,27—0,30$ , наоборот, лучше прямая строек по шпангоутам. Здесь также наилучшее сочетание — острая грузовая ватерлиния в носу и полная в корме.

Среди моделей Тэйлора этой серии были модели с небольшими добавочными площадями шпангоута в носу, эквивалентными бульбу площадью около 3% от  $S_{0,5}$ . Были испытаны несколько серий с бульбообразным носом, и результаты показали, что можно иногда заметно снизить сопротивление — в том случае, если суда плавают при высоких скоростях по отношению к коэффициенту  $\delta$  [40]. Зона бульбообразных носовых обводов, по-видимому, ограничивается относительными скоростями  $Fr=0,228—0,312$ . В том случае, когда можно принять бульб большого диаметра, выигрыш в сопротивлении может достигать 8—10%. При меньшей площади бульба выигрыш редко превышает 4—5%, а при небольшой площади бульба (2—3% от площади модель-шпангоута) выигрыш обычно снижается до 1—2%.

Для большинства судов с нормальными соотношениями главных размеров редко оправдано применение бульбообразного носа. Это выяснено в нескольких исследованиях Бизера

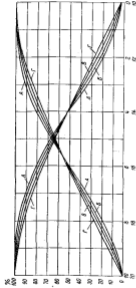


Рис. 72. Свойства по широким углам для кристалла с  $\gamma = 0,60$ .  
 А, Б, В, Г — см. на рис. 71.

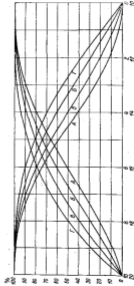


Рис. 73. Свойства по широким углам для кристалла с  $\gamma = 0,60$ .  
 А, Б, В, Г — см. на рис. 71.

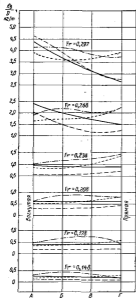


Рис. 74. Влияние форм стрелы на шпангоуты и формы внутренних обшивок на волновое сопротивление судна с  $\gamma = 0,60$  и  $\beta = 0,96$ .  
 Формы обшивки (контур): — остр.; — полук.; — загл.; — остр.; — полук.; — загл.; — остр.

и в значительной степени подтверждено последующими исследованиями Сн.Т.Н.<sup>3</sup> Носовой бульб у судов арктичного плавания применять не следует<sup>2</sup>.

#### Модель Норстрёма с $\delta = 0,575$

Результаты испытаний серия моделей с коэффициентом  $\delta = 0,575$  опубликованы в 1950 г. [30]. На рис. 75 показан теоретический корпус, на рис. 76 — стрелка по шпангоутам.

Наиболее полный шпангоут расположен на 0,0375L в корму от середины длины, цилиндрическая обшивка отсутствовала. Это модели одновинтовых судов с очень небольшой крейсерской кормой.

Таблица 11

Значения коэффициента сопротивления при  $\lambda_{\text{с}} = 0,05L$

Число Фруда $Fr$	0,238	0,253	0,268	0,283	0,298	0,313
Коэффициент $\zeta$	0,548	0,500	0,703	0,797	0,880	0,910

Целью испытаний, между прочим, было изучение влияния положения центра тяжести на сопротивление. Установлено, что оптимальная абсцисса центра тяжести составляет 0,025L в корму от середины длины. В табл. 11 приведены коэффициенты сопротивления  $\zeta$  для этого случая.

<sup>1</sup> В последние время в Японии и других странах проводил ряд исследований формы, объема и места расположения носового бульба, результаты которых привели к этой форме. Один из удачных примеров спаренного быстрого судна с бульбобразным носом — построенный в 1963 г. в Японии «*Yamashiro Maru*» ( $L_{\text{д.л.}}$  = 190,0 м,  $\delta = 0,56$ ,  $Fr = 0,37$ , площадь бульба — 6% от площади мидель-шпангоута). В 1962 г. в Англии построено быстрое судно с бульбобразным носом «*Bencalla*» ( $L_{\text{д.л.}}$  = 154,15 м,  $\delta = 0,55$ ,  $Fr = 0,28$ ). Судна с бульбобразным образованием строят в США и других странах — Драм. пер.

<sup>2</sup> Этому заключению противоречат результаты исследования большого числа различных быстровинтовых судов арктичного плавания. Например, северное судно «*Katleg Maru*» ( $L_{\text{д.л.}}$  = 80 м,  $\delta = 0,336$ ,  $BUT = 3,4$ ,  $Fr = 0,330$ ) имеет носовой бульб площадью 5,5% от площади мидель-шпангоута. Истории испытаний этого же судна, оборудованного развитым носовым бульбом (10,7% от площади мидель-шпангоута), показали, что при заданной скорости была возможность повысить допустимую нагрузку на 13%, при мощности 5800 л. с. скорость хода увеличивается с 18,45 до 19,9 узлов. («*The Shipping World*, No. 146, 23/V — 1965» — Драм. пер.



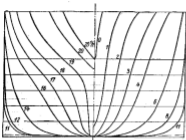


Рис. 75. Теоретический корпус яхты 354 Нордстрёма.  
 $\delta = 0,04$  м;  $\theta = 11,3$  м;  $\Gamma = 7,0$  м;  $\lambda = 0,576$ ;  $\varphi = 0,096$ ;  $\gamma = 0,086$ .

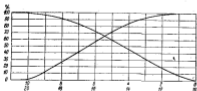


Рис. 76. Скрюки по шпангоутам яхты 354 Нордстрёма.

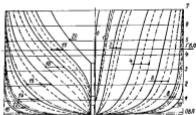
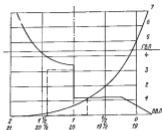


Рис. 77. Теоретические корпуса и скрюки носа и кормы сери  
 яхты 354 Нордстрёма с  $\delta = 0,555-0,605$  Ш. Т. Н.  
 Основные числа: — 20 Г. Кормовые части: — 20 А;  
 — 20 Г. — 20 Г. — 20 А; — 20 А.

Автор в статье [27] рассмотрел несколько серий моделей дуэлантовых судов. Модельные испытания были выполнены для шести значений коэффициента  $\delta$  — в пределах 0,605—0,555. Для каждого коэффициента общей полноты исследовались четыре сочетания носовой и кормовой частей, определялись оптимальные абсциссы центра везичины, а также соответствующие коэффициент полноты носовой заостренности.

Теоретические корпуса показаны на рис. 77, соответствующие строение по шпангоутам — на рис. 78. Размеры и другие характеристики судна:  $L_{\text{д.к.}}=121,92$  м;  $B=17,07$  м;  $T=6,30$  м;  $\rho=0,962$ ;  $R_{\text{св}}=2,44$  м;  $\lambda_{\text{св}}=0,152$  м; цилиндрическая вставка отсутствует.

Отношение  $B/T$  весьма велико, но можно напомнить, что эти модели испытывались и при  $B/T=2,4$  (см. гл. VI).

Как уже отмечалось, перед исследованием ставилась цель выяснить влияние положения центра везичины на сопротивление. Результаты показаны на рис. 79, где даны значения коэффициента  $C$  для различных относительных скоростей в зависимости от положения центра везичины. На каждой кривой постоянного числа Фруда показан интервал, в котором сопротивление не превышает минимальное больше чем на 1%.

Таблица 12

Наимыгоднейшие положения центра везичины по длине и коэффициент полноты носовой части

Серия моделей	Коэффициент общей полноты $\delta$	Абсцисса ЦВ $x_0$ , в процентах от длины судна в корму от середины длины	Коэффициент полноты носовой части $\delta_n$
I	0,555	1,9—2,6	0,507—0,532
II	0,565	1,5—2,5	0,540—0,518
III	0,575	1,7—2,5	0,545—0,528
IV	0,585	1,4—2,2	0,530—0,544
V	0,595	2,0—3,0	0,536—0,536
VI	0,605	2,9—3,6	0,547—0,527

Приближенные значения оптимальных абсциссы центра везичины и соответствующих коэффициентов полноты носовой части приведены в табл. 12.

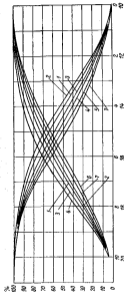


Рис. 78. Строение по шпангоутам моделей дуэлантовых судов Сн.Т.Н. с  $\delta=0,555-0,605$ . 1 — модель III; 2 — модель IV; 3 — модель V; 4 — модель VI; 5 — модель VII; 6 — модель VIII.

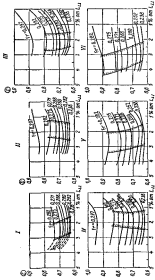


Рис. 79. Взаимное положение центра масс относительно центра инерции по дугам на сферическом мостике с  $\lambda = 0,29$  —  $4,09$  (в  $0,01$  м).

$\lambda = 0,29$ ; II —  $0,36$ ; III —  $0,43$ ; IV —  $0,50$ ; V —  $0,57$ ; VI —  $0,64$ .

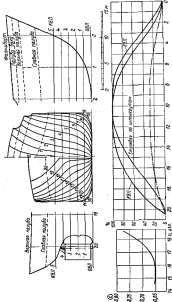


Рис. 80. Теоретический чертеж, стрелы по параллелям и кривая соотношения ступен с  $\lambda = 0,29$ ,  $\lambda_{1,2} = 0,36$  и  $0,43$  и  $\lambda = 1,16$  и  $1,23$ ;  $R = 0,01$  м;  $\alpha = 0,01$  рад;  $R_{0,01} = 1,16$  и  $R_{0,02} = 0,119$  и  $\lambda_{0,01,0,02} = 0,008$ ,  $\lambda_0 = 1,005$ ;  $\lambda = 0,005$  и  $0,0177$ ;  $\lambda_{0,01} = 0,015$ ;  $\lambda_0 = -0,0107$ ,  $\lambda_1$ .

Позже было спроектировано двоякитовое судно с  $\delta=0,573$  его теоретический чертеж и другие данные показаны на рис. 80. Эта модель соответствует модели III двоякитового судна и имеет ту же носовую часть. Кормовая часть, однако, изменен

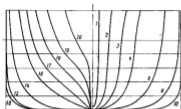


Рис. 81. Теоретический корпус грузо-пассажирского судна.  
 $L = 121,00$  м;  $B = 11,85$  м;  $T = 7,04$  м;  $\delta = 0,550$ ;  $\psi = 0,576$ ;  $\beta = 0,570$ .

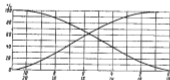


Рис. 82. Стрелка по шпангоутам грузо-пассажирского судна.

двоякитовое судно имеет несколько более U-образные шпангоуты вблизи кормы.

#### Грузо-пассажирское судно с $\delta=0,559$

Ширина судна необычно большая. Его теоретический чертеж показан на рис. 81, стрелка по шпангоутам — на рис. 82.

Испытания модели дали результаты, почти совпадающие с результатами испытаний стандартных серий Тэйлора.

#### Пассажирское судно с $\delta=0,573$

Его ширина также очень велика, а осадка весьма мала, вследствие чего отношение  $B/T=3,68$ . На рис. 83 показан теор

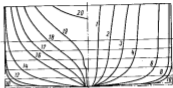


Рис. 83. Теоретический корпус судна с  $\delta=0,573$ ,  
 $L = 121,00$  м;  $B = 14,36$  м;  $T = 5,03$  м;  $\delta = 0,573$ ;  $\psi = 0,582$ ;  $\beta = 0,565$ .

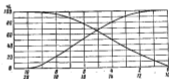


Рис. 84. Стрелка по шпангоутам судна с  $\delta=0,573$  (см. рис. 83).

ретический корпус, на рис. 84 — стрелка по шпангоутам. Сопротивление модели соответствует сопротивлению стандартных серий Тэйлора.

ГЛАВА VIII  
СУДА ДЛЯ ПЛАВАНИЯ В ПРОЛИВАХ  
ОБЩЕЕ

Суда этого типа получили название<sup>1</sup> от быстроходных пассажирских судов, которые ходят между портами Англии и Франции через проливы Ла-Манш (Английский канал). Суда этого типа встречаются и на других линиях, например на Англии и Ирландию, Голландию и Данию. Некоторые американские и японские суда также относятся к этой категории.

Скорость хода большинства судов этого типа достигает 20—24 узлов, а некоторых новейших — 25 узлов. Эти суда по отношению к своей длине наиболее быстроходны из всех пассажирских судов, — они обычно имеют относительные скорости  $V_T = 0,35—0,45$ . Этот район лежит за горбом сопротивления при  $\Phi = 0,955$ , большинству таких судов соответствует значительно большее значение  $\Phi$ .

В табл. 13 даны размеры нескольких судов проливно-плавающих, на диаграмме рис. 85 — употребляемые коэффициенты общей полноты.

ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ

Чтобы снизить сопротивление при высоких скоростях, увеличивают, насколько возможно, длину судов. Однако в большинстве портов длина причалов весьма мала и вход довольно узок. Вследствие этого длина судна, как правило, ограничивается величиной около 110 м. На рис. 85 показаны обтекаемые длины и ширины судов этого типа. Суда более старой постройки для Английского канала зачастую имеют длину 90—98 м, тогда как большинство из них в настоящее время имеют длину 104—110 м.

<sup>1</sup> На них ставят также по месту нахождения большинства из них судовой для Английского канала (English Channel) — весьма ценно, что иногда употребляется как название суда. Можно назвать их судами проливно-плавающих. — Прим. пер.

Таблица 13

Основные характеристики судов проливно-плавающих

Название судна	Корпусная №]	Длина L, м	Ширину B, м	Средняя T, м	Коэффициент общей полноты $\Phi$	Средняя скорость хода в узлах	Число Фруда Fr	Отношение $\frac{D}{T}$ γ	Отношение $\frac{L}{B}$ δ	Индикаторная мощность на валу N, л. с.
„Princess Maud“	1924	99,06	14,93	3,25	0,537	20,0	0,320	4,6	6,5	7180
„Princess Victoria“	1947	93,11	14,43	3,50	0,595	19,0	0,324	4,2	6,4	5100
„Koning Albert“	1947	109,79	14,03	3,20	0,515	25,0	0,393	4,0	7,5	15000
„Woolfing“	1932	90,47	13,73	2,92	0,575	24,0	0,414	4,0	7,7	—
„Isle of Sark“	1932	91,80	12,40	3,43	0,474	26,0	0,342	3,3	7,2	5000
„Hinnova“	1946	121,92	17,68	5,16	0,573	21,0	0,312	3,4	6,9	13000
„King Orry“	1946	99,06	14,32	3,45	0,550	21,0	0,345	3,8	6,3	9500
„Folaise“	1947	91,74	14,03	3,45	0,547	20,0	0,342	3,9	6,3	8500
„Cambridge“	1949	114,30	15,46	4,02	0,542	21,0	0,321	3,6	6,9	9300
„Jean Bagn“	1950	94,49	14,35	4,38	0,465	20,5	0,345	3,0	6,4	6300

Порты на Ла-Манше, как правило, мелководны, их глубина редко превышает 4,0—4,25 м. Это ограничивает осадку vessel 3,35—4,0 м. Поэтому увеличивают ширину таким образом, чтобы при ограниченной длине получить достаточное водоизмещение. Большая ширина также необходима из соображений устойчивости.

Соотношения между длиной, шириной и осадкой судов при дальнем плавании показаны на рис. 85. Как видно из графиков отношение длины к ширине изменяется в пределах 7,0—8,0.

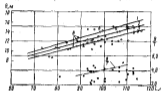


Рис. 85. Отношения длины к ширине и ширины к осадке судов дальнего плавания.  
1 —  $L/B = 7,5$ ; 2 —  $L/B = 7,3$ ; 3 —  $L/B = 6,5$ .

Для судов более легкой постройки обычно значения  $L/B = 6,5—7,0$ . Отношение  $B/T$  у многих судов приближается к 4,0.

#### КОЭФФИЦИЕНТЫ ФОРМЫ

Для снижения сопротивления важно выбрать небольшое значение коэффициента  $\delta$ . На рис. 86 показано, что обычно его значение выбирают в пределах 0,51—0,57. Относительное водоизмещение  $\frac{\Delta}{(L \cdot B \cdot 100)^3}$ , как правило, находится в пределах 60—70<sup>3</sup>.

Коэффициент  $\varphi$  чаще всего не выходит из пределов 0,57—0,63. При относительной скорости  $Fr = 0,36$  оптимальное значение  $\varphi$  очевидно, равно 0,57—0,59. При более высоких скоростях следует принимать большие значения  $\varphi$ , в табл. 14 приводимые рекомендуемые его величины. Из рис. 87 видно, что табличные значения близки к кривой Тейлора. Эта кривая показывает значения коэффициента  $\varphi$  для минимального сопротивления при различных относительных скоростях.

На рис. 88 показаны значения коэффициента  $\beta$ , предложенные различными исследователями. В последнее время употребляют

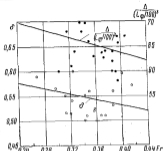


Рис. 86. Коэффициенты  $\delta$  в относительное водоизмещение судов дальнего плавания.  
1 — коэффициенты по кривой 1; 2 — относительное водоизмещение  $\frac{\Delta}{(L \cdot B \cdot 100)^3}$ .

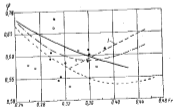


Рис. 87. Коэффициенты  $\varphi$  судов дальнего плавания.  
1 — по Тейлору; 2 — по Вилеру; 3 — коэффициент по кривой Тейлора.

<sup>1</sup> Этому соответствует  $L = 7,3—7,5$  — Джек, пер.

Коэффициенты продольной полноты

Число Фруда $Fr$	0,327	0,367	0,387	0,417	0,446
Коэффициент продольной полноты $\beta$	0,57—0,58	0,59	0,60	0,62	0,64—0,65

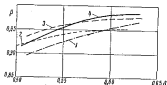


Рис. 88. Коэффициенты  $\beta$  судов продольного плавания.  
1 — шайбы-Каледис; 2 — Бекер; 3 — как Лангерос; 4 — Хендер.

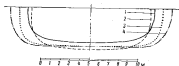


Рис. 89. Мягкие сечения судов продольного плавания.

Характеристики	1	2	3	4
	Р. Аллен	С.С.Б.	Л.Н.А. Шенкс	С.Т.Н.
$\beta_{0,3}$	106,08	97,50	101,00	111,81
$\beta_{0,4}$	12,96	12,19	11,63	10,48
$\beta_{0,5}$	3,58	4,27	3,96	3,96
$\beta_{0,6}$	0,758	0,758	0,807	0,847
$\beta_{0,7}$	0,409	0,415	0,459	0,527
$\beta_{0,8}$	0,207	0,209	0,200	0,208
$\beta_{0,9}$	10,5	9,6	10,70	8,20

более высокие коэффициенты  $\beta$ ; как правило, можно пользоваться кривой, предложенной Бекером.

Целесообразно же делать подъем днища и приближать носы большой радиус скругления. На рис. 89 показано несколько типичных форм мягких сечений рассматриваемых судов.

#### ПОЛОЖЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПОЛНОГО ШПАНГОУТА

У судов продольного плавания, как правило, носовое заострение должно быть более длинным, чем кормовое. Этот вопрос рассматривали различные исследователи, в том числе Седлер,

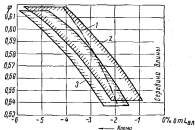


Рис. 92. Расположение наиболее полного шпангоута во днище.

1 —  $Fr = 0,368$  (по Бекеру); 2 —  $Fr = 0,368 - 0,385$ ; 3 —  $Fr = 0,397 - 0,417$ .

Рота, Висси и Бекер. Эти исследования обобщены на рис. 90, где показано оптимальное положение наиболее полного шпангоута. Внутренняя часть зонтахолоновых зон соответствует

минимуму сопротивления при данном значении относительной скорости. При относительных скоростях  $Fr > 0,35$ , по-видимому можно переищать наиболее полный шпангоут еще далее в корму.

У многих судов наиболее полный шпангоут расположен примерно на  $0,05 L$  в корму от середины длины. Так выделены между прочим, серия моделей Св.Т.Н. (см. стр. 115).

### СТРОЕВАЯ ПО ШПАНГОУТАМ

При проектировании обводов судов этой группы наиболее важным, несомненно, должен быть выбор строевой по шпангоутам. Редко можно использовать непосредственно имеющиеся в литературе строевые по шпангоутам для тех коэффициентов общей волноты, которые приняты для судов яхтового плаванья, так как распределение объемов в носовой и кормовой частях, очевидно, окажется невыгодным для таких больших значений  $B/L$ , какие имеют рассматриваемые суда.

У многих опубликованных строевых по шпангоутам носовая часть имеет настолько большую волноту, что при ее увеличении строевые в носу становятся прямыми на большом протяжении. При такой форме строевых нельзя получить достаточно острые ватерлинии. Кроме того, наиболее полный шпангоут обычно расположен на середине длины, тогда как его следует располагать в корму от нее.

В кормовой части ограничения в распределении объема меньше. Ближе к середине длины можно разместить большие объемы, чем в носовой части.

Несколько строевых по шпангоутам показано на рис. 91 и 92, подробно они рассмотрены ниже.

#### Строевые Фруда

Строевые по шпангоутам Фруда, описанные в предыдущей главе, по-видимому, наиболее часто служат прототипами для построения приемлемых строевых рассматриваемых судов.

Строевые Фруда показаны на рис. 91, а. Они основаны на испытанных моделях крейсеров, по многим быстродвижимым пассажирским судам, яхтам и т. д. спроектированы с их помощью. При рассматриваемых здесь скоростях лучше всех оказываются кривые 4 и 5. Кривая 6 такая же полная и прямая в носу, но, вероятно, ее можно использовать при очень высоких скоростях.

#### Строевые Бэйтса

Серия строевых по шпангоутам, предложенные Бэйтсом [8], разделены на две различные группы; первая — для судов с умеренными скоростями, вторая — для быстродвижимых. У последних

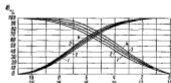
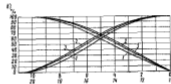
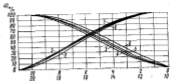


Рис. 91. Строевые по шпангоутам.

- а — модели Фруда.
- б — модели Бэйтса.
- в — модели Бэйтса.

- 1 —  $\gamma = 0,35$ ; 2 —  $\gamma = 0,40$ ; 3 —  $\gamma = 0,50$ .
- 4 — модели Ватсонского бассейна.
- 5 —  $\gamma = 0,35$ ; 6 —  $\gamma = 0,45$ ; 7 —  $\gamma = 0,40$ ; 8 —  $\gamma = 0,40$ .



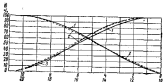
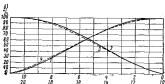
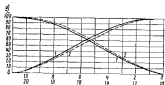


Рис. 92. Строения по шпангоутам.

а — модель Св.Т.Н.

1 — модель 432; 2 — модель 433.

б — модель Св.Т.Н. и Фруда.

1 — модель 432; 2 — модель 433; 3 — модель 3 Фруда;

4 — модель 3 Фруда.

в — модель Св.Т.Н. и английских судов.

1 — модель 432; 2 — С.С.Р.; 3 — В2.

отсутствует вогнутость в носу, тогда как при умеренной скорости строения несколько вогнута. Строения Бэйтса для высоких скоростей показаны на рис. 91, б. У этих крайних большие площади из района кормового закругления перемещены дальше в корму, так что вблизи самой кормы остается только небольшая вогнутость.

Строения Бэйтса имеют большие площади носовых частей, чем другие опубликованные строения по шпангоутам. Это неприемлемо, строение по шпангоутам должно быть незначительно вогнутой и более острой в носу. Слишком большие площади размещены у кормовой оконечности.

#### Строения Вагенингенского бассейна

Несколько строений по шпангоутам Вагенингенского бассейна показаны на рис. 91, в. Если сравнить строение 6 Фруда ( $\varphi=0,609$ ) с соответствующей строением Вагенингенского бассейна, окажется, что последняя более S-образна как в носу, так и в корме; значительно большие площади расположены в корме. Более острые носовые части строений весьма похожи на строения 3 и 4 Фруда, их зачастую можно использовать.

У строений для  $\varphi=0,65$  и  $\varphi=0,63$  кормовые части слишком полны. Строения для  $\varphi=0,61$  и  $\varphi=0,59$  похожи на те, которые имеют многие суда.

#### Строения Св.Т.Н.

Недавно в Св.Т.Н. было испытано около десяти моделей судов протипового плавания. Строения по шпангоутам двух из них показаны на рис. 92, а. На рис. 92, б они сравниваются со строениями Фруда; строения Св.Т.Н. весьма похожи на его строения 4 и 5. На рис. 92, в показано сравнение со строениями некоторых построенных судов.

У строений судна, обозначенного S. S. R., более прямое поперечное заострение, чем у модели 432, но у кормовой части тот же характер. У судна S. S. R. больший коэффициент  $\varphi$  и строение по шпангоутам заметно полнее, чем у модели 432.

Вероятно, эти строения можно улучшить, если притянуть в кормовой части вогнутость, так чтобы больше площади с оконечности переместились ближе к миделю. В этом случае строения по шпангоутам в корме будут более похожи на строения Вагенингенского бассейна, так же как и на кормовую часть строений судна В2 (см. рис. 92, в). У более подлой модели Св.Т.Н. была такая же строение в кормовой части, как у судна В2, ее испытания дали немалого лучший результат, чем модель 432.

Из различных опубликованных строений по шпангоутам строения Фруда, по-видимому, наиболее приемлемы (рис. 91, а).

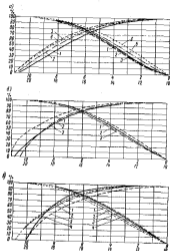


Рис. 93. Грузовые ватерлинии.

- а — модели Фруда.  
 1 — 1, 2, 3, 4 — номера чертёжа.  
 б — модель Кюбита в двух построениях судов.  
 1 — модель Кюбита; 2 — «Нителос»; 3 — «Китинг Алби».  
 в — модели С.Т.Н. и других судов.  
 1 — модель 001 С.Т.Н.; 2 — модель 002 С.Т.Н.; 3 — модель Алби; 4 — С.Т.Н.; 5 — 0,315.

Строения б, видимо, слишком полная, обычно можно использовать строевые 4 и 5. В кормовой части, очевидно, наиболее применима строевая, промежуточная между строевыми 2 и 6, но зачастую приемлема и строевая 5. В кормовой части допустимы весьма большие переделки без заметного изменения сопротивления.

#### ГРУЗОВАЯ ВАТЕРЛИНИЯ

Ватерлинии Фруда показаны на рис. 93, а. Они зачастую служат прототипами в более новых проектах. Для носовой части особенно часто используют ватерлинии, близкие к ватерлиниям 4, 5 и 6 Фруда, чаще всего они находятся между ватерлиниями 5 и 6. Делать их полнее, чем ватерлиния 6 не рекомендуется.

В кормовой части большинство ватерлиний на рис. 93 по форме и высоте подобны ватерлиниям 3 и 6 Фруда. Однако редко можно принимать такую большую ординату из 30 спангоуте, как у ватерлиний Фруда. У крейсерской кормы обычно небольшое погружение, чему соответствуют более острые ватерлинии, чем у Фруда. Это видно на некоторых теоретических чертежах.

#### ОЧЕРТАНИЕ НОСА И КОРМЫ

Очертания носа и кормы нескольких моделей и судов показаны на рис. 94. Видно, что форштевень чаще всего умеренно наклонен к вертикали (на 12—15°). На рис. 94 показано, насколько большой срез форштевня обычно делают ниже ватерлинии. Когда применяют носовой руль, срез гораздо меньше. Все новые суда имеют крейсерскую корму (см. рис. 94). Обычно применяют очень большой руль. Подрез дейдвуда в нос от руля, как правило, невелик, так как при большом подрезе дейдвуда ухудшится устойчивость на курсе.

#### ТИПИЧНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

Опубликовано очень мало теоретических чертежей судов продвинутого плаванья. Среди наиболее ценных — теоретические корпуса Келта и Катледа [21], [22], показанные на рис. 95.

При скоростях хода ниже 22—23 узлов эти модели имеют примерно одинаковое сопротивление и не нужно делать полнее носовую оконечность или увеличивать угол входа по сравнению с моделью 1255 (см. рис. 95). Модель с бубликообразным носом 1258В также испытывалась Келтом и Катледом, но показала значительно большее сопротивление, чем остальные.

Испытания моделей показали, что незначительные изменения кормовой части корпуса не оказывают заметного влияния на результаты. При устройстве крейсерской кормы с погружением

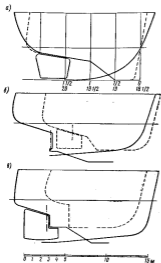


Рис. 94. Оборачивка носа и формы судна проливного канала.

- а — модель Св.Т.Н.  
 — 40 и 42; — — — — — 48.  
 б — построены суда:  
 — „Ахилл“; — — — — — „Зорник“.  
 в — построены суда:  
 — „Шивов“; — — — — — „Колдг Алберт“.

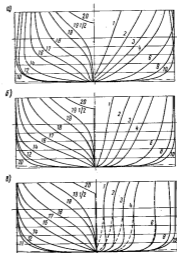


Рис. 95. Теоретические корпуса судов с  $L = 121,92$  м,  $B = 14,63$  м,  $T = 3,96$  м и  $\beta = 0,166$ .  
 а — модель 1250 Келта и Каталада.  
 $\gamma = 0,012$ ;  $\delta = 0,023$ .  
 б — модель 1255 Келта и Каталада.  
 $\gamma = 0,006$ ;  $\delta = 0,017$ .  
 в — модель 1256 А и В Келта и Каталада.  
 $\gamma = 0,008$ ;  $\delta = 0,019$ .

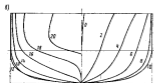
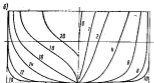
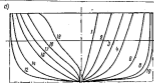


Рис. 96. Теоретические корпуса.

а — модель Р. Аллама.

$L_{\perp\perp} = 11,00$  м;  $B = 16,32$  м;  $T = 2,98$  м;  $\delta = 0,026$ .

б — «The Shipbuilding and Shipping Records».

$L_{\perp\perp} = 11,00$  м;  $B = 16,05$  м;  $T = 3,18$  м;  $\delta = 0,201$ .

в — «The Shipbuilding and Shipping Records».

$L_{\perp\perp} = 10,73$  м;  $B = 14,02$  м;  $T = 3,35$  м;  $\delta = 0,215$ .

21% от осадки длина по затеранию увеличилась на 3,3%, а сопротивление снизилось примерно на 9%.

Несколько других теоретических корпусов показано на рис. 96. Модель, изображенная на рис. 96, в, заимствована из

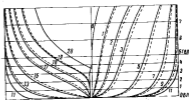
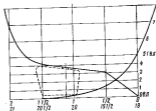


Рис. 97. Теоретические корпуса и очертыг носа и кормы моделей 432 и 433 Сб.Т.И.

432

433

книги Аллама «Проектирование судовых обводов и соображения по выбору формы и сопротивлению», изданной Association of Engineering and Shipbuilding Draughtsmen. Современные формы модели, которые изображены на рис. 96, б, взяты из журнала «The Shipbuilding and Shipping Records».

### Теоретические чертежи Св.Т.Н.

Несколько теоретических корпусов ранее упоминавшихся моделей Св.Т.Н. показаны на рис. 97—100. Из моделей 432 и 433 модель с более полой кормовой частью (432) имеет меньшее

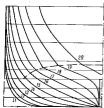


Рис. 98. Кормовые шпангоуты модели 432 в Св.Т.Н. (очертание носа в корму — см. на рис. 97).



Рис. 99. Кормовые шпангоуты модели 460 Св.Т.Н. (очертание носа в корму — см. на рис. 97).

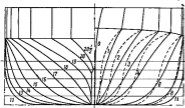


Рис. 100. Теоретические корпуса моделей 486 и 488 в Св.Т.Н.  
 $L_1$  — 121,00 м;  $D$  — 10,40 м;  $T$  — 3,30 м;  $\epsilon$  — 0,020;  $\mu$  — 0,200;  $\rho$  — 0,001.  
 486 — — — — — 488 м.

сопротивление. Угол входа ватерлинии у нее меньше, а пентр-величина расположена на  $0,0273 L$  в корму от середины длины, в то время как у модели 433 — на  $0,0163 L$  в корму от середины длины.

Многие суда зробинового плавания имеют слом обводов несколько ниже ватерлинии. Небольшой слом был сделан на модели 432 в (рис. 98), и сопротивление при обычных скоростях немного увеличилось.

Если уширить грузовую ватерлинию в кормовой части, как у модели 460 (рис. 99), то сопротивление при скорости хода 22 узла увеличится на 5%. Считают, что такая ватерлиния в корме несправедлива с точки зрения минервности; этим объясняется, почему у большинства судов зробинового плавания сравнительно острая грузовая ватерлиния в корме.

На рис. 100 показаны два теоретических корпуса. Обращает на себя внимание большой развал шпангоутов как в носу, так и в корме, чем увеличена площадь палубы. На рис. 100 показан чертеж модели 488 в, полученный из чертежа модели 488 без изменения строевой по шпангоутам. Угол входа ватерлинии уменьшен и носовым шпангоутом придана резковывающаяся U-образность. При скоростях хода 20—22 узла сопротивление модели уменьшилось на 1,5%. Это улучшение, вероятно, можно отнести за счет заострения носа.

1. Acevedo. Ensayos con modelos de barcos rapidos de pasaje carga. Report from "Casal de Experimentos Hidrodinamicos de El Pardo", Madrid, 1940.
2. Ackerson. Test results of a series of fifteen models. Trans. S. N. A. M. E., 1930.
3. Baker. Methodical experiments with mercantile ship forms. Trans. I. N. A., 1913.
4. Baker and Kent. Effect of form and size on the resistance of ships. Trans. I. N. A., 1913.
5. Baker and Kent. Speed, dimensions and form of cargo vessels. Trans. I. E. S. S., 1919.
6. Baker. Ship design, resistance and screw propulsion. Liverpool, 1923.
7. Baker. Some considerations in the design of high speed vessels. Trans. N. E. C. I., vol. 58, parts 1, 3, 1942.
8. Bales. Basic design. A treatise and method of procedure for determining the displacement, principal dimensions, coefficients of modern vessels. The Shipbuilding Cyclopaedia, 1920.
9. Bauer. Antriebsvergnleichnisse in Schiffbau. Schiffbau, 1902—1909.
10. Bragg. Model experiments to determine the effect upon real ships of variations in length of entrance, beam and rise of floor. Trans. S. N. A. M. E., 1931.
11. Emerson and Witney. Experiment work on merchant ship models during the war. Trans. N. E. C. I., 1947—1948.
12. Froude. Some results of model experiments. Trans. I. N. A., 1904.
13. Fyfe. Steamship coefficients, speeds and powers. London—New York, 1920.
14. Heckacher. Erfahrungen über Formgebung von Seeschiffen. Hydrodynamische Probleme des Schiffbaus, Teil II. Hamburg, 1940.
15. H&K. On approximate curves of stability. Trans. I. N. A., 1903.
16. Hunnewell. United States Coast Guard cutters. Trans. S. N. A. M. E., 1937.
17. Jaeger. Langtepgaling bij het ontwerpen van schepen. "Schip en Werf", 1943.
18. Karl. Design and cost estimating of merchant and passenger ships. London, 1938.
19. Kent. Model experiments on the effect of beam on the resistance of mercantile ship forms. Trans. I. N. A., 1919.
20. Kent. Experiments on mercantile ship models in waves. Trans. I. N. A., 1906.
21. Kent and Cutland. Resistance experiments in smooth and rough water made with models of high speed ships. Trans. I. N. A., 1935.
22. Kent and Cutland. Further experiments in smooth and rough water with a model of a high speed ship. Trans. I. N. A., 1938.
23. Lammaren, Troost and Koning. Resistance, propulsion and steering of ships. Haarlem, 1948.
24. Lindblad. Linjernas konstruktion och fartygsstatistiken vid 800-coral fart. Chalmers Tekniska Institut, Minneskrift 1929—1935. Göteborg, 1932.
25. Lindblad. Experiments with models of cargo liners. Trans. I. N. A., 1946.
26. Lindblad. Some experiments with models of high speed ships. Trans. I. N. A., 1949.
27. Lindblad. Further tests with models of high speed ships. Trans. I. N. A., 1950.
28. Lovell. Proportions and block coefficients of merchant steamers. Trans. I. N. A., 1922.
29. McCrindle. Variations of shaft horse-power, propeller, revolutions and propulsive coefficient with longitudinal position of the parallel middle body in a single-screw cargo ship. Trans. S. N. A. M. E., 1918.
30. Nordström. Systematic tests with models of cargo vessels with  $\delta=0.575$ . Publ. nr. 16 of the Swedish State Shipbuilding Experimental Tank, 1920.
31. Poudouine. Some approximate formulae useful in ship design. "The Shipbuilder", 1925.
32. Robertson. Economical cargo ships. Trans. S. N. A. M. E., 1929.
33. Robertson. Economical cargo ships—some model experiments. Trans. S. N. A. M. E., 1930.
34. Rola. Experiments with models of constant length and form of cross-sections but with varying breadth and draught. Trans. I. N. A., 1905.
35. Sadler. The influence of the position of the midship section upon the resistance of some forms of vessels. Trans. S. N. A. M. E., 1909.
36. Sadler. The expansion or contraction of dimensions and the effect upon resistance. Trans. S. N. A. M. E., 1914.
37. Sadler and Bragg. The influence of shape of transverse sections upon resistance. Trans. S. N. A. M. E., 1921.
38. Sample. Some experiments on full cargo ship models. Trans. I. N. A., 1909.
39. Taylor. Some model basin investigations of the influence of form of ships upon their resistance. Trans. S. N. A. M. E., 1901.
40. Taylor. The speed and power of ships. Washington, 1943.
41. Vedeler. From discussion of paper by Lindblad "Some experiments with models of high speed ships". Trans. I. N. A., 1949.
42. Vincent. Merchant vessel lines. Marine Engineering, New York, 1930.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Из предисловия автора	—
Предисловие научного редактора	—
Ключевые обозначения и сокращения	—
<b>Глава I. Выбор главных размеров</b>	
Определение длины судна	—
Определение ширины судна	17
Отношение длины к ширине	18
Отношение ширины к осадке	19
Отношение длины к ширине по статистическим данным	20
<b>Глава II. Выбор коэффициентов формы</b>	
Коэффициент обшивки полноты	21
Коэффициент полноты модель-шапгоута	22
Коэффициент полноты грузовой интервала	23
Коэффициент продольной полноты	23
<b>Глава III. Полнота судна с коэффициентом обшивки полноты 0,81—0,78</b>	
Влияние ширины на сопротивляемость воды	24
Коэффициент полноты модель-шапгоута	25
Длина и положение цилиндрической обшивки	26
Строение по шапгоутам	27
Грузовые интервалы	28
Шапгоуты	29
Типичные теоретические чертежи	30
<b>Глава IV. Судна с коэффициентом обшивки полноты 0,78—0,71</b>	
Общие	30
Коэффициент полноты модель-шапгоута	40
Длина и положение цилиндрической обшивки	41
Положение центра волнового сопротивления по длине	42
Строение по шапгоутам	43
Угол наклона грузовой интервала	44
Шапгоуты	45
Типичные теоретические чертежи	46
<b>Глава V. Судна с коэффициентом обшивки полноты 0,78—0,66</b>	
Общие	50
Главные размеры	53
Коэффициент обшивки полноты	53
Коэффициент полноты модель-шапгоута	53
Длина и положение цилиндрической обшивки	54
Строение по шапгоутам и грузовой интервалам	54
Типичные теоретические чертежи	61
Основные выводы	62
<b>Глава VI. Судна с коэффициентом обшивки полноты 0,66—0,60</b>	
Общие	69
Коэффициент полноты модель-шапгоута	70
Положение наиболее большого цилиндрического и цилиндрической обшивки	70
Типичные выводы, из теоретических чертежей, строение по шапгоутам и грузовым интервалам	71
Модель 80С Витора	72
Серия моделей С.Т.Н. с $\delta=0,65$	72
Серия моделей Табора с $\delta=0,615$	75
Серия моделей С.Т.Н. с $\delta=0,625$	79
Серия моделей С.Т.Н. с коэффициентами обшивки полноты 0,615, 0,605 и 0,595	84
Модель быстроподвижного пассажирского судна	—
<b>Глава VII. Судна с коэффициентом обшивки полноты менее 0,66</b>	
Общие	86
Коэффициент полноты модель-шапгоута	87
Коэффициент продольной полноты	87
Положение центра волнового сопротивления и наиболее большого цилиндрического и цилиндрической обшивки	88
Типичные выводы, из теоретических чертежей и строение по шапгоутам	88
Строение по шапгоутам Фууда	—
Модель Табора с $\varphi=0,58$	93
Модель Нордстрёма с $\delta=0,575$	97
Серия моделей С.Т.Н. с $\delta=0,605-0,595$	100
Грузо-пассажирское судно с $\delta=0,599$	104
Пассажирское судно с $\delta=0,573$	106
<b>Глава VIII. Судна для высадки в тропиках</b>	
Общие	104
Главные размеры	—
Коэффициенты формы	104
Положение наиболее большого цилиндрического и цилиндрической обшивки	111
Строение по шапгоутам	112
Строение Фууда	—
Строение Бюффа	—
Строение Пассажирского балейна	115
Строение С.Т.Н.	—
Грузовые интервалы	117
Оборудование носа и кормы	—
Типичные теоретические чертежи	—
Теоретический чертеж С.Т.Н.	123
Библиография	124